



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI

Fondul Social European
POSDRU 2007-2013Instrumente Structurale
2007-2013MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

OIPOSDRU

Universitatea Politehnica
din București**FONDUL SOCIAL EUROPEAN****Investește în oameni!**

Programul Operațional Sectorial pentru Dezvoltarea Resurselor Umane 2007 – 2013

Proiect POSDRU/159/1.5/S/132397 – Excelență în cercetare prin burse doctorale și postdoctorale – ExcelDOC**UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” GALAȚI**

Facultatea de Știința și Ingineria Alimentelor

Departamentul de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru

Nr. Decizie Rector 2276 din 4.11.2014

TEZĂ DE DOCTORAT*Cercetări privind optimizarea tehnicilor acvaponice de control a calității apei
în sistemele recirculante de acvacultură**A research regarding the optimization of aquaponic techniques for water
quality control in recirculating aquaculture systems***Autor:** drd. ing. ec. PETREA Ștefan Mihai**COMISIA DE DOCTORAT**

Președinte	Prof.dr.ing. Petru ALEXE	de la	UDJ, Galați
Conducător de doctorat	Prof.dr.ing. Victor CRISTEA	de la	UDJ, Galați
Referent	Prof.dr.ing. Ștefan DIACONESCU	de la	USAMV, București
Referent	Prof.dr.ing. Benone PĂȘĂRIN	de la	USAMV, Iași
Referent	Conf.dr.ing. Lorena DEDIU	de la	UDJ, Galați

Galați 2014



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
EDUCAȚIEI
NAȚIONALE

OIPOS DRU



Universitatea Politehnica
din București

UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE



TEZĂ DE DOCTORAT



Cercetări privind optimizarea tehnicilor acvaponice de control a calității apei în sistemele recirculante de acvacultură

Doctorand,
ing. ec. Ștefan Mihai PETREA

Conducător științific,
Prof univ.dr.ing. Victor CRISTEA
Membru corespondent al Academiei de Științe Agricole și Silvicultură

Referenți științifici: Prof. univ. dr. ing. Ștefan DIACONESCU
Prof. univ. dr. ing. Benone PĂȘĂRIN
Conf. univ. dr. ing. Lorena DEDIU

Seria I4: Inginerie industrială Nr. 24

GALAȚI, 2014

***Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG
începând cu 1 octombrie 2013 sunt:***

ȘTIINȚE INGINEREȘTI

Seria I 1: Biotehnologii

Seria I 2: Calculatoare și tehnologia informației

Seria I 3: Inginerie electrică

Seria I 4: Inginerie industrială

Seria I 5: Ingineria materialelor

Seria I 6: Inginerie mecanică

Seria I 7: Ingineria produselor alimentare

Seria I 8: Ingineria sistemelor

ȘTIINȚE ECONOMICE

Seria E 1: Economie

Seria E 2: Management

ȘTIINȚE UMANISTE

Seria U 1: Filologie- Engleză

Seria U 2: Filologie-Română

Seria U 3: Istorie

*Zâmbește,
când pașii tăi lasă urme adânci în Zenit.
Visele tale sunt mici?
Nu-i nimic, ele vor crește,
Rămâi în lumină la nesfârșit.*

MUȚUMIRI

O stare puternic emoțională, presărată cu sentimente de mulțumire, fericire și chiar nostalgie contemplativă. Finalul celor trei ani de cercetare poate trezi sentimente contradictorii, dar cu toate acestea, rămâne un reper important pentru noi, tinerii cercetători, atât de pasionați și extrem de dedicați muncii pe care o realizăm zi de zi.

Pornită la început cu un scop anume și mai apoi, alimentată de nevoia cunoașterii, muncă uneori asiduă, dar întotdeauna plăcută și, de asemenea, colectivul academic ce a reprezentat familia mea din punct de vedere științific și nu numai, toate acestea au înlesnit procesul de individualizare cu aria de cercetare corespunzătoare tezei mele de doctorat.

În acest context, doresc să-i aduc aleasă considerație și mulțumiri conducătorului științific al tezei, **Distinsului Domn Prof. Univ. Dr. Ing. Victor CRISTEA**, căruia îi datorez formarea mea din punct de vedere științific. Sunt profund recunoscător pentru îndrumarea, sprijinul, înțelegerea, încrederea și suportul moral pe care domnia sa mi le-a acordat în decursul celor nouă ani de studii universitare, pe care le-am urmat în cadrul Departamentului de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru al Universității „Dunărea de Jos”, Galați.

Doresc să mulțumesc **D-nei Conf. Dr. Ing. Lorena Dedi** pentru generozitatea de a-mi împărtăși din cunoștințele dobândite în decursul întregii cariere universitare, dumneaei având, de asemenea, meritul de a fi precursora tematicii de cercetare abordată în cadrul prezentei teze de doctorat. Ajutorul domniei sale s-a concretizat într-un plus de valoare științifică evident, fapt pentru care îi sunt deplin recunoscător.

Mulțumesc **D-nei Conf. Dr. Ing. Maria Contoman, D-ului Dr. Paul Lupoe și D-nei Conf. Dr. Ing. Isabelle Metaxa** pentru ajutorul oferit de-a lungul perioadelor experimentale și pentru informațiile utile furnizate, care mi-au fost de un real folos în elaborarea acestei teze. Doresc să adresez mulțumiri **întregului colectiv al Departamentului de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru al Universității „Dunărea de Jos” - Galați, pentru faptul că au fost alături de mine în tot această perioadă frumoasă.**

Doresc să mulțumesc referenților acestei teze de doctorat, pentru acceptul și bunăvoința de a recenza această lucrare: **domnului Prof. Univ. Dr. Ing. Benone PĂSĂRIN**, U.S.A.M.V. Iași și **domnului Prof. Univ. Dr. Ing. Ștefan DIACONESCU**, U.S.A.M.V. București și nu în ultimul rând, domnului Decan al Facultății de Știința Și Ingineria Alimentelor **Prof. Univ. Dr. Ing. Petru Alexe** pentru onoarea de a prezida această comisie.

Sincere mulțumiri le adresez colegilor mei pentru sprijinul imens acordat pe parcursul realizării părții experimentale a prezentei lucrării: **Dr. Ing. Marian Tiberiu COADĂ, Dr. Ing. Săndița PLĂCINTĂ, Drd. Ing. Alina ANTACHE, Dr. Ing. Ec. Elena BOCIOC, Dr. Ing. Mirela CREȚU, Dr. Ing. Maria Desimira STROE, Ing. Özgül KILIÇ, Drd. Ing. Alexandru – Cristian BANDI și Dr. Ing. Georgiana Petronela SANDU.**

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc prietenului meu **Ing. Ec. George Cosmin BORȘ** căruia îi sunt deplin recunoscător pentru tot ajutorul, înțelegerea și suportul moral acordat, fără de care nu aș fi putut realiza obiectivele propuse în această perioadă de studii doctorale. Sunt profund recunoscător **mamei și tatălui meu** pentru suportul moral, financiar, înțelegerea, răbdarea și încrederea acordată, lucruri care m-au ajutat să duc la bun sfârșit această teză de doctorat.

Cu respect,
Drd. Ing. Ec. Ștefan Mihai PETREA

Cuprins

<i>Introducere</i>	iii
<i>Introduction</i>	vii
<i>Abrevieri</i>	xi

PARTEA I. ANALIZA DATELOR DIN LITERATURA DE SPECIALITATE

CAPITOLUL I. Stadiul actual al cunoașterii în problematica abordată	1
1.1. Considerații generale legate de conceptul de sistem recirculant integrat	3
1.1.1. Acvacultura și sistemele de producție din acvacultură.....	3
1.1.2. Acvaponia și sistemele acvaponice de producție.....	12
1.2. Tehnicile acvaponice de control a calității apei tehnologice în cadrul sistemelor recirculante integrate	18
1.2.1. Tehnica de cultură pe suport flotabil (DWC – deep water culture).....	18
1.2.2. Tehnica filmului de nutrienți (NFT – nutrient film technique).....	20
1.2.3. Tehnica de cultură pe substrat, în regim permanent (continuous flow) și intermitent (ebb and flow/flood and drain) de submersie.....	23
1.2.4. Managementul operațional al sistemelor recirculante integrate.....	26
1.3. Tehnologiile de creștere a biomasei piscicole și vegetale în cadrul sistemelor recirculante integrate	29
1.3.1. Dinamica nutrienților și calitatea apei în cadrul sistemelor recirculante integrate.....	29
1.3.2. Combinații de specii de pești - plante fezabile a fi aplicate în cadrul sistemelor recirculante integrate.....	35

PARTEA II. ACTIVITATEA EXPERIMENTALĂ

CAPITOLUL II. Materiale, metode și tehnici de investigare utilizate în cercetare	41
2.1. Proiectarea și realizarea infrastructurii de cercetare	43
2.1.1. Stabilirea parametrilor hidraulici de bază în cadrul unui sistem recirculant integrat.....	43
2.1.2. Sistemul pilot recirculant integrat tip DWC.....	46
2.1.3. Sistemul pilot recirculant integrat, cu substrat de argilă structurată (LECA light- expanded clay aggregate) și regim permanent și intermitent de submersie.....	49
2.2. Material biologic	57
2.3. Metode de lucru și aparatură pentru determinarea parametrilor fizico – chimici ai apei tehnologice	59
2.4. Metode privind evaluarea indicatorilor de performanță tehnologică a materialului biologic vegetal și piscicol	61
2.5. Metode de lucru și echipamente utilizate pentru determinarea compoziției biochimice și chimice a cărnii de pește, frunzelor și rădăcinilor plantelor și a reziduurilor fecale	63
2.5.1. Determinarea concentrației de proteine și lipide.....	63
2.5.2. Determinarea concentrației de azot (TKN), calciu, pentaoxid de fosfor (P ₂ O ₅), nitriți (NO ₂) și nitrați (NO ₃).....	64
2.5.3. Determinarea umidității și a substanțelor minerale totale (cenușa).....	65
2.6. Determinarea pigmentilor verzi clorofilieni și a celor galbeni carotenoizi	66
2.7. Metode de prelucrare statistică a datelor	68

CAPITOLUL III. Potențialul de fitoremediere și randamentul producției culturii de spanac (<i>Spinacia oleracea</i>) într-un sistem recirculant integrat, folosind tehnica de cultură pe suport flotabil (DWC)	69
3.1. Ipoteza asumată	71
3.2. Design experimental.....	72
3.3. Rezultate și discuții.....	74
3.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului	74
3.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului	83
3.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului	91
3.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale	102
3.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole	110
3.4. Concluzii.....	118
 CAPITOLUL IV. Potențialul de bioremediere și randamentul producției culturii de spanac (<i>Spinacia oleracea</i>) într-un sistem recirculant integrat, folosind tehnica de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent de submersie	123
4.1. Ipoteza asumată	125
4.2. Design experimental	126
4.3. Rezultate și discuții	128
4.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului	128
4.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului	138
4.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului	146
4.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale	157
4.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole	169
4.4. Concluzii	177
 CAPITOLUL V. Potențialul de bioremediere și randamentul producției culturii de busuioc (<i>Ocimum basilicum</i>), mentă (<i>Mentha piperita</i>) și tarhon (<i>Artemisia dracunculus</i> L.), folosind tehnica de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent și intermitent de submersie.....	185
5.1. Ipoteza asumată	187
5.2. Design experimental	188
5.3. Rezultate și discuții	191
5.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului	191
5.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului	202
5.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului	212
5.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale și a celei piscicole	232
5.3.5. Compoziția biochimică, chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole	250
5.4. Concluzii	261
 CAPITOLUL VI. Concluzii finale, contribuții personale, direcții ulterioare de cercetare.....	269

Listă cu lucrări publicate

Listă cu lucrări comunicate

Bibliografie

Anexe

A1. Secțiunea 1

A2. Secțiunea 2

Curriculum Vitae

„Populația globului arată o tendință ascendentă, direct proporțional fiind și gradului de înfometare, dar nu există, încă, nici măcar un singur mod perfect de sporire a cantității de hrană produsă.”

Ben Richmond [1]

INTRODUCERE

Asigurarea necesarului de resurse și, mai apoi, îmbunătățirea calității vieții prin introducerea de produse noi și îmbunătățirea celor existente sunt caracterizate drept principale deziderate ce mențin tendința continuă ascendentă a ratei inovațiilor științifice. Importanța intensității procesului de inovare este evidentă, de-a lungul timpului acesta fiind un factor determinant în ierarhizarea performanțelor economice a diferitelor comunități, regiuni sau state. Drept urmare, necesitatea dezvoltării tehnice și tehnologice a unor sectoare de producție în scopul mării productivității acestora și totodată limitării efectului negativ manifestat asupra mediului înconjurător este imperativă.

În contextul celor precizate, acvacultura industrială se situează în fruntea sectoarelor de producție alimentară, fiind caracterizată printr-o dinamică accentuată, fapt ce a indus ascensiunea rapidă, evidentă din punct de vedere al performanței de producție. Principalul fapt generator de performanță a fost reprezentat de diversificarea sistemelor de producție prin implementarea sistemelor recirculante de acvacultura (RAS).

Avantajele acestor sisteme intensive sunt reprezentate, îndeosebi, de posibilitatea practicării unor densități mari de stocare a materialului piscicol, de depășirea constrângerilor legate de suprafață (mărimea unități piscicole de producție și poziția geografică a acestora) și a celor ce implică creșterea diverselor specii de cultură. Nu în cele din urmă, limitarea impactului negativ al activității de acvacultură industrială asupra mediului este principalul atu al acestor sisteme intensive de producție, într-un ultim deceniu în care expresii precum „eco-friendly” sau „green industry” au devenit arhicunoscute, în special în rândul actorilor ce întreprind activități industriale de producție.

În decursul timpului, din momentul implementării sistemelor recirculante în acvacultură și până în prezent, s-au identificat o serie de factori ce pot fi îmbunătățiți, având drept principal obiectiv mărirea sustenabilității și profitabilității acestor sisteme.

După cum Masser și colab. (1999) [2] precizează, majoritatea sistemelor recirculante au o rată zilnică de schimb a apei tehnologice cuprinsă între 5 – 10%, cu scopul de a preveni atingerea unor concentrații alarmante de azot amoniacal, precum și a celorlaltor compuși ai azotului (nitriții și nitrații), dar și pentru a completa cantității de apă tehnologică pierdută în urma proceselor de evaporare și spalare a filtrelor.

Utilizarea unor echipamente performante de filtrare mecanică, chimică și biologică, dar și creșterea intensității recirculării sistemelor de producție, sunt soluțiile tehnice propuse de cele mai multe ori, în scopul realizării unui proces mai eficient de tratare a apei tehnologice. Din punct de vedere aplicativ, toate aceste soluții au dat rezultate foarte bune dar, pentru creșterea fezabilității sistemelor recirculante, s-a decis introducerea unor subsisteme biologice de remediere a apei tehnologice. Astfel, unul din principalii artizani ai acestei idei a fost Dr. James Rakocy, care în urma experimentărilor efectuate în cadrul sistemului acvaponic integrat al UVI (University of the Virgin Islands) afirmă faptul că principala motivație a implementării sistemelor integrate are considerente economice, deoarece nutrienții prezenți la un moment dat în diverse concentrații în apa tehnologică pot fi folosiți cu scopul generării unei producții secundare, de natură vegetală [3].

Ideia acestuia a fost preluată și de către alți cercetători, *Metaxa și colab.* (2006) [4] și *Dediu și colab.* (2012) [5], care menționează faptul că valorificarea nutrienților rezultați din creșterea materialului piscicol într-o cultură secundară, de biomasă vegetală, implică creșterea profitabilității activității de acvacultură intensivă și datorită scăderii ratei zilnice de schimb a apei tehnologice.

În contextul în care *Cristea și colab.* (2002) [6] afirma faptul că principalul deziderat tehnologic în cazul RAS este acela de a asigura condiții mediale potrivite, care să corespundă cerințelor de natură ecofiziologică ale speciei piscicole de cultură, în cazul sistemelor recirculante acvaponice integrate, în atingerea unui echilibru perfect, intră în calcul și exigențele nutriționale și mediale ale speciei vegetale.

Prin tematica abordată, prezenta lucrare de cercetare își propune elucidarea unor aspecte legate îndeosebi de *tratarea apei tehnologice din cadrul unui RAS prin bio și fitoremediere*. Trebuie menționat faptul că tematica este una de actualitate, caracter ce rezultă din multitudinea de lucrări apărute în ultimii ani, în publicații de înalt grad științific [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Obiectivele generale ale acestei teze de doctorat „*Cercetări privind optimizarea tehnicilor acvaponice de control a calității apei în sistemele recirculante de acvacultură*” sunt următoarele:

✓ *Evaluarea performanțelor tehnologice ale unui sistem acvaponic integrat, din punct de vedere al potențialului de fito și bioremediere și al randamentului producției vegetale, folosind următoarele combinații de specii de pești-plante, în contextul aplicării unor diverse tehnici acvaponice și densități de creștere diferite în rândul biomasei vegetale:*

- Tehnica acvaponică de cultură pe sistem flotabil (DWC) pentru combinația de specii păstrăv curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*)– spanac (*Spinacia oleracea*);
- Tehnica de cultură în substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent de submersie, pentru combinația de specii păstrugă (*Acipenser stellatus*) – spanac (*Spinacia oleracea*);
- Tehnica de cultură în substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent și intermitent de submersie, pentru combinația de specii păstrugă (*Acipenser stellatus*) - busuioc (*Ocimum basilicum*);
- Tehnica de cultură în substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent și intermitent de submersie, pentru combinația de specii păstrugă (*Acipenser stellatus*) - mentă (*Mentha piperita*);
- Tehnica de cultură în substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent și intermitent de submersie, pentru combinația de specii păstrugă (*Acipenser stellatus*) - tarhon (*Artemisia dracunculus* L.).

✓ *Evaluarea sub aspect cantitativ și calitativ a biomaselor vegetale și piscicole rezultate în urma aplicării tehnicilor de creștere de mai sus, dar și a unor diferite densități de creștere diferite în rândul biomasei vegetale.*

Aceste obiective generale au fost duse la bun sfârșit prin realizarea unei serii de **obiective specifice și activități complementare acestora**, după cum urmează:

● Proiectarea și realizarea infrastructurii de cercetare:

■ Realizarea sistemului acvaponic integrat tip DWC: Activitatea a cuprins procesul de dimensionare a modulelor acvaponice și, de asemenea, a regimului hidraulic, în raport cu performanțele tehnologice ale sistemului recirculant menționate în experimentările anterioare. Inițierea filtrului biologic s-a realizat înainte de începerea experimentelor propriu-zise.

- Realizarea sistemului acvaponic integrat, cu substrat și regim permanent de submersie: Activitatea a cuprins procesul de dimensionare a modulelor acvaponice și, de asemenea, a regimului hidraulic, în raport cu performanțele tehnologice ale sistemului recirculant menționate în experimentările anterioare. Inițierea filtrului biologic și a substratului LECA de creștere s-au realizat înainte de începerea experimentelor propriu-zise.
- Realizarea sistemului acvaponic integrat cu substrat și regim hidraulic intermitent: Activitatea a cuprins procesul de dimensionare a modulelor acvaponice și de asemenea, a regimului hidraulic, în raport cu performanțele tehnologice ale sistemului recirculant, menționate în experimentările anterioare. Proiectarea, dimensionarea și realizarea sistemului de evacuare intermitentă, tip „siphon bell” a fost o activitate ce trebuie menționată. Testarea acestui sistem de evacuare s-a realizat pe un anumit segment de timp, avînd drept scop confirmarea parametrilor de funcționare din faza de proiectare a acestuia. Inițierea filtrului biologic și a substratului LECA, de creștere, s-au realizat înainte de începerea experimentelor propriu-zise.
- Elaborarea designului experimental și montarea experimentului:
- Elaborarea planului de lucru și stabilirea protocoalelor ce urmează să fie folosite în cadrul experimentărilor. Pentru realizarea acestei activități s-a ținut cont de standardele impuse la nivel internațional. Trei densități de creștere, fiecare dintre acestea în triplicat, au fost testate în cazul spanacului (*Spinacia oleracea*) și două regimuri de submersie (permanent și intermitent), în duplicat, au fost testate în cazul busuiocului (*Ocimum basilicum*), mentei (*Mentha piperita*) și tarhonului (*Artemisia dracuncululus* L.). De asemenea, în cadrul experimentărilor ce au inclus spanacul (*Spinacia oleracea*) sau folosit două sisteme acvaponice integrate total distincte, nu doar din punct de vedere al tehnicii acvaponice folosite (DWC vs. substrat LECA), dar și din punct de vedere al design-ului unităților de creștere a biomasei piscicole.
- Obținerea răsadurilor și popularea sistemului recirculant cu material piscicol. Această activitate a fost realizată în colaborare cu **COMPLEXUL MUZEAL DE ȘTIINȚELE NATURII "RĂSVAN ANGHELUȚĂ" GALAȚI**, instituție în cadrul căreia s-au obținut plantulele folosite în toate experimentările. Astfel, condițiile mediale necesare unei bune și echilibrate dezvoltări a plantulelor, precum și monitorizarea necesară au fost asigurate.
- Evaluarea eficienței culturilor hidroponice și a tehnicilor acvaponice folosite în tratarea apei tehnologice din cadrul sistemului intensiv de producție acvacolă:
- Monitorizarea parametrilor fizico-chimici ai apei tehnologice din cadrul sistemelor recirculante integrate în cauză, cu scopul de a cuantifica eficiența diferitelor culturi hidroponice, precum și a tehnicilor acvaponice folosite.
- Evaluarea dinamicii nutrienților la nivelul sistemelor recirculante integrate:
- Rata de nitrificare și capacitatea de bioremediere, atât la nivelul filtrului biologic, cât și în cadrul modulelor acvaponice cu substrat de creștere LECA a fost evaluată.
- Întocmirea unui bilanț al nutrienților din cadrul sistemelor recirculante integrate folosite în activitatea experimentală.
- Evaluarea randamentului de producție a biomasei vegetale obținute în cadrul sistemului recirculant integrat, prin utilizarea diverselor tehnici acvaponice și diferitelor densități de cultură:
- În urma unei monitorizări stricte a procesului de creștere și dezvoltare a biomasei vegetale, pe parcursul perioadei de producție, s-au obținut o serie de indicatori relevanți, utili în a aprecia productivitatea culturilor hidroponice rezultate.
- Evaluarea biochimică, chimică și calitativă a biomaselor vegetale și piscicole, crescute în cadrul sistemelor recirculante integrate:

Având drept scop evaluarea din punct de vedere al biosecurității alimentare, dar și cea calitativă a materialului piscicol și vegetal obținut în cadrul sistemelor recirculante integrate în condițiile experimentale precizate anterior, o serie de analize relevante din punct de vedere biochimic, chimic și calitativ au fost realizate. De asemenea, rezultatele aferente biomasei vegetale, cultivată acvaponic, au fost comparate cu cele obținute din analiza acelorasi specii vegetale, diferit fiind faptul că acestea din urmă au fost crescute pe sol, prin aplicarea metodelor de cultură convenționale.

Menționez faptul că, în urma unui studiu amănunțit asupra publicațiilor științifice din revistele de specialitate, nu am găsit lucrări științifice ce au folosit combinațiile de plante-pești experimentate în prezenta teza de doctorat. De asemenea, design-ul experimental împreună cu multitudinea problematicilor abordate contribuie la evidențierea gradului de noutate și originalitate al lucrării de față.

Rezultatele obținute au un puternic caracter aplicativ, cu referire exacta la managementul tehnologic și operațional, elucidând totodată și aspecte legate de fiziologia plantelor și peștilor, dar și anumite dileme legate de siguranța aliment și securitatea alimentară a produselor obținute în cadrul sistemelor recirculante integrate.

“The world’s population shows an increasing trend, the degree of starvation being directly proportional, but there isn’t even a single perfect mode of increasing the produced food quantity yet.”

Ben Richmond [1]

INTRODUCTION

Providing the necessary resources and, later on, improving the life quality by introducing new products and improving the existing ones are characterized as the main goals that maintain the continuous ascending trend of the scientific innovation rate. The intensity of innovation process is obvious throughout time, this being a determining factor in the hierarchy of economic performances of different communities, regions or states. Therefore, the necessity of technical and technological development of some production sectors with the purpose of increasing their productivity and also of limiting the negative effect manifested upon the environment is imperative.

In the context of aforementioned, the industrial aquaculture activity is situated on top of the food production sectors, being characterized through a pronounced dynamic, which has induced the rapid ascension, from a production performance point of view. The main performance generator was represented by the diversification of production systems, especially related to the introduction of recirculation aquaculture systems (RAS).

The advantages of these intensive systems are represented especially by the possibility of practicing high fish stocking densities. Also, the overcoming of constraints related to surface (the necessary surface size for fish rearing production unit emplacement and also, its geographic position) and diversity of growth fish species (the interdependency towards natural and climate factors is eliminated) are notable to be mentioned. Not the least, the limitation of the negative impact of industrial aquaculture activity upon the environment is the main strength of these intensive production systems, in a last decade in which expressions like “eco-friendly” or “green industry” have become very well known, especially among the peoples that undertake industrial production activities.

Throughout time, from the moment of the implementation of recirculating systems in the aquaculture production industrial circuit and until present, there have been identified a series of factors which can be improved, having as main goal the increase of sustainability and profitability of these systems.

According to Masser *et al.* (1999) [2], the majority of recirculating systems have a daily technological water exchange rate between 5-10%, with the purpose of preventing ammonia nitrogen, as well as the other nitrogen compounds (nitrites and nitrates), to reach alarming concentrations, but also to re-establish the quantity of technological water lost due to the processes of evaporation and mechanical filter self-cleaning.

The uses of high-end equipment for mechanical, chemical and biological filtration, but also the increase of the system’s recirculation flow, are generally the proposed technical solutions in order to achieve a more efficient technological water treatment process. From applicative point of view, all these solutions have showed very good results, but the recirculating system’s profitability has manifested a downward trend due to the increase of initial establishing costs and especially due to the swift rise of variable costs (operational costs), especially those related to electricity.

As a feasible solution to the aforementioned problems, the introduction of technological water bio-remediation subsystems within a RAS was proposed. Thus, one of the foremost artisans of this idea was Dr. James Rakocy, who affirms, after the experiments undertook within

the UVI integrated aquaponic system, that the main attraction of integrated systems has economic considerations, because the nutrients present at a certain time, in various concentrations in the technological water, can be used to generate a secondary production, vegetal in nature [3]. His idea was adopted by other researchers, *Metaxa et al.* (2006) [4] and *Dediu L. et al.* (2012) [5], who have mentioned that valorification of nutrients resulted from fish grow, in a second culture (vegetable biomass) implies an increase of profitability for intensive aquaculture activity, the reduction of water replacement rate having an important role for accomplishing this desideratum.

In the context in which *Cristea V. et al.* (2002) [6] states that the main technologic desiderate in RAS case is to provide proper environmental conditions, that correspond to the demands of eco-physiological nature of fish cultured species, in the case of the integrated aquaponic recirculating systems, for achieving a perfect equilibrium, the nutritional and environmental demands of the vegetal species must be taken into consideration

Through the approached theme, this research paper proposes to elucidate certain aspects related to *technological water treatment processes within a RAS, by using aquaponics as a phyto-bioremediation technique*. It should be mentioned that the theme is a topical one, its character resulting from the multitude of papers published in recent years, in highly rated scientific publications [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

Thus, **the main objectives** of this PhD. thesis “**Researches regarding the optimization of water quality aquaponic control techniques in recirculating aquaculture systems**” are:

- ✓ *The technologic performances evaluation of an integrated aquaponic system, from the point of view of its phyto-bioremediation potential and vegetal production yield, by using the following fish-plant species combinations, in the context of testing a large variety of aquaponic techniques and different cultured densities among the vegetal biomass:*
 - Deep water culture (DWC) aquaponic technique for the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) – spinach (*Spinacia oleracea*) species combination;
 - LECA (light expended clay) substrate culture technique, in continuous flow regime, for stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) – spinach (*Spinacia oleracea*) species combination;
 - LECA (light expended clay) substrate culture technique, in continuous flow and ebb and flow (flood and drain) regime, for stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) – basil (*Ocimum basilicum*) species combination;
 - LECA (light expended clay) substrate culture technique, in continuous flow and ebb and flow (flood and drain) regime, for stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) – mint (*Mentha piperita*) species combination;
 - LECA (light expended clay) substrate culture technique, in continuous flow and ebb and flow (flood and drain) regime, for stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) – tarragon (*Artemisa dracunculus* L.) species combination.
- ✓ *Chemical and biochemical evaluation and also quality characterization, of both vegetable and fish biomasses cultured by applying the aforementioned growing techniques and also different culture densities (in case of vegetal biomass).*

These main objectives have been successfully carried out by accomplishing a series of **specific objectives** and **complementary activities to these**, as follows:

- The design and construction of research infrastructure:

- The construction of DWC integrated aquaponic system: The activity included dimensioning of the aquaponic modules and also, of the hydraulic regime, in relation to the recirculating system's technological performances, mentioned in the previous

experimentations. The initiation of the biologic filter was made before the start of the presented experiments.

✦ The construction of integrated aquaponic system, with LECA substrate and continuous flow regime: The activity included the dimensioning of the aquaponic modules and also, of the hydraulic regime, in rapport to the technologic performances of the recirculating system, mentioned in the previous experimentations. The initiation of the biologic filter and of the plants growing media (LECA) was made before the start of the presented experiments.

✦ The realization of the integrated aquaponic system, with LECA culture substrate and ebb and flow (flood and drain) regime: The activity included the dimensioning of the aquaponic modules and also, of the hydraulic regime, in relation with the technological performances of the recirculating system, mentioned in the previous experimentations. The design, dimensioning and construction of “syphon bell” ebb and flow outlet system are activities that must be mentioned. Testing this type of system (siphon bell) was made during a large period of time, with the main goal to confirm the functionality parameters established in the design phase. The initiation of the biologic filter and of the plants culture media (LECA) was realized before the start of the presented experiments.

● The development of the experimental design and experiment instalation:

✦ *The development of the work plan and the establishment of the protocols that are to be used in the experimentations.* To realize this activity, internationally imposed standards were taken into account. Three growing densities, each in triplicate, were tested in case of the spinach (*Spinacia oleracea*) and two culture regimes, in duplicate were tested in case of the basil (*Ocimum basilicum*), mint (*Mentha piperita*) and tarragon (*Artemisa dracunculus* L.). Also, as material base for the experimentations that included the spinach (*Spinacia oleracea*) species, there have been used two totally distinct integrated aquaponic systems, not only from the used aquaponic techniques point of view (DWC vs. culture media - substrate), but also from the design of fish biomass rearing units point of view.

✦ *The obtaining of seedlings and the population of recirculating system with fish biological material.* This activity was realized in collaboration with “**RĂSVAN ANGHELUȚĂ**” **NATURAL SCIENCES MUSEUM COMPLEX OF GALATI**, institution within which the plants used in all experimentations were obtained. Thus, the environmental conditions necessary for a good and balanced plant growth and development, as well as the necessary monitoring were assured.

● The efficiency evaluation of the hydroponic crops and of the aquaponic techniques used in the technologic water treatment within the intensive aquaculture production system:

✦ The monitoring of the physico-chemical parameters of the technological water within these integrated recirculating systems, in order to quantify the efficiency of different hydroponic crop species, as well as the aquaponic techniques used.

● The evaluation of the nutrient dynamic from the integrated recirculating systems:

✦ The nitrification rate and the bioremediation capacity, at the biologic filter level, but also within the aquaponic modules with LECA growth substrate were evaluated.

✦ The making of a balance sheet for the nutrients within the integrated recirculating systems used in the experimental activity.

● The evaluation of the vegetal biomass yield, obtained within the integrated recirculating system, by using different aquaponic techniques and vegetables culture densities:

✦ After a strict monitoring of the vegetal biomass growth and development process, during the production period, a series of relevant indicators have been obtained, useful in the estimation of the resulted hydroponic cultures productivity.

● The chemical and biochemical evaluation and also quality characterization of vegetal and fish biomasses, grown within the integrated recirculating systems:

✎ With the purpose of evaluating from food biosecurity point of view, but also from the perspective of fish and vegetal material quality obtained within the integrated recirculating systems in the aforementioned conditions, a series of relevant analyzes were made. Also, the results related to aquaponic cultured vegetal biomass have been compared to those obtained from the analyze of those same vegetal species, the difference being that these last ones were grown in soil, by applying conventional culture methods.

It must be highlighted that, as a result of a detailed analyze of available scientific publications from the specialty journals, I have not found scientific papers that have used the experimented plants-fish combination used in the present PhD. thesis. Also, the experimental design along with the multitude of the approached problematics contributes to emphasizing the degree of novelty and originality of the present paper.

The obtained results have a strong applicative character, with exact reference to the production processes within integrated recirculating systems, elucidating at the same time aspects tied to the physiology of plants and fish, but also certain unknown issues related to the resulted products (fish and plants) food safety and security.

LISTA PRINCIPALELOR ABREVIERI

Avg.LAR	ponderea medie a suprafeței foliare (<i>average leaf area ratio</i>).
AFB	alimentarea unității de filtrare biologică (<i>biological filter inlet</i>).
B	unitate de creștere biomasă piscicolă (<i>rearing unit</i>).
Bs.	busuioc (<i>basil</i>).
BH	unitate acvaponică (<i>aquaponic unit</i>).
BOD₅	necesarul biochimic de oxigen (<i>biochemical oxygen demand</i>).
COD	consumul chimic de oxigen (<i>chemical oxygen demand</i>).
CF	regim permanent de submersie (<i>continuous flow</i>).
C_{VM/L}	coeficientul de variație a masei/lungimii corporale (<i>coefficient of variation</i>).
CGR	rata de creștere a biomasei vegetale (<i>crop growth rate</i>).
DO	oxigen dizolvat (<i>dissolved oxygen</i>).
DWC	tehnica acvaponică de cultură pe suport flotabil (<i>deep water culture</i>).
EFB	evacuarea unității de filtrare biologică (<i>biological filter outlet</i>).
EFM	evacuare unității de îndepărtare a solidelor grosiere (<i>drum filter outlet</i>).
FCR	factorul de conversie a hranei (<i>feed conversion ratio</i>).
F&D	regim intermitent de submersie (<i>flood and drain</i>).
HRT	timpul hidraulic de retenție (<i>hydraulic retention time</i>).
HLR	rata hidraulică de încărcare (<i>hydraulic loading rate</i>).
LECA	substrat de argilă structurată (<i>lightweight expanded clay aggregate</i>).
LAI	indicele suprafeței foliare (<i>leaf area index</i>).
LR	sporului de lipide (<i>lipid retention</i>).
Mt.	mentă (<i>mint</i>).
Mk.	biomasă vegetală obținută în condiții convenționale, pe sol (<i>conventional produced vegetables</i>).
NAR	rata netă de asimilare (<i>net assimilation rate</i>).
NFT	tehnica acvaponică a filmului de nutrienți (<i>nutrient film technique</i>).
PUE	eficiența utilizării proteinei (<i>protein utilization efficiency</i>).
PER	coeficientul de eficiență proteică (<i>protein efficiency ratio</i>).
PB	proteină brută (<i>crude protein</i>).
PR	sporul de proteine sau proteinele reținute (<i>protein retention</i>).
RAS	sistem recirculant de acvacultură (<i>recirculating aquaculture system</i>).
RGR	rata relativă de creștere (<i>relative growth rate</i>).
R/S	raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (<i>shoot : root ratio</i>).
SEN	substanțe extractive fără azot (<i>extractive non-nitrogenous substances</i>).
SU	substanța uscată (<i>dry matter</i>).
SGR	rata specifică de creștere (<i>specific growth rate</i>).
SF	suprafața foliară (<i>leaves surface</i>).
SR	suprafața radiculară (<i>roots surface</i>).
TSS	totalul solidelor în suspensie (<i>total soluble solids</i>).
TOC	carbon organic total (<i>total organic carbon</i>).
TAN	azot amoniacal total (<i>total ammonia nitrogen</i>).
TKN	Azot total Kjeldahl (<i>total Kjeldahl nitrogen</i>).
Th.	tarhon (<i>tarragon</i>).
VRT	rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (<i>volumetric TAN removal rate</i>).

PARTEA I.

ANALIZA DATELOR DIN LITERATURA DE SPECIALITATE



CAPITOLUL I

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN PROBLEMATICA ABORDATĂ



1.1. CONSIDERAȚII GENERALE LEGATE DE CONCEPTUL DE SISTEM RECIRCULANT INTEGRAT

1.1.1. Acvacutura și sistemele de producție din acvacultură

Una dintre cele mai însemnate problematici la nivel mondial este legată de răspunsul la întrebarea „Producția alimentară mondială este capabilă să acopere nevoile fiecărui individ, în parte, la un moment dat?”. În acest context Organizația pentru Agricultură și Alimentație a Națiunilor Unite (FAO) estimează că aproape 870 de milioane de locuitori ai globului din cei peste 7,1 miliarde, ceea ce înseamnă un raport de 1:8, suferă de subnutriție cronică [1]. De asemenea, trebuie precizat faptul că problema mai sus menționată se manifestă cu predilecție în cazul țărilor în curs de dezvoltare (85%) [1]. Conform unui studiu FAO ce analizează metodele de reducere a sărăciei și gradului de înfometare la nivel mondial [2], capacitatea actuală de producție în domeniul alimentar este suficientă pentru a satisface nevoile de hrană a fiecărui individ de pe Terra. Argumentând această afirmație, studiul menționează faptul că la ora actuală, din punct de vedere nutrițional, se înregistrează un surplus de 17% al cantității de calorii repartizată pe individ, față de valoarea înregistrată cu trei decenii în urmă [2]. Astfel, valoarea de 2.720 kcal/individ [2] este de actualitate, în condițiile în care populația globală a înregistrat o creștere de 70% în perioada mai sus-amintită.

După cum am menționat, în cadrul uneia din cercetările pe care le-am efectuat [3], creșterea populației la nivel global a generat o puternică cerere orientată spre direcția proteinelor de origine animală (superioară calitativ celei de origine vegetală). Drept consecință directă, s-a înregistrat o tendință ascendentă a procesului de conștientizare asupra potențialului imens al acvaculturii în ceea ce privește capacitatea de a contribui la creșterea producției alimentare.

Acvacultura sustenabilă implică creșterea diverselor specii de pești, având în general scop comercial, fără a avea impact negativ asupra mediului înconjurător. Trebuie menționat faptul că stocurile de pești sunt pe punctul de a fi epuizate până în anul 2048, în condițiile în care doar 10% din totalul capturilor de viețuitoare marine sunt consumate efectiv [4]. Doar 3% din totalul stocurilor de pești de pe glob au tendințe de dezvoltare ulterioară [4]. Peste 75% din totalul stocurilor sunt supraexploatate (fig. 1.1) [5].

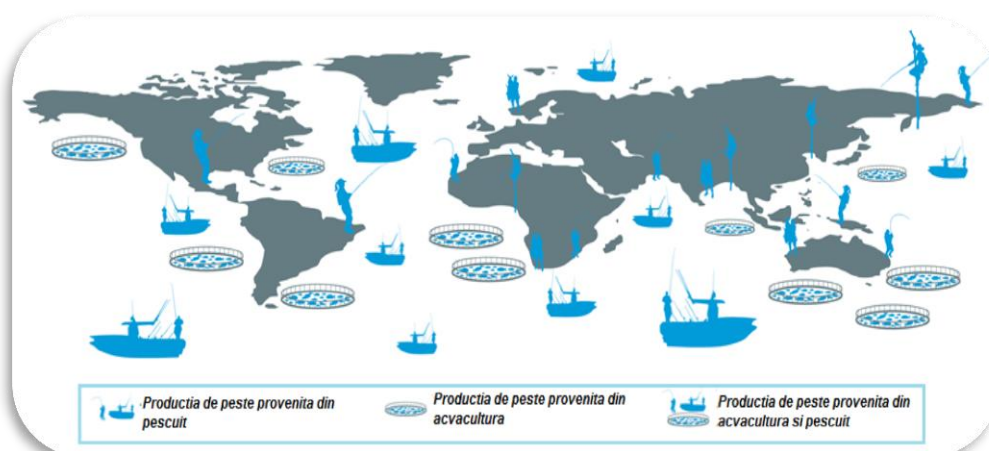


Fig.1.1. Repartiția geografică și intensitatea activităților de acvacultură și pescuit la nivel global [5]

În urma unei analize predictive asupra producției acvacole, FAO a constatat faptul că aceasta va înregistra o creștere de 33% de-a lungul următorului deceniu, în comparație cu cantitatea totală a capturilor, ce va consemna o dinamică pozitivă de doar 3% [6]. Implicațiile acestui lucru sunt mai evidente chiar, atunci când luăm în calcul o eventuală predicție de ordin financiar (fig.1.2), fapt ce îndreptățește posibilitatea în a afirma că piața peștelui devine un factor important în evaluarea și determinarea gradului de performanță economică al unei zone geografice, căpătând astfel abilitatea de a genera schimbări majore în rândul indicatorilor de prosperitate.

Un indicator foarte concludent al dezvoltării acvaculturii este dat și de creșterea exponențială a ratei consumului de pește și a produselor din pește, raportată la producția globală totală (fig.1.3) [7]. Trebuie însă menționat faptul că dinamica scăzută a evoluției ascendente a capturilor are drept consecință directă și impactul negativ generat de supraexploatarea stocurilor de pești, consemnată cu predilecție pe parcursul ultimelor decenii, fapt ce a dus la scăderea accentuată a acestora sau chiar la dispariția unor specii [8].

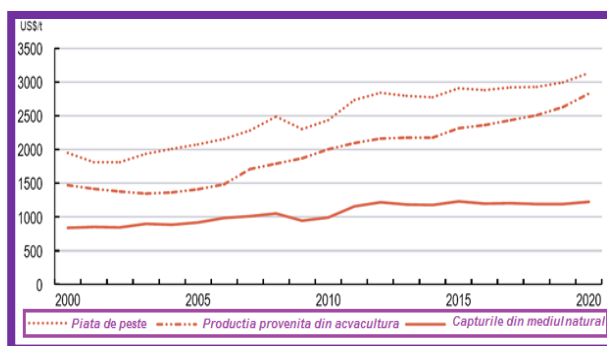


Fig.1.2. Predictia dinamicii valorice a producției de pește din acvacultură și a capturilor, având ca termen final de reper anul 2020 [6].



Fig.1.3. Predictia dinamicii cantitative a capturilor, a producției de pește din acvacultură și a ratei globale de consum de pește și produse din pește, având ca termen final de reper anul 2030 [7].

Drept urmare, acvacultura a generat un mare interes la nivelul comunităților științifice internaționale, alimentând preocupări legate de creșterea sustenabilității și profitabilității prin diverse metode specifice. Un prim pas obstacol în atingerea scopurilor menționate a fost legat de factorii care trebuie luați în calcul în vederea alegerii speciei de cultură. Ca atare, speciile cu un ritm de creștere rapid, cele cu o valoare economică crescută, precum și cele care prezintă un grad ridicat de adaptabilitate și rezistență la condiții mediale variate au fost prioritare. Un al doilea considerent ce a generat studii aprofundate a fost cel legat de sistemele de producție din acvacultură. Astfel, în ierarhizarea acestor sisteme de producție s-a ținut cont în primul rând, de capacitatea lor de producție și, în aproape egală măsură, de interacțiunea acestora cu mediul înconjurător, atât din punct de vedere al impactului pe care îl au asupra acestuia, cât și viceversa.

Sistemele de producție și facilitățile tehnologice din acvacultură pot fi clasificate în funcție de o multitudine de criterii de natură tehnică, tehnologică și ecologică. Este cunoscut faptul că principalele facilități tehnologice întâlnite într-un sistem de producție din acvacultură sunt unitățile de creștere. Acestea sunt clasificate în următoarele categorii [9]:

- ✓ heleștee (îndiguite, excavate, de baraj);
- ✓ „raceways”- unități de creștere alungite, tip canal, cu circulație intensă a apei (în funcție de design, amplasare și modul de circulație a apei exista următoarele tipuri: „race-ways” cu o singura trecere a apei, „race-ways” dispuse în serie sau paralel, „race-ways” flotante/”in pond”);

- ✓ bazine/tanks de formă diferită (circulare, octogonale, rectangulare), realizate din beton, fibră de sticlă, materiale plastice, metal, etc.);
- ✓ structuri de retenție din plasa (cuști suspendate/viviere flotabile, împrejmuiri/țarcuri);
- ✓ instalații specifice din acvacultură crustaceelor/shellfish (pontoane plutitoare, grătare suspendate, tăvi suspendate, etc.).

În ceea ce privește sistemele de producție, literatura de specialitate menționează numeroase criterii de clasificare [9, 10].

- *după tipul unității de creștere din cadrul sistemului de producție:*
 - ✗ acvacultura de heleșteu;
 - ✗ acvacultura în unități de creștere tip „raceway”;
 - ✗ acvacultura în sisteme recirculante;
 - ✗ acvacultura în cuști/viviere flotabile;
 - ✗ acvacultura în țarcuri.
- *în raport cu nivelul intensității:*
 - ✗ extensive, semi-intensive;
 - ✗ intensive;
 - ✗ foarte intensive.
- *după locul de amplasare a facilităților tehnologice:*
 - ✗ terestre;
 - ✗ acvatice;
 - ✗ tranziție.
- *în funcție de complexitatea managementului tehnologic și al controlului calității apei sistemele de producție sunt:*
 - ✗ deschise, semi-controlate (heleștee, „raceways”, structuri de retenție din plasă: cuști suspendate și țarcuri);
 - ✗ controlate (sisteme cu re folosire serială a apei, sisteme cu re folosirea parțială a apei, sisteme recirculante).
- *după relația sistem de producție-mediu, respectiv posibilitatea controlului impactului sistemului de producție asupra mediului înconjurător:*
 - ✗ deschise (structuri de retenție din plasă, instalații specifice în acvacultura crustaceelor/shellfish);
 - ✗ semi-închise (heleștee, race-ways, alte unități de creștere de tipul bazinelor/tanks, etc.);
 - ✗ închise (sisteme recirculante);
- *după modul de gestionare a apei într-un sistem de producție:*
 - ✗ sisteme de acvacultură flow-through (apa este trecută o singură dată prin unitățile de creștere și este descărcată integral în cursul de apă de unde a fost prelevată);
 - ✗ sisteme de acvacultură cu reutilizarea parțială a apei - PRAS (o parte din efluentul unităților de creștere este reținut și reciclat în vederea re folosirii apei);
 - ✗ sisteme recirculante de acvacultura - RAS (efluentul sistemului de producție este integral reciclat și re folosit).
- *după salinitatea apei:*
 - ✗ sisteme de acvacultură în ape dulci/acvacultura continentală;
 - ✗ sisteme de acvacultură în apă marină/acvacultura marină;
 - ✗ sisteme de acvacultură în apă salmastră/ acvacultura salmastră.
- *după specia ce face obiectul creșterii:*
 - ✗ acvacultura cypinidelor;
 - ✗ acvacultura salmonidelor;
 - ✗ acvacultura sturionilor;

- ✗ acvacultura molustelor;
- ✗ acvacultura crustaceelor;
- ✗ acvacultura algelor, etc.

➤ *considerente legate de rentabilizarea acvaculturii și/sau de reducere a impactului de mediu au condus la integrarea/asocierea acestora în/cu diferite sisteme de creștere a plantelor și animalelor [9, 10]. Ca atare, pot fi identificate următoarele sisteme de producție:*

- ✗ sisteme acvaponice;
- ✗ sisteme de acvacultura integrate multi-trofic;
- ✗ sisteme de acvacultură partiționate;
- ✗ sisteme integrate de acvacultură și cultura plantelor;
- ✗ sisteme integrate de acvacultură și creșterea animalelor;
- ✗ sisteme de acvacultură bazate pe substrat;
- ✗ sisteme de acvacultură bazate pe perifiton, etc.

Prin urmare, managementul operațional în activitatea industrială de acvacultura diferă în mare măsură în funcție de sistemul de producție folosit.

Acvacultura de heleșteu presupune menținerea condițiilor mediale la nivelul cerințelor tehnologice printr-o judicioasă echilibrare a inputurilor de hrană, cu capacitatea asimilativă a heleșteului [11]. După cum afirmă *Cristea V. și colab. (2002)*, productivitatea biologică naturală a heleșteului se comportă ca un filtru biologic ce procesează deșeurile [11]. Un sistem extensiv de acvacultură, bazat pe creșterea în heleștee (fig. 1.4 și 1.5), ridică o serie de probleme legate de efectuarea lucrărilor de terasament (compartimentarea heleșteelor, proiectarea și realizarea digurilor), proiectarea și realizarea canalelor de alimentare/evacuare și a canalelor drenor, lucrările de întreținere necesare a fi realizate în regim regulat.

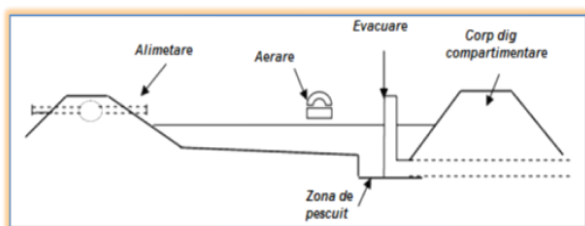


Fig.1.4. Diagramă reprezentativă pentru un sistem de producție cu heleștee [12]



Fig.1.5. Model de compartimentare a unui sistem de producție cu heleștee [13]

Este de actualitate faptul că, apa a devenit un factor limitativ în multe zone geografice. Acest lucru, amplificat de inputul scăzut și suprafața mare destinată activității de producție, conduce la eficiența scăzută a acestor sisteme de producție. Pentru mărirea eficienței economice, sistemele de producție cu heleștee trebuie să-și optimizeze consumul de apă, o soluție fiind integrarea acestora în cadrul altor sisteme de producție și, de asemenea, aplicarea unui management de producție orientat spre sfera sustenabilității. Opinii asemănătoare au fost expuse la nivel mondial [10]. Direcții mai concise în acest sens constau în implementarea metodelor de recirculare a apei în cadrul sistemelor extensive. Cu toate acestea, potențialul acestor sisteme în vederea dezvoltării sau a creșterii atractivității lor în rândul investitorilor este redus, ținând cont de faptul că tendința actuală este generată de intensificarea productivității și micșorarea spațiului utilizat pentru procesul de producție [14].

Acvacultura în unități de creștere tip „raceway” este cu precădere folosită pentru creșterea salmonidelor. Drept factor limitativ în acest caz, trebuie menționată concentrația în oxigen dizolvat a apei tehnologice, ce tinde să scadă spre ultima secțiune de unități de creștere. Din punct de vedere hidraulic, debitul de circulare al acestor sisteme trebuie să fie îndeajuns de mare pentru a facilita transportul produșilor metabolici spre evacuare [10]. De asemenea, acest

lucru trebuie înlesnit și de către forma geometrică și planul de înclinație a unităților de creștere. În compartimentarea unităților de producție acvacolă întâlnim de asemenea, o unitate de tratare a apei tehnologice (filtrare mecanică și biologică), înainte de evacuarea acesteia în cadrul cursului de apă din care s-a realizat alimentarea propriu-zisă (fig.1.6). Opțional, acest tip de sisteme de producție poate fi integrat și în producția agricolă, o fracțiune din apa tehnologică uzată fiind folosită în procesul de irigație al diverselor suprafețe agricole (fig.1.7). Caracterizate drept sisteme de producție semi-închise, raceways-urile au o rată zilnică de evacuare a apei și restituire a acesteia în emisar (fig. 1.6), cuprinsă între 15-100% [15].

Sisteme de acvacultură cu reutilizarea parțială a apei - PRAS (o parte din efluentul unităților de creștere este reținut și reciclat în vederea refolosirii apei) asigură condiții intensive de creștere a speciilor de salmonide, folosind în jur de 20% din cantitatea de apă necesară unui sistem „flow-through”, în condițiile înregistrării acelorași performanțe productive [10]. Ele folosesc sistem de evacuare „dual-drain”, ceea ce asigură o separare eficientă a solidelor grosiere, în momentul evacuării apei tehnologice din fiecare unitate de creștere în parte. Forma unităților de creștere este una circulară, facilitând astfel din punct de vedere hidraulic, direcționarea solidelor spre evacuare.

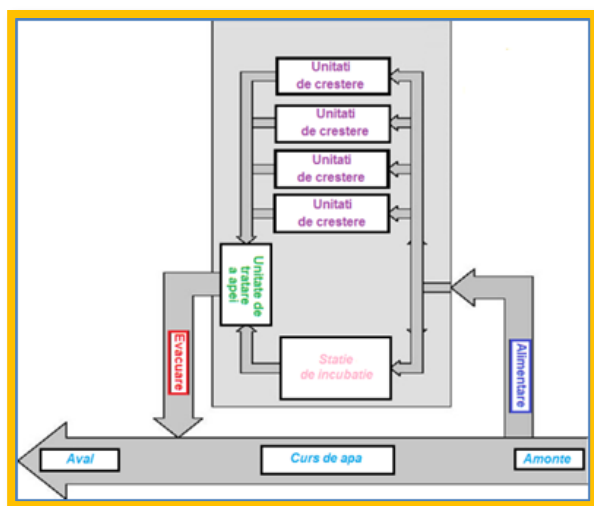


Fig.1.6. Schema de funcționare a unui sistem cu unități de creștere tip „raceway” [15]

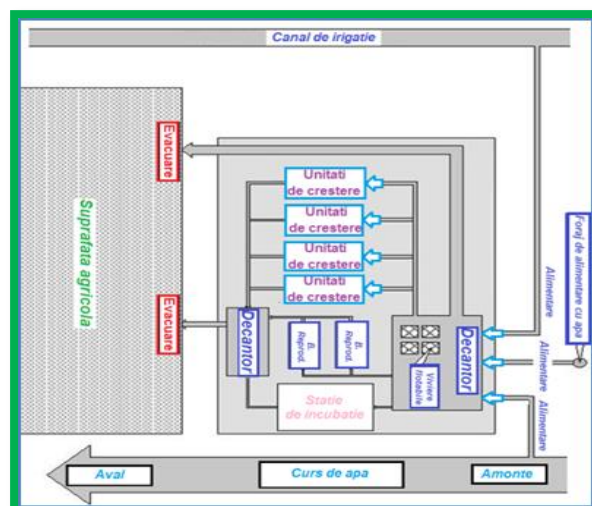


Fig.1.7. Schema de funcționare a unui sistem integrat, cu unități tip „raceway” [15]

Astfel, PRAS au o rată zilnică de schimb a apei cuprinsă între 15-30%, restul cantității fiind supusă recirculării. Pe lângă sistemul de separare al solidelor grosiere, aceste sisteme de producție sunt dotate, de asemenea, cu filtre mecanice de capacitate mare, destinate a îndepărta solidele fine și sisteme de oxigenare. Singura metodă de control a concentrației de azot amoniacal este reprezentată de diluția apei tehnologice, aplicând rata de schimb menționată anterior. Aceste sisteme pot fi integrate, de asemenea, folosind apa reziduală, rezultată în urma procesului de filtrare mecanică drept sursă de nutrienți pentru culturile agricole (fig.1.8).

Este important de precizat faptul că apa reziduală este monitorizată din punct de vedere calitativ iar atunci când valorile concentrației de azot amoniacal sunt foarte mari, fapt ce poate afecta în mod negativ creșterea și dezvoltarea plantelor, aceasta este supusă unui proces de diluție (fig.1.8).

Acvacultura în cuști/viviere flotabile beneficiază de o popularitate însemnată la nivel mondial, cu precădere în Europa, America de Sud și China [10]. Acestea asigură practicarea unor densități de stocare însemnate, beneficiind de un cost redus al investiției inițiale. Acest tip de sistem de producție nu este încă conturat, din punct de vedere tehnic confruntându-se cu o

serie de probleme legate de rezistența scheletului de susținere și chiar a plaselor ce delimitează suprafața de creștere, la diversele solicitări dinamice ale apei (valuri, curenți etc.). De asemenea, un management tehnologic anume este greu de implementat la nivelul acestor sisteme de producție.

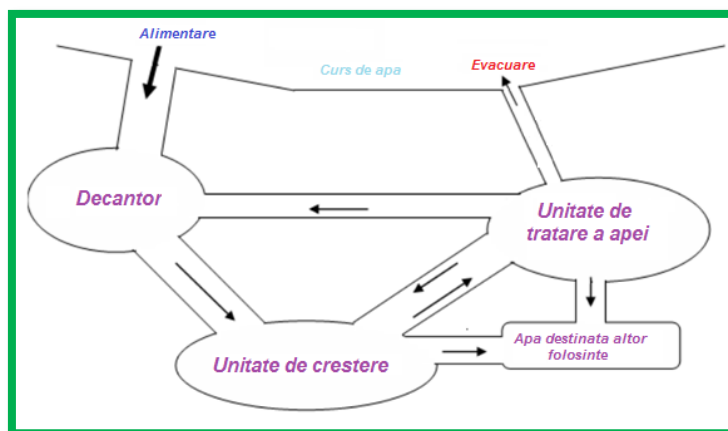


Fig.1.8. Schema de funcționare a unui sistem *integrat de acvacultură cu reutilizarea parțială a apei* (PRAS) [15]

Performanțele economice ale acestor sisteme au fost analizate și în precedente lucrări științifice [4, 14], fezabilitatea economică a acestora fiind generată în special de volumul mare de producție pe care îl pot genera. De asemenea, la puncte negative, trebuie punctate și problemele pe care acestea le generează în relația cu mediu marin și desigur în relația cu alte sectoare de activitate, precum cel turistic [4, 14].

Sistemele recirculante de producție (RAS) reprezintă principalul pilon de dezvoltare a acvaculturii la nivel mondial. Acestea sunt catalogate a fi sisteme intensive și super-intensive de producție, ce se află într-o poziție foarte privilegiată în raportul cu mediul înconjurător. La nivel mondial, rata de întrebuințare a acestor sisteme de producție este pe o pantă ascendentă, costul mare al investiției inițiale pe care îl necesită constituind totuși un factor limitativ în vederea acaparării din punct de vedere tehnic a industriei acvacole. În schimb, după cum *Cristrea V. și colab. (2002)* menționează, preocupările actuale pentru diversificarea și intensificarea tehnologiilor de acvacultură, precum și cele referitoare la conservarea bioresurselor din ecosistemele acvatice naturale, impun investiții majore (financiare, umane), pentru realizarea unor sisteme complexe de producție [11]. Încă de la sfârșitul anilor '80, producția de pește generată de sistemele recirculante a avut o tendință ascendentă, fapt generat și de creșterea diversității de specii de pești, crescute în cadrul acestor sisteme [16,17,18,19].

Tendința certă este de a renunța pe cât posibil la celelalte sisteme de producție, în detrimentul RAS. Cîteva exemple concludente la nivel mondial sunt legate de creșterea somonului de Atlantic în Insulele Feroe, unde varianta consacrată de producție din zonă și anume sistemele de tip „flow-through”, a fost înlocuită de varianta RAS [16, 20, 21]. De asemenea, sistemele „flow-through” din Norvegia, folosite pentru creșterea somonului, au fost înlocuite cu RAS din considerente legate de limitarea resurselor de apă și variațiile sezoniere ale temperaturii [16, 22]. Recomandările actuale ale Uniunii Europene lansate spre sectorul acvacol sunt strâns legate de sustenabilitate, fapt ce conturează mai bine statutul sistemelor recirculante pe viitor.

Trebuie punctat și faptul că avantajele acestor sisteme nu sunt legate exclusiv de acest statut privilegiat în relația cu mediul înconjurător, ele asigură de asemenea un control exact asupra factorilor mediali ce intervin în cadrul procesului de producție, înlătură diverse riscuri

(calamități naturale, poluare, alunecări de teren) prezente, de altfel, în cazul celorlaltor sisteme de producție și permite optimizarea perioadei de creștere a diverselor specii de pești, pe perioada unui an calendaristic. În cazul sistemelor recirculante performanțe ridicate legate de tratarea apei biologice sunt atinse în momentul în care aproximativ 96 – 100% din totalul producției de reziduuri metabolice este înlăturat [23], în comparație cu sistemele tip „flow-through” unde acest procent variază între 25 – 50%.

Dat fiind tendința actuală a țărilor dezvoltate din Uniunea Europeană, cât și tendința asemănătoare a acvaculturii din SUA spre mărirea ponderii producției de pește obținută în sistemele intensive și superintensive [24], cercetările din domeniul nutriției peștelui au devenit preocupări de actualitate. De asemenea, principalele atuuri ale RAS și anume asigurarea posibilității practicării unor densități de creștere ridicate și a unor intensități mari de furajare, poate ridica probleme legate de standardele de bunăstare a materialului biologic, impuse de instituțiile europene în domeniu [25]. S-a confirmat faptul că densitățile mari de creștere au efect negativ asupra parametrilor de creștere a materialului biologic din cauza accentuării concurenței la hrană în interiorul populației piscicole și degradării calității apei [26, 27]. Acești factori au o influență directă și asupra compoziției biochimice a cărnii de pește [27].

Pentru creșterea anumitor specii în regim intensiv, precum sturionii, este necesară o bună cunoaștere a factorilor care pot influența, în mod favorabil sau nu, creșterea și dezvoltarea acestora [28]. Densitatea de creștere la nivelul sistemelor de producție intensive și superintensive este cel mai frecvent definită drept raportul dintre biomasa totală a materialului biologic și unitatea de volum [11, 29]. Ca atare, mulți autori asociază scăderea ratei de creștere a materialului biologic, în cadrul sistemelor de producție intensivă și superintensivă, cu valorile prea mari și neconforme ale densității de creștere [30, 31]. Intensivitatea unei unități de producție piscicolă implică și stabilirea unor diete specifice din punct de vedere nutrițional, având drept scopuri directe maximizarea parametrilor de creștere și asigurarea unei ridicate rate de supraviețuire a materialului piscicol, în condițiile minimalizării costurilor [32, 33]. Preocupări legate de bunăstarea materialului biologic, crescut în condiții intensive, sunt de actualitate când vorbim de sustenabilitatea RAS [34], mai ales în cazul în care aceste sisteme de producție sunt folosite pentru refacerea populațiilor piscicole din anumite zone geografice.

Sistemele recirculante de producție sunt privite fiecare în parte ca o entitate separată, caracterizată de rata zilnică de schimb a apei tehnologice și de cantitatea de produși metabolici generați de biomasa de cultură [35].

Astfel, principalele caracteristici ale acestor sisteme, în vederea realizării unui model general de predicție a concentrațiilor de compuși ai azotului, existente la un moment dat, este strâns legată de evoluția temperaturii, a pH-ului și de asemenea, a concentrațiilor celorlaltor nutrienți prezenți în efluentul sistemului [35]. S-au întreprins o serie de studii legate de mecanismele de excreție a amoniului [36, 37, 38, 39] dar cu toate acestea, rata de producție a azotului total amoniacal (TAN) constată în cadrul unui anumit studiu este validă numai în condițiile particulare ale aceluia studiu [40].

În condițiile diverselor sisteme recirculante prezente în activitatea de producție, există o serie de factori ce pot afecta ratele de producție a azotului amoniacal. Ca atare, concentrația de azot amoniacal în cadrul acestor sisteme, poate fi influențată de o serie de procese biologice ce nu își fac apariția și în cadrul condițiilor experimentale ale unui sistem pilot [40].

În proiectarea sistemelor recirculante se folosesc calcule de bilanț masic ce implică cuantificarea și dinamica (convesii și consum) intrărilor și ieșirilor ce au loc în cadrul sistemului. Astfel, în scopul asigurării funcționalității sistemului la o stare de echilibru, trebuie luată drept reper capacitatea portantă a acestuia.

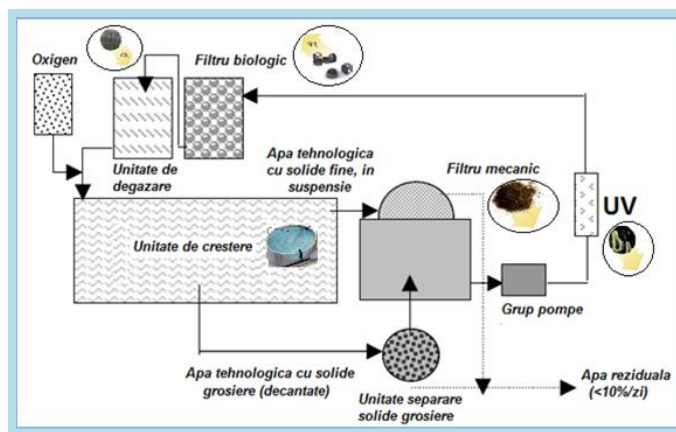


Fig.1.9. Schema de funcționare a unui sistem recirculant de acvacultură [41]

Concentrațiile nitrăților și ale azotului amoniacal total, oxigenului dizolvat, precum și bilanțul masic al solidelor pot fi deduse, având drept scop stabilirea debitelor de recirculare corespunzătoare fiecărei unități componente a sistemului, asigurând astfel eficiența acestuia. Acest lucru este important deoarece performanța economică a unui sistem recirculant de producție depinde în mare măsură de costul de achiziție și mentenanță al echipamentelor unităților de tratare a apelor [11].

În proiectarea sistemelor recirculante trebuie să se țină cont de procesele fundamentale de tratare a apei, denumite și procese unitare, integrate în schema de funcționare (fig.1.9). Aceste procese presupun îndepărtarea solidelor fine și grosiere, a dioxidului de carbon din apă, conversia amoniacului și nitriflor, precum și injectarea de oxigen dizolvat în masa apei [11].

Controlul solidelor reziduale se realizează prin procesul de *filtrare mecanică*. Această etapă ridică probleme legate de creșterea turbidității, a consumului de apă generat de autospălarea excesivă a unității filtratoare și, de asemenea, legate de îndepărtarea solidelor fine. Hidrodinamica circulară a unităților de creștere facilitează procesul de evacuare al solidelor pe măsură ce se acumulează la baza unității de creștere [11, 41]. Un sistem eficient de evacuare a solidelor presupune utilizarea tehnicii „dual-drain” ce constă în divizarea conductei de evacuare corespunzătoare unităților de creștere. Astfel, conducta de evacuare este împărțită în două conducte de diametre diferite, cea cu diametrul mai mare generând un debit mai mare și ca atare captând majoritatea solidelor în suspensie în comparație cu cea cu diametrul mic folosită pentru evacuarea solidelor de fund [41].

Degradarea biologică a reziduurilor fecale și a hranei neconsumate, cuantificată prin valorile procentuale ale necesarului biochimic de oxigen (BOD5) este atribuită prezenței diverselor microorganisme în diversele zone din cadrul sistemului recirculant (unități de creștere, conducte, filtre utilizate în procesul de filtrare mecanică). Solidele grosiere sau sedimentabile ($>100\mu\text{m}$), sunt îndepărtate folosind dispozitive de sedimentare (camere de sedimentare, separatori înclinați, separatori turbionari). Solidele fine ($<100\mu\text{m}$) sunt îndepărtate utilizând filtre mecanice cu filtrare de adâncime (filtre presurizate, cu nisip) sau microsife de filtrare cu opțiuni de curățare automată.

De asemenea, procedeul de separare cu spumă se poate dovedi o soluție viabilă, acest procedeu fiind utilizat în general pentru reducerea semnificativă a turbidității apei și a consumului de oxigen din cadrul sistemului de cultură [11]. Diferitele tehnici de îndepărtare a solidelor precum cele de sedimentare, hidrocicloanele sau filtrarea mecanică, au fost îndelung cercetate [42], raportându-se rate de îndepărtare de peste 87% pentru solide cu un diametru de peste $77\mu\text{m}$, în cazul folosirii hidrocicloanelor [43]. De asemenea, procentul de îndepărtare de 40% a fost consemnat în cazul folosirii unui filtru mecanic cu diametrul de filtrare de $40\mu\text{m}$ [44].

Cu toate că, aceste tehnici de filtrare mecanică se dovedesc a fi foarte eficiente, microbiota prezentă în particulele solide rămase în cadrul sistemului le folosește pe acestea drept substrat cu scopul de a genera înalți compuși de refracție [45].

Controlul compușilor azotului se realizează prin procesul de *filtrare biologică*. Procesul de filtrare biologică, în largul său sens, include orice tehnică de filtrare ce utilizează organisme biologice pentru înlăturarea impurităților din apă [46]. În cazul sistemelor recirculante filtrarea biologică are drept scop descompunerea amoniacului (NH_3), de un grad mare de toxicitate pentru materialul biologic, în nitriți (NO_2^-) și apoi nitrați (NO_3^-), compuși cu un grad de toxicitate inferior.

Amoniacul este un compus foarte solubil și reacționează cu apa, în vederea formării ionilor de amoniu. Acesta este produsul principal de degradare al metabolismului azotului la pești și este produs de activitățile metabolice ale nervilor și țesutului muscular, dezaminarea aminoacizilor de către ficat și de către activitatea enzimatică a microflorei din stomac [47]. Concentrațiile scăzute de oxigen dizolvat cresc toxicitatea amoniacului. Același lucru se întâmplă și în cazul creșterii concentrației de dioxid de carbon din apă și ca atare, creșterea pH-ului.

Nitriții sunt produsul intermediar al oxidării organice și al proceselor bacteriene mediatore, nitrificare și denitrificare [47]. Aceștia sunt rezultatul unei nitrificări ineficiente în situațiile unor rate mari de încărcare a azotului. Nitrificarea, fiind o reacție de oxidare, este dependentă de prezența oxigenului dizolvat. În cazul unor concentrații ridicate de nitriți a apei tehnologice din cadrul unui sistem recirculant, managementul calității apei trebuie revizuit într-un anumit fel încât să se găsească soluții pentru remedierea acestui lucru. De asemenea, modul de administrare a hranei și capacitatea portantă a sistemului trebuie ajustate. Menținerea constantă a temperaturii apei poate împiedica fluctuațiile concentrației de nitrit. Efectele cumulative ale temperaturii, pH-ului și concentrației de clorură, influențează rata de absorbție a nitratului de către pește și drept urmare toxicitatea acestuia [47].

Nitrații sunt produsul final a două procese de mediere bacteriologică din ciclul nitrificării amoniacului. Astfel, nitrificarea reprezintă oxidarea secvențială a amoniacului în nitrit și a nitritului în nitrat (fig.1.10).

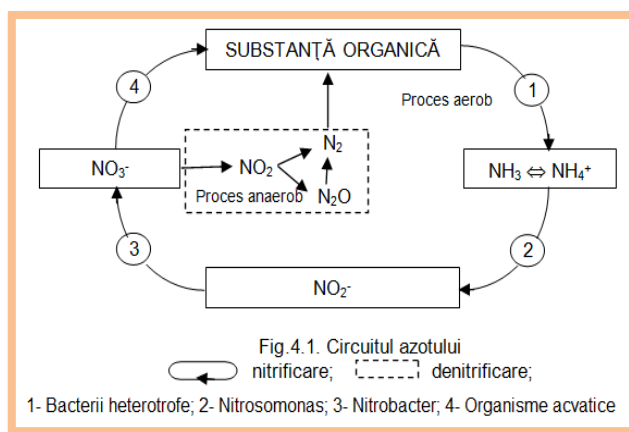


Fig.1.10. Ciclul azotului [11]

Nitratul este mai puțin toxic pentru pești în comparație cu ceilalți compuși ai azotului. Fitrele biologice sunt proiectate pentru a oferi bacteriilor nitrificatoare o suprafață cât mai mare de colonizare. În cadrul filtrelor biologice din sistemele recirculante din acvacultură se utilizează, în general, medii realizate din material plastic, inerte, netoxice, ce oferă o suprafață mare de colonizare pe o anumită unitate de volum (în general între $100\text{-}1000\text{ m}^2/\text{m}^3$) [47]. În condițiile

creșterii concentrațiilor de nitrați în apa tehnologică, cea mai comodă metodă de contracarare este cea bazată pe procesul de diluție.

Metodele moderne, ce măresc sustenabilitatea sistemelor recirculante, sunt bazate pe introducerea unei unități de denitrificare sau integrarea unor sisteme de tratare cu ajutorul tehnicilor de fitoremediere. Reducerea biologică a azotatului la formă gazoasă este (denitrificarea) fezabilă în prezența unei surse de carbon corespunzătoare. Alte metode nespecifice de îndepărtare a nitratului includ trecerea fluxului de apă printr-o coloană de schimb ionic, cu afinitate selectivă pentru nitrați [47].

Sterilizarea și dezinfecția apei constă în aplicarea metodelor eficiente de dezinfecție și sterilizare a apei tehnologice în scopul distrugerii/reducerii încărcăturii microbiene [11]. Metodele de realizare a acestei tratări presupun folosirea *radiațiilor ultraviolete (UV) și a instalațiilor cu ozon*. Lămpile UV sunt eficiente la 40 °C și au o eficiență redusă în apa ce conține un grad ridicat de solide în suspensie sau materie organică dizolvată [47]. Ca atare, poziționarea lămpilor UV se face după echipamentul de filtrare mecanică. În cazul dispozitivelor pe bază de ozon, au loc anumite interacțiuni ce au ca rezultat final scăderea turbidității. Aceste interacțiuni constau în oxidarea compușilor organici, coagularea particulelor mici și descompunerea lanțurilor de molecule mari, în lanțuri mai mici, ușor degradabile [47].

Controlul pH-lui și al alcalinității reprezintă o problemă esențială ce trebuie luată în calcul în cadrul unui sistem recirculant de acvacultură [11]. Menținerea pH-lui în limitele optime se realizează prin adăugarea de substanțe tampon alcaline (carbonat de calciu sau bicarbonat de sodiu). În cazul alcalinității, dacă se înregistrează o valoare scăzută se impune adăugarea unei baze care să mențină alcalinitatea apei la valoarea optimă (laptele de var $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, varul nestins (CaO) și bicarbonatul de sodiu (NaHCO_3)).

Controlul gazelor dizolvate presupune monitorizarea oxigenului dizolvat și suplimentarea acestuia. Rata globală a consumului de oxigen dintr-un sistem include rata oxigenului consumat în respirația peștilor, rata consumului de oxigen în procesul descompunerii reziduurilor metabolice și a hranei neconsumate (consumul biochimic de oxigen – BOD), precum și rata consumului de oxigen în nitrificare [11]. Trebuie menționat faptul că, în lipsa unei concentrații optime de oxigen dizolvat, un gaz ce se poate dovedi toxic este reprezentat de dioxidul de carbon. Pentru reducerea concentrației acestuia, se folosesc diferite procese fizico-chimice, dat fiind relația directă cu pH-ul.

Inovații actuale din domeniul ingineresc, legate de îmbunătățirea RAS au ca obiective principale optimizarea consumului de energie prin perfecționarea metodelor de filtrare sau integrarea de metode noi, sustenabile. *Automatizarea și robotizarea proceselor* din interiorul unui RAS au manifestat o evoluție constant ascendentă, fapt explicat de creșterea interesului investitorilor. În corelație cu această abordare inginerască, este nevoie de un progres însemnat legat de *modul de interacțiune a materialului biologic cu însuși biotopul reprezentat de sistemul de producție în sine*. Principalele probleme constatate sunt legate de *gradul de acumulare al solidelor fine* în cadrul sistemului recirculant, fiind absolut necesară o intensificare a cercetărilor în acest scop. De asemenea, pentru o tratare mai eficientă a apei se impun aplicarea unor *tehnologii de fito-bioremediere*, prin integrarea în circuit a altor sisteme de creștere, precum cele hidroponice.

1.1.2. Acvaponia și sistemele acvaponice de producție

Conform studiilor recente, realizate de Institutul Resurselor Terrei „World Resources Institute” (WRI), creșterea populației la nivel global generează o creștere direct proporțională a cuantumului de calorii necesare [48] (fig.1.11). Astfel, pentru a îndeplini exigențele acestui fenomen și a menține rația zilnică de calorii raportată fiecărui individ la un nivel optim, producția

anuală obținută din agricultură trebuie să consemneze o creștere notabilă și în același timp, să fie folosită într-un mod mult mai eficient, reducând eventualele pierderi, destul de semnificative până în momentul actual [48] (fig.1.12). Sectorul agricol este de o amploare considerabilă, având implicații sociale și economice vaste. Drept dovadă, acesta asigură o pondere semnificativă în ceea ce privește gradul de ocupare directă și indirectă a forței de muncă, la nivel global [48] (fig.1.13.).

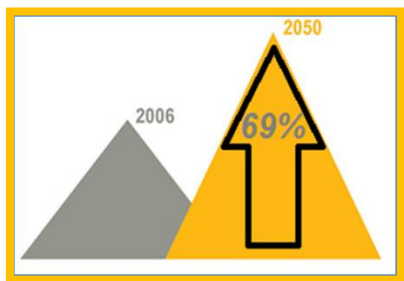


Fig. 1.11. Creșterea procentuală a cantității totale de calorii la nivel global, având ca termen final de reper anul 2050 [48].

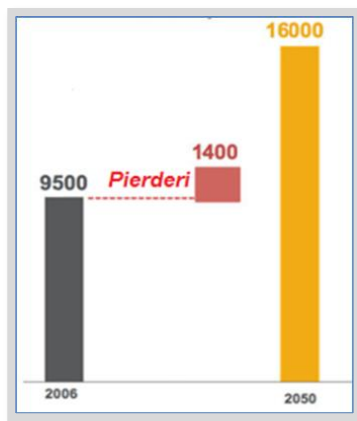


Fig. 1.12. Nivelul caloric al producției agricole anuale, având ca termen final de reper anul 2050 [48].



Fig. 1.13. Gradul de ocupare directă și indirectă a forței de muncă, la nivel global, în sectorul agricol [48].

Luând în considerare aspectele semnalate mai sus, devine o certitudine faptul că mărirea producției și ca atare a productivității alimentare, devine imperativă. Intensificarea activității de producție ridică, de asemenea, probleme legate de sustenabilitatea acesteia. În prezent, la nivel global, resursele naturale suferă o accentuată depreciere datorită exploatarei intensive și neconforme a acestora. Apa, principala sursă de input atât în procesul de producție din agricultură, cât și în cel din acvacultură, suferă o degradare calitativă și cantitativă accentuată (fig.1.14).

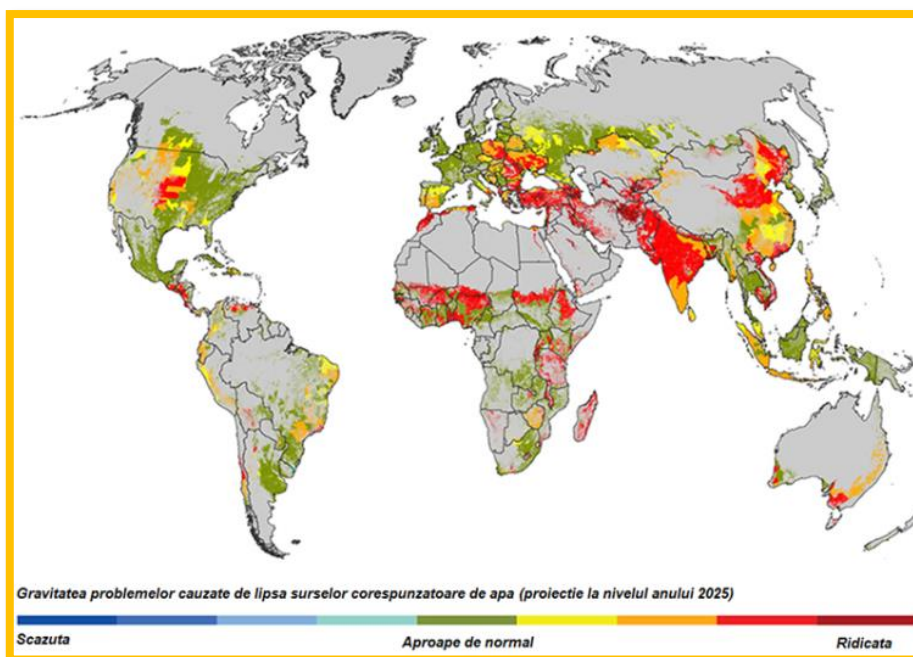


Fig. 1.14. Situația globală a intensității problemelor legate de lipsa surselor de apă corespunzătoare exigențelor activităților de producție agricolă și acvacolă [48]

Toate aceste aspecte au condus spre intensificarea preocupărilor pentru găsirea de noi metode de producție mai sustenabile sau pentru îmbunătățirea metodelor de tratare a apelor uzate, provenite din activitatea de producție. În ceea ce privește acvacultura, metodele de tratare a apelor uzate prin membrane poroase reprezintă o soluție. Viadero și Noblet (2002) au efectuat cercetări complexe legate de utilizarea acestei metode în vederea îndepărtării solidelor fine din apa tehnologică provenită din producția acvacolă. Astfel s-a constatat faptul că această tehnologie de îmbunătățire a calității apei poate reține particole mai mari de 10μm, în funcție de dimensiunea porilor, permițând în același timp trecerea compușilor dizolvați și a apei [47]. Procedul asigură de asemenea, crearea unui mediu adecvat pentru eliminarea azotului din apă, prin intermediul proceselor de nitrificare și denitrificare [50].

O altă metodă folosită cu scopul de epurare a apelor reziduale constă în utilizarea zonelor umede. Utilizată în special în vestul Europei, această metodă presupune amenajarea zonelor umede artificiale drept ecosisteme naturale ce realizează tratarea fizică și biologică a apelor uzate prin intermediul unui filtru de nisip sau pietriș izolat etanș, în special cu sol natural, ce servește drept strat suport pentru creșterea vegetației [51]. Prin folosirea acestei metode s-a înregistrat o rată procentuală de îndepărtare în cazul compușilor azotului de până la 98%, a fosforului total, de până la 71% și a solidelor suspendate, de până la 95% [52]. Plantele cultivate sunt esențiale pentru buna funcționare a procesului, acestea servind și drept suport pentru dezvoltarea biofilmelor bacteriene [53]. *Phragmites australis* și *Typha latifolia* sunt cele mai des folosite plante în acest sens [52]. Clasificarea terenurilor umede generează împărțirea acestora în patru grupe [54, 55, 56]:

- ▣ Zone umede artificiale submersate, cu nivel staționar al apei;
- ▣ Zone umede artificiale cu flux de apă subteran orizontal;
- ▣ Zone umede artificiale cu flux de apă ascendent;
- ▣ Zone umede artificiale hibride.

Metoda iazurilor/bazinelor de stabilizare este un procedeu consacrat de epurare extensivă ce se caracterizează printr-o performanță ridicată, lucrări de mentenanță scăzute ca intensitate și eficiență economică generată în special de consumul redus de energie [51]. Iazurile anaerobe, facultative și mature sunt cele mai folosite deoarece nu presupun utilizarea proceselor mecanice [57].

În cadrul sistemelor recirculante, costurile aferente operațiunilor de tratare a apei au o pondere semnificativă raportată la costurile totale de producție, fapt ce determină o abordare riguroasă în alegerea speciilor de pești ce urmează a fi crescute, în funcție de valoarea comercială a acestora. Având drept scop optimizarea performanțelor economice prin îmbunătățirea capacității de tratare a apei, cât și prin obținerea unei biomase secundare de cultură, comercializabilă, integrarea tehnicilor hidroponice de cultură în cadrul sistemelor recirculante de acvacultură se dovedește a fi soluția perfectă. Astfel, noile sisteme recirculante de producție intensivă rezultate poartă denumirea de **sisteme acvaponice integrate** iar activitatea rezultată poartă denumirea de **acvaponie**. Popularitatea acestor sisteme este foarte crescută datorită capacității acestora de tratare a apelor tehnologice, fiind folosite drept sursă de nutrienți pentru cultura de biomasă vegetală [58, 59, 60, 61].

Într-un sistem recirculant integrat, ciclul de producție include administrarea de hrană pentru biomasa piscicolă, ținând cont de atingerea unei anume performanțe tehnologice de creștere și valorificare a produșilor metabolici rezultați din urma procesului de digestie a hranei, prin creșterea unei biomase vegetale [62, 63, 64, 65]. Acest proces are la bază principiul beneficiu/beneficiu [66]. Apropierea dintre acvacultură și hidroponie este privită drept una dintre puținele soluții de îmbunătățire a eficienței de utilizare a apei și a nutrienților realizându-se astfel o reducere a compușilor ce se pot dovedi toxici în concentrații mari în apa tehnologică.

Reducerea suprafețelor necesare producției contribuie, de asemenea, la sustenabilitatea acestui sistem.

Cultura plantelor în sistem acvaponic, în mod direct sau indirect, a fost practică în China și SE Asiei încă de acum câteva sute de ani, popularitatea acestui sistem de producție luând însă amploare în anii '90 [67]. Drept principală reacție a comunității științifice internaționale, în anul 1997 apare „Aquaponics Journal”, publicație științifică care este destinată strict problematicilor acvaponice [67].

Hidroponia are o istorie mult mai îndepărtată originea sa datând încă din timpul antichității. Legat de etimologia cuvântului, trebuie menționat faptul că originile acestuia se găsesc în limba greacă, fiind format prin contopire („hydro” – apă și „ponos” – muncă) [67]. Aztecii foloseau insule artificiale cunoscute sub denumirea de „chinampas”, unde erau crescute plante [68]. Aceste insule erau situate pe iazuri și erau alimentate de apă reziduală [68, 69, 70, 71] (fig.1.15). În Mexic, materia organică a fost utilizată pentru umplerea unor suporturi din bambus, având drept scop realizarea de suprafețe suport pentru cultura plantelor pe apă [72].



Fig.1.15. Dovezi ce atestă existența hidroponiei drept formă de producție vegetală, încă din perioada antichității [68]

Fitoremedierea este definită drept utilizarea plantelor și a microorganismelor aferente acestora, în scopul tratării unei ape reziduale. În afară de acvaponie, un alt proces de fitoremediere în care sunt folosite plante pentru extragerea contaminanților din sol este reprezentat de fitoextracție [73]. Acest proces se poate aplica și în scopul tratării apelor [73]. În cadrul unui sistem acvaponic adecvat, biomasa vegetală îndepărtează un procent substanțial de nutrienți din apa tehnologică, reducând astfel rata zilnică de schimb a apei.

Reducerea acestei rate de schimb a apei tehnologice generează o scădere a costurilor operaționale. Astfel, putem afirma faptul că o cultură vegetală secundară ce își asigură majoritatea nutrienților din apa tehnologică, fără a genera costuri suplimentare, îmbunătățește potențialul de profitabilitate a sistemelor recirculante [74]. Biomasa vegetală tratează apa tehnologică și în condițiile unei judicioase dimensionări în raport cu biomasa piscicolă și ca atare, cu producția de reziduuri metabolice, acestea pot scoate din uz filtrele biologice.

Sistemele recirculante integrate asigură conservarea și exploatarea rațională resurselor de apă și a nutrienților utilizați pentru creșterea plantelor [75]. Consumul de apă în cadrul unui sistem recirculant integrat reprezintă 1% din consumul înregistrat în cazul sistemelor de producție acvicolă clasice, fapt ce generează o creștere a aplicabilității acestora în zonele aride și semiaride, unde poate fi consemnată o cerere însemnată de pește și produse vegetale [75].

Existența ciclurilor de producție pe toată durata unui an calendaristic are drept consecință practicarea unor prețuri accesibile, indiferent de sezon pentru produsele vegetale. Ritmul de creștere a biomasei vegetale obținută acvaponic este asemănător celor înregistrate în cazul sistemelor de cultură clasice și chiar și al celor hidroponice, un rol esențial în determinarea acestui lucru avându-l și specia de plante cultivată [69, 74, 76] (fig.1.16).

Calitatea biomasei vegetale, faptul că aceasta este obținută prin metode de producție exclusiv organice și în zone în care dezvoltarea agriculturii este aproape imposibilă din cauza existenței factorilor limitativi, cât și procesul vizibil mai accesibil de mentenanță în comparație cu metodele de producție clasice, pe sol, sunt atuuri importante în contextul actualei economii de piață.

Ca atare, integrarea culturilor hidroponice în interiorul sistemelor recirculante generează un venit suplimentar ce oferă un suport economic pe plan zonal [77]. Fenomenul acvaponic este mai intens, ajungându-se la implementarea acestor tehnici chiar și în cadrul sistemelor hidroponice clasice având drept scop reducerea costurilor aferente soluțiilor hidroponice [78, 79].

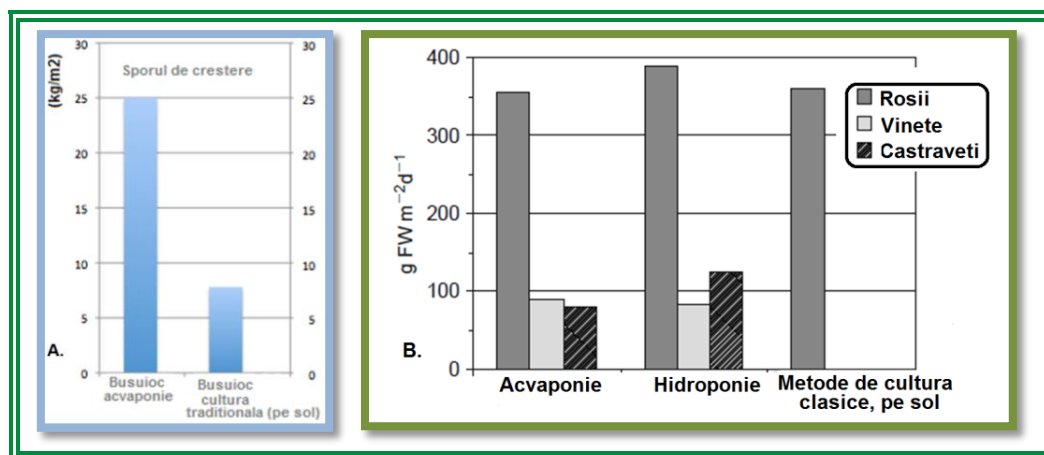


Fig.1.16. Analiză comparativă a performanțelor de creștere a diverselor tipuri de plante, crescute în diferite sisteme de producție A. [74], B. [76].

Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) este specia de pești cea mai frecvent utilizată în cadrul sistemelor recirculante integrate datorită toleranței pe care o manifestă față de anumiți factori relevanți ai procesului tehnologic precum pH-ul, temperatura și nivelul de oxigen dizolvat din apă [80, 81]. În ceea ce privește specia de plante, salata, spanacul, roșiile, năsturelul, castraveții și chiar unele fructe (căpșunile) sunt folosite cu succes în cadrul sistemelor acvaponice.

Grabner și colab. (2009) lansează ipoteza conform căreia plantele pot fi cultivate folosind filtrul biologic de tip trickling drept substrat de creștere și astfel îmbinând procesul de transformare al azotului amoniacal cu cel de absorbție al produșilor finali, nitrații [76]. McMurtry a experimentat primul sistem acvaponic cu circuit închis ce folosea roșii plantate pe substrat de nisip în tratarea efluentului provenit din procesul de producție a tilapiei [83].

Aplicarea unui management al producției ce constă în cultivarea concomitentă a biomasei vegetale aflată în diverse stadii de evoluție este recomandată, fapt ce asigură o absorbție constantă a nutrienților, menținând echilibrul acestora și împiedicând apariția unor concentrații mari a compușilor azotului în apa tehnologică [83].

Ciclul azotului în cadrul unui sistem recirculant integrat implică valorificarea acestuia de către biomasa vegetală după o prealabilă filtrare biologică (fig.1.17). Din totalul inputurilor de azot din cadrul sistemului, 30% sunt reținute în țesutul muscular al cărnii peștelui și peste 40% sunt reținute de biomasa vegetală de cultură [67, 84].

În cazul folosirii unui sistem de biofiltrare separat, procentul de asimilare al nutrienților poate înregistra o valoare mai ridicată [85]. Amestecul de bacterii nitrificatoare, rizobacterii, fungi și microplanton, din apa tehnologică, asigură plantelor un mediu benefic de dezvoltare datorită interacțiunilor pozitive ce se manifestă la nivelul rădăcinii și dezvoltarea capacității de rezistență împotriva diversilor agenți patogeni [86].

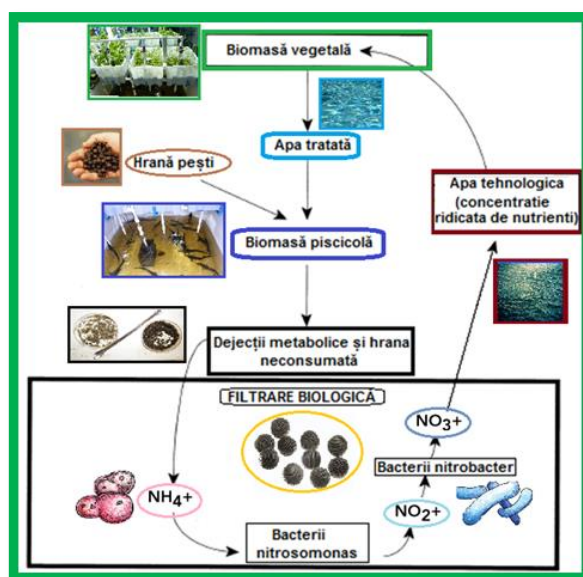


Fig.1.17. Ciclul procesului de producție într-un sistem recirculant integrat

Componentele principale ale unui sistem recirculant integrat sunt următoarele: unități de creștere, unitate de decantare, filtru mecanic, biofiltru, unitatea de degazare, modul hidroponic de cultivare, unitatea de aerare și, de asemenea, grupul de pompare [67]. Părerile legate de modul optim de dispunere al acestor componente sunt împărțite. Astfel, *Rakocy și colab.* (2006) consideră că unitățile de îndepărtare a solidelor și de biofiltrare trebuie să preceadă modulul hidroponic de creștere [87] (fig.1.18).

Se recomandă ca unitățile de creștere a peștelui să aibă o formă cilindrică pentru a îmbunătăți parametrii hidrodinamici și a împiedica formarea zonelor inaccesibile „dead areas”, unde are loc o acumulare, în cantități însemnate, a solidelor. Proiectarea optimă a sistemului de aerare oferă condiții optime de creștere pentru biomasa animală și vegetală, permite practicarea unor densități de creștere ridicate, reduce riscul asociat unei funcționalități improprie a pompelor și contribuie la buna funcționare a procesului de nitrificare [67].

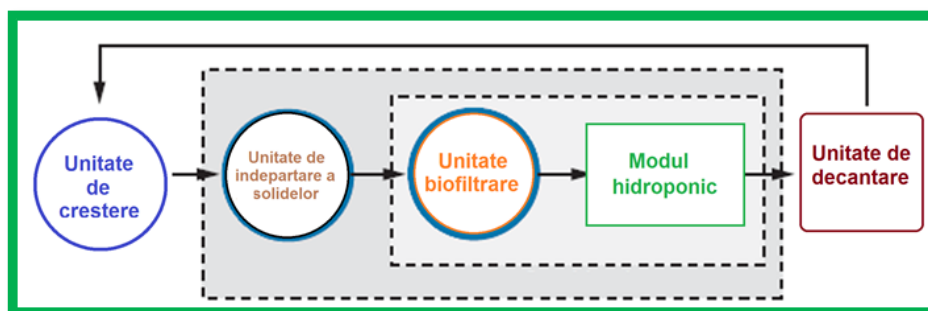


Fig.1.18. Modul optim de aranjare a componentelor unui sistem recirculant integrat [87]

Unitățile pentru îndepărtarea solidelor înregistrează o funcționare optimă în condițiile înregistrării unei rate de îndepărtare mai mare de 40%. În funcție de tipul echipamentului folosit, rata de îndepărtare a solidelor poate atinge și procentul de 78%. Buna funcționare a procesului de îndepărtare a solidelor este esențială, în caz contrar acumulările acestora putând afecta în mod negativ rădăcinile plantelor.

Unitatea de biofiltrare poate avea și rol în reducerea cantității de solide suspendate, un model simplu fiind proiectat în cadrul sistemului UVI, unde a fost umplută cu straturi de plase ce servesc drept filtru mecanic și în același timp biologic [67, 69]. Condiții anaerobe pot apărea în

cazul în care un strat fin de solide se formează, situație care poate facilita procesul de denitrificare [67]. Bacteriile nitrificatoare vor apărea pe fiecare suprafață a sistemului integrat ce intră în contact cu apa tehnologică precum și în masa apei [89]. În sistemele acvaponice cu substrat de creștere pentru plante, acesta funcționează ca un biofiltru, eliminând nevoia unei unități de biofiltrare separate, excepții având loc în cazurile în care o rație mare pești:plante este practică [89].

Dezavantajele sistemelor recirculante integrate sunt legate de ponderea relativ mare a suprafeței aferente producției de biomasă vegetală, comparativ cu cea destinată creșterii materialului piscicol [74]. În stabilirea raportului pești:plante, cel mai important considerent de care trebuie ținut cont este cel legat de eficiența îndepărtării solidelor. Un alt dezavantaj major îl constituie imposibilitatea folosirii pesticidelor [74]. Totuși, această condiție poate fi privită și ca un avantaj, biomasă vegetală obținută putând forma o nișă de piață nouă reprezentând produsele vegetale crescute fără pesticide „pesticide free”[74].

Faptul că sistemele acvaponice recirculante integrate sunt caracterizate ca fiind sisteme relativ închise, fără input de nutrienți precum cele hidroponice, întărește credibilitatea acestora în rândul persoanelor cu convingeri stricte de ordin etic și al protecției mediului.

1.2. TEHNICI ACVAPONICE DE CONTROL A CALITĂȚII APEI ÎN CADRUL SISTEMELOR RECIRCULANTE INTEGRATE

1.2.1. Tehnica de cultură pe suport flotabil (DWC – deep water culture)

Tehnica de cultură pe sistem flotabil se pretează cel mai bine culturilor de legume cu frunze verzi dar și altor tipuri de culturi precum ridichiile [74, 90, 91]. Conform literaturii de specialitate, această tehnică acvaponică are o serie de particularități.

Astfel, apa tehnologică provenită din creșterea materialului biologic este tratată montând suporturi plutitoare, cel mai adesea confecționați din polistiren, pe suprafața luciului de apă aferent unităților de creștere a peștelui. Această soluție reprezintă *metoda directă* de aplicare tehnicii DWC.

De asemenea, *metoda indirectă* de integrare a acestei tehnici în cadrul sistemelor recirculante de producție acvicolă constă în proiectarea unor canale lungi și adânci de 20-30cm, profilate hidrodinamic, poziționate după unitatea de filtrare biologică, prin care circulă apa tehnologică cu încărcătură nutrițională.

La nivelul suprafeței libere a curentului de apă sunt dispuse plăcile de polistiren ce servesc drept suport pentru biomasă vegetală [92] (fig.1.19). În cadrul acestora, aerarea apei tehnologice este realizată într-un mod intensiv, cu scopul maximizării absorbției de nutrienți [67].

Această metodă a apărut pentru prima dată în cadrul experimentărilor realizate la Universitatea din Arizona la sfârșitul anilor '70 [94]. Cercetările s-au concretizat printr-un sistem de producție realizat împreună cu suportul Universității Pisa din Italia [95].



Fig. 1.19. Tehnica acvaponică pe sistem flotabil („DWC” sau „floating rafts”)

Cultivarea salatei verzi și a busuiocului utilizând tehnica DWC sunt menționate ca fiind încununate de succes [96]. Acest lucru este facilitat și de către costurile mici de implementare a acestui tip de tehnică de creștere și tratare [97]. Metoda poate fi aplicată cu succes și în cazul sistemelor de creștere a racilor [98] sau a peștilor carnivori [99]. În cazul folosirii unor canale distincte în vederea poziționării patului plutitor, se recomandă ca acestea să aibă forma unui paralelipiped dreptunghic, pentru o utilizare cât mai bună a spațiului disponibil [95].

Dimensionarea patului plutitor poate fi realizată pentru fiecare plantă în parte [100], în condițiile în care se practică o cultură bazată pe diversitatea de specii sau pe multitudinea de cicluri concomitente de creștere. În acest caz, plăcile mai mici, ce servesc ca suport culturilor mai tinere, se poziționează începând din zona evacuării modulelor acvaponice, avansând către zona de alimentare în mod proporțional cu ciclul lor biologic de dezvoltare [101]. Acest lucru este ușor de realizat datorită manevrabilității sistemului, plăcile din polistiren fiind foarte practice în utilizarea ca suport pentru biomasa vegetală [74]. Aplicabilitatea acestei tehnici de producție vegetală și de tratare a apei induce limitări legate de speciile de pești pretabile a fi crescute în cadrul sistemului integrat. Astfel, în cazul folosirii metodei directe de cultură, ceea ce implică poziționarea patului plutitor pe suprafața luciului de apă a unităților de creștere a biomasei piscicole, specii de pești des întâlnite în cadrul sistemelor integrate, precum tilapia, acționează în mod negativ asupra rădăcinii plantelor [74].

Din punct de vedere constructiv, există posibilități diverse de proiectare a unităților ce intră în componența modulelor acvaponice a unui sistem integrat ce folosește tehnica DWC. Acestea pot fi confecționate din material plastic precum polietilenă de înaltă densitate [67]. Practicarea unei aerări intensive în cadrul modulelor acvaponice este benefică atât pentru maximizarea absorbției de nutrienți cât și pentru asigurarea unui mediu prielnic de dezvoltare a bacteriilor nitrificatoare, în special la nivelul rădăcinilor plantelor [67].

Îndepărtarea solidelor din masa apei este un proces esențial în cazul oricărui sistem recirculant integrat, cu atât mai mult în cazul unuia ce folosește tehnici acvaponice de tip DWC. În cazul unei filtrări deficitare a solidelor, rădăcinile plantelor sunt afectate direct, acestea realizând un proces de filtrare a apei în faza incipientă. Acest proces are o tendință descendentă, afectând negativ rădăcina datorită acumulării unei cantități mari de solide în zona acesteia, repercursiunile pe termen lung generând scăderea absorbției de nutrienți și chiar moartea plantelor (fig.1.20). Ca atare, este necesar ca apa tehnologică să treacă printr-un proces de filtrare mecanică eficient, recomandându-se chiar amplasarea unei unități de decantare între unitatea de filtrare mecanică și modulele acvaponice [67].



Fig.1.20: Rădăcinile de salată verde afectate de cantitatea mare de solide în suspensie din apa tehnologică [102]

Datorită costurilor mici de investiție, tehnica acvaponică tip DWC este pretabilă a fi utilizată în cazul sistemelor recirculante integrate cu o capacitate de producție mare și o suprafață considerabilă. Pentru funcționarea în parametri optimi, această tehnică trebuie corelată cu sisteme de filtrare mecanică și biologică performante și eficiente. Parametrii fizico-chimici ai apei tehnologice trebuie monitorizați periodic, motivat de faptul că tehnica acvaponică DWC presupune expunerea directă a unei suprafețe însemnate din rădăcina plantelor. Eventualele probleme cauzate de disfuncționalități periodice ale sistemului de pompare nu afectează în mare măsură biomasa vegetală. Comparativ cu alte tehnici acvaponice, tehnica DWC asigură un debit relativ constant de recirculare, pericolul unei obturări a sistemului de alimentare – evacuare, cauzată de dezvoltarea rădăcinilor sau de gradul de supra-încărcare al acestora cu substanță organică, fiind inexistent.

O particularitate a tehnicii acvaponice DWC o constituie gradul mare de încărcare cu nutrienți a apei tehnologice [67]. Acest lucru este posibil datorită practicării unor densități foarte mari de creștere a materialului piscicol, dat fiind faptul că sistemele integrate de tip DWC sunt, așa cum am precizat mai sus, întrebuintate cu precădere în cazul unităților de producție de capacitate mare. Astfel, ciclul de creștere al biomasei vegetale nu este influențat în mare măsură de cel al biomasei piscicole. Poate fi menționat faptul că eventualele operațiuni de sortare, gradare, recoltare nu au influență semnificativă asupra concentrației de nutrienți din apa tehnologică pe termen scurt, sistemul acvaponic fiind complet funcțional pe termen de câteva zile chiar și fără biomasă piscicolă [67].

Drept aspect negativ, volumul mare de apă tehnologică din cadrul sistemului integrat implică și costuri pe măsură legate de eventualele suplimentări cu nutrienți ce nu se găsesc în concentrații suficiente, un exemplu sugestiv fiind cazul fierului [67]. De asemenea, datorită dimensiunilor mari, variațiile temperaturii apei tehnologice din cadrul sistemului integrat, ce folosește tehnici DWC, sunt semnificative [67].

Concluzionând asupra celor prezentate, pot caracteriza tehnica acvaponică DWC drept o tehnică ce dă rezultate bune din punct de vedere al tratării apei în condițiile practicării unor densități mari de cultivare a biomasei vegetale și piscicole. Condițiile necesare pentru asigurarea eficienței acesteia sunt strâns legate de dimensionarea și performanța unităților de tratare mecanică și biologică a apei.

1.2.2. Tehnica filmului de nutrienți (NFT – nutrient film technique)

Tehnica acvaponică cu film de nutrienți constă în utilizarea unor conducte cu diametrul cuprins între 15 și 30 cm prin care circulă continuu un strat cu grosime variabilă de apă tehnologică cu încărcătură nutrițională [74]. În comparație cu tehnica acvaponică DWC, suprafața necesară aplicării tehnicii NFT este considerabil mai mică, fapt ce determină scăderea considerabilă a procesului de nitrificare la nivelul modulelor acvaponice [74]. Acest lucru este o consecință directă a lipsei de suprafață specifică prielnică dezvoltării bacteriilor nitrificatoare. Astfel, în timp ce în cazul aplicării indirecte a tehnicii DWC suprafața interioră a unităților acvaponice este considerabilă și aerarea suplimentară crează un mediu propice nitrificării, în cazul tehnicii NFT diametrul conductelor ce servesc drept unitate acvaponică este redus, lipsa de oxigen contribuind la o nitrificare inexistentă sau foarte redusă la nivelul acestora. Singurul mediu relativ prielnic de dezvoltare pentru bacteriile nitrificatoare în cadrul modulelor acvaponice este reprezentat de rădăcinile plantelor în faza incipientă de dezvoltare.

Filmul de apă tehnologică ce circulă în cadrul conductelor NFT absoarbe oxigen prin difuzie. Cu toate acestea, rădăcinile dense ale plantelor ajunse aproape de maturitate, precum

și substanța organică prezentă crează zone anaerobe, fapt ce induce necesitate unui sistem separat de biofiltrare [74].

În cadrul acestei tehnici, plantele sunt poziționate pe conducte cu ajutorul unor suporturi plastici cu orificii, ce permit reglarea nivelului de poziționare a rădăcinii față de filmul de apă tehnologică încărcată cu nutrienți [67] (fig.1.21.A.). În general, conductele sunt legate în serie în zona evacuării, debitul mic practicat facilitând acest lucru (fig. 1.21.B.). Pentru alimentarea conductelor se folosește un debit mic, direcția de alimentare fiind la un unghi de 90° față de planul înclinat al acestora (fig.1.21.C.). Legat de dimensiunea conductelor, în cadrul literaturii de specialitate găsim chiar și diametre mici de 5-6cm în condițiile utilizării unui sistem de aerare separat, în caz contrar acest lucru generând valori mici ale concentrației de oxigen dizolvat accesibilă rădăcinilor plantelor [104].

În design-ul unor sisteme NFT apar valve atât la alimentarea unităților acvaponice, cât și la evacuarea acestora. Motivația se regăsește în managementul ciclului de funcționare. Drept exemplu, un modul acvaponic poate avea funcționare continuă 20-30 minute, cu pauze de 4-5 minute în timpul zilei, urmând ca pe timp de noapte perioada de repaos să fie mai mare, ajungându-se chiar la o întrerupere a funcționării [67].

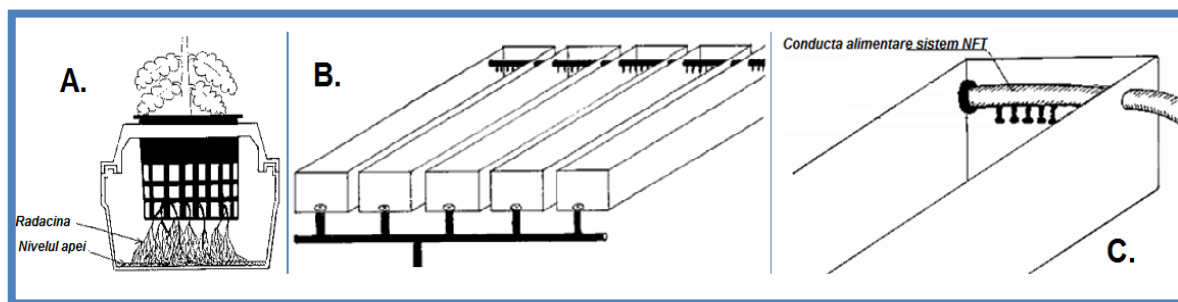


Fig. 1.21. Detalii constructive ale modulelor acvaponice proiectate folosind tehnica NFT [103]

Se recomandă ca răsadurile plantelor să fie realizate pe suport de vată minerală pentru facilitarea transplantării acestora [103]. În acest fel, șocul posibil a fi suferit de plantă, ca urmare a schimbării mediale, este minimalizat. Pe parcursul dezvoltării biomasei vegetale, poziția rădăcinii față de filmul de apă tehnologică încărcată cu nutrienți este reglată astfel încât suprafața de contact cu sursa nutrițională să fie limitată [103].

În cazul în care un procent mare din suprafața rădăcinii este în contact cu apa, există riscul putrezirii acesteia sau apariției unui fenomen de încetinire a dezvoltării ca urmare a lipsei de oxigen. Motivația celor spuse fiind argumentată de faptul că, dezvoltarea radiculară excesivă a plantei obturează în mare măsură diametrul conductei, în cazul în care este aplicat un management operațional defectuos.

O densitate mare de creștere a biomasei vegetale se poate asigura prin optimizarea distanței dintre plante [87]. De asemenea, acest lucru este realizabil și prin poziționarea etajată a modulelor acvaponice NFT (fig.1.22).



Fig.1.22. Module acvaponice etajate, de tip NFT [105, 106].

În literatura de specialitate se găsesc stipulate valori maxime ale debitului de recirculare la nivelul modulelor acvaponice NFT de până la 2 L/min [103]. Utilizarea unor debite superioare generează probleme mari, încetinind procesul de creștere a plantelor și facilitând apariția eventualelor boli ce duc la o degradare a stării fitosanitare a acestora.

O proiectare neconformă a unităților de îndepărtare a solidelor grosiere coroborată cu o dezvoltare radiculară însemnată, consecință normală a atingerii gradului de maturitate la plante, determină obturarea secțiunii hidraulice de curgere. Ca atare, se recomandă amplasarea unor filtre sită în locurile ușor accesibile din cadrul modulelor acvaponice NFT (fig.1.23 A).

Curățarea acestora trebuie realizată periodic. Această soluție nu reprezintă, însă, o rezolvare a problemelor de acumulare a solidelor fine, în suspensie, în cadrul sistemului de module NFT (fig.1.23 B).



Fig. 1.23. A. Mecanism pentru filtrarea solidelor grosiere montat în cadrul modulelor NFT [107]
B. Solide fine în cadrul modulelor NFT [108]

Un avantaj semnificativ al tehnici NFT este legat de faptul că acesta scurtează perioada de vegetație a plantelor cultivate pentru frunze [109]. Tehnica NFT s-a dovedit în schimb a fi total nepotrivită pentru culturile ce necesită o perioadă îndelungată pentru atingerea maturității [110]. Un exemplu sugestiv îl reprezintă tomatele, unde din cauza rădăcinilor puternic ramificate a fost stânjenită curgerea, obturând sistemul acvaponic de tip NFT [111]. Studii anterioare atestă faptul că tehnica NFT a fost utilizată cu succes chiar și în cazul creșterii tufelor de trandafir [112]. Un management operațional defectuos, fără o monitorizare regulată a stadiului de evoluție a biomasei vegetale, poate determina creșterea neuniformă a acesteia [113]. Pentru evitarea acumulării de substanță organică în cantități mari și, de asemenea, pentru împiedicarea dezvoltării bacteriilor heterotrofe sau a altor microorganisme ce influențează în mod negativ procesul de tratare a apei și de creștere a biomasei vegetale, este necesară o spalare și o dezinfectare periodică a modulelor NFT [114]. Cu toate acestea, apariția unei serii de boli a fost semnalată în cazul folosirii tehnicii NFT, precum putregaiul bacterian sau cercosporioza [109].

Legat de managementul de producție, trebuie semnalat faptul că tehnica NFT implică o funcționare continuă, pe durata întregului an calendaristic. Pentru optimizarea capacității acestei tehnici de tratare a apei tehnologice din cadrul sistemelor recirculante integrate se recomandă unui sistem concomitent de creștere a biomaselor vegetale aflate în stadii de dezvoltare diferite, sistem numit CPS (conveyor production system) [60] (fig. 1.24).

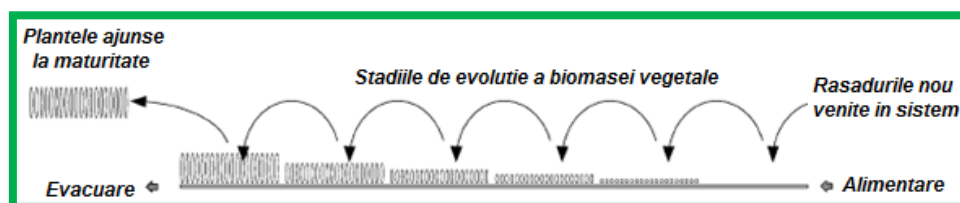


Fig.1.24: Managementul de producție de tip CPS, practicat în cazul utilizării tehnicii acvaponice NFT [60]

Acest sistem asigură o rată constantă de tratare a apei și de asemenea, reduce riscul legat de sensibilitatea plantelor în cazul expunerii la variații mari ale concentrațiilor de nutrienți din apa tehnologică.

În urma sintezei celor menționate anterior, putem afirma că tehnica acvaponică NFT este caracterizată prin simplitate și flexibilitate. Aceasta implică costuri mici din punct de vedere al consumului de energie electrică, circulația apei realizându-se de regulă, gravitațional. Partea radiculară a culturii vegetale este expusă unui flux continuu de nutrienți, determinând maximizarea absorbției de nutrienți.

Vulnerabilitatea acestor sisteme se manifestă în cazul apariției unor disfuncționalități în sistemul de alimentare, evacuare sau chiar în cadrul modulelor acvaponice (obturarea suprafeței hidraulice de curgere). Trebuie de asemenea punctat faptul că tehnica NFT induce variații considerabile ale valorilor temperaturii apei.

1.2.3. Tehnica de cultură pe substrat, în regim permanent (continuous flow) și intermitent (ebb and flow/flood and drain) de submersie

Din informațiile prezentate în subcapitolele anterioare reiese importanța majoră a unităților de filtrare mecanică și biologică în cadrul unui sistem recirculant integrat. Drept urmare, diverse soluții de ordin constructiv s-au pus în aplicare, ținând cont, în primul rând, de dimensiunile capacității de producție a fiecărui sistem recirculant integrat. Integrarea totală sau parțială a unităților de filtrare mecanică și biologică a apei tehnologice la nivelul modulelor acvaponice este privită drept o soluție ideală pentru sistemele recirculante integrate. Apariția tehnicii acvaponice bazată pe folosirea unui substrat drept suport de creștere pentru plante și, în același timp, mediu de dezvoltare pentru filmul de bacterii nutritive a reprezentat soluția ideală a problemei mai sus. În funcție de substratul folosit, acesta poate îndeplini și rolul de filtrare mecanică a apei tehnologice.

Diverse tipuri de substraturi de creștere a plantelor și de tratare a apei au fost folosite în decursul timpului: pietriș, nisip, vată minerală, zgură, bile din argilă (hydroton), nucă de cocos, vermiculită [67, 115, 116] (fig.1.25).



Fig. 1.25. Tipuri de substraturi acvaponice [117].

În alegerea materialelor potrivite pentru a fi întrebuințate drept substrat acvaponic trebuie luate în considerare o serie de caracteristici ale acestora. Astfel, acestea trebuie să asigure stabilitatea biomasei vegetale, să fie inerte chimic, să aibă o capacitate ridicată de reținere a apei și oxigenului și să nu faciliteze apariția diverselor tipuri de boli [118].

Tehnica ce implică folosirea *pietrișului* drept substrat acvaponic de creștere este caracteristică sistemelor integrate de mici dimensiuni [87]. În funcție de compoziția sa, pietrișul poate furniza anumiți nutrienți pentru creșterea biomasei vegetale [87]. Calciul este eliberat în mod treptat, pe măsură ce are loc reacția dintre pietriș și acidul produs în timpul nitrificării [87].

O serie de aspecte negative au fost semnalate în cazul folosirii pietrișului ca substrat acvaponic. Acesta necesită structuri de susținere rezistente și are o predilecție spre colmatare, generând astfel probleme de ordin hidraulic ce îngreunează procesul de nitrificare și facilitează apariția zonelor anaerobe [87]. Trebuie menționat faptul că pietrișul are o capacitate foarte limitată în ceea ce privește reținerea apei, o eventuală problemă legată de sistemul de pompare putând fi letală pentru biomasa vegetală [87, 119].

Un alt substrat de creștere des utilizat este reprezentat de nisip [74,120,121]. Ferguson (1982) a cultivat 28 de tipuri de plante folosind nisipul drept substrat de creștere, obținând astfel o producție medie de 8700 kilograme în cursul la 10 săptămâni [74,120]. McMurtry și colab.(1990) a constatat în urma experimentărilor realizate faptul că posibilitatea de colmatare a nisipului utilizat ca substrat acvaponic poate fi redusă prin optimizarea ratei de încărcare cu solide [74, 121].

Nisipul aspru, cu grad mare de rugozitate, este indicat pentru a reduce posibilitățile de colmatare ale acestuia în timp [74]. De asemenea, reducerea cantitativă a biomasei piscicole, coroborată cu micșorarea ratei de administrare a hranei, pot reprezenta soluții de prevenție a colmatării [87].

Perlitul este un alt mediu frecvent utilizat drept substrat acvaponic, acesta fiind pretabil culturilor de plante mici, precum salata și alte plante cu frunze [87]. Caracterizat drept material natural organic granular, ce conține dioxid de siliciu și aluminiu, perlitul oferă o stabilitate mare din punct de vedere chimic, beneficiind de avantajul de a fi nedegradabil în timp. Perlitul este practic o rocă vulcanică supusă la un tratament termic specific ce determină creșterea acesteia în volum de pînă la 20 de ori [96].

Combinatia de vermiculită și perlit este destul de des întâlnită deoarece retenția de apă a vermiculitului este completată perfect de retenția de aer a perlitului, astfel formându-se un mediu propice absorbției de nutrienți de către biomasa vegetală, precum și dezvoltării peliculei de bacterii nitrificatoare [97]. Utilizarea fibrei de coji de nucă de cocos în cadrul combinației descrise anterior aduce un plus în ceea ce privește protecția împotriva bolilor [97]. Combinația perlit - zeolit în proporții de 1:1 și 3:1 a fost raportată drept potrivită pentru creșterea căpșunilor, obținându-se un produs finit de o calitate comercializabilă, în condițiile unei productivități bune.

Argila structurată (hydroton) este produsul final obținut din supunerea argilei la un tratament termic specific. Are formă sferică, este poroasă la exterior, inertă din punct de vedere chimic și poate fi reutilizabilă. Este cunoscută în literatura de specialitate drept substrat *LECA (lightweight expanded clay aggregate)*. Studiile realizate până în prezent au demonstrat aptitudinea substratului LECA de a trata apa din punct de vedere biologic, acesta fiind folosit chiar și ca suport de cultură bacteriană în cadrul filtrelor trickling [76] (fig.1.26 A).

Graber și Junge (2009) au folosit substratul LECA pentru cultura de roșii, castraveți și vinete, obținând rezultate notabile atât în ceea ce privește creșterea biomasei vegetale, cât și în cadrul procesul de tratare a apei tehnologice [76].

Datorită capacității însemnate de retenție a apei, sistemele acvaponice pe bază de substrat LECA asigură un mediu prielnic dezvoltării biomasei de cultură chiar și în cazul apariției de eventuale avarii ce determină oprirea alimentării cu apă tehnologică a modulelor acvaponice.

În acest caz particular, rădăcina plantei se ramifică puternic de hydroton, consumând rezervele de apă ale acestuia (Fig. 1.26 B).



Fig. 1.26. A. Dezvoltarea comunităților bacteriene în interiorul substratului LECA [123]; B. Radăcina unei plante cultivate pe substrat LECA [124]

Din punct de vedere hidraulic, o serie de metode au fost elaborate cu scopul îmbunătățirii absorbției de nutrienți și accelerării procesului de nitrificare. Astfel, Trang și colab.(2010) menționează atât posibilitatea menținerii nivelului apei tehnologice din cadrul unității acvaponice la nivelul substratului (flooded), cât și stabilizarea acestuia sub substrat, la o adâncime de aproximativ 30mm [73]. Acest lucru, coroborat cu utilizarea unui strat mic de pietriș așezat la baza modului acvaponic cu scopul captării materiei organice în partea inferioară a acestuia, generează un management al solidelor mai eficient (fig.1.27).

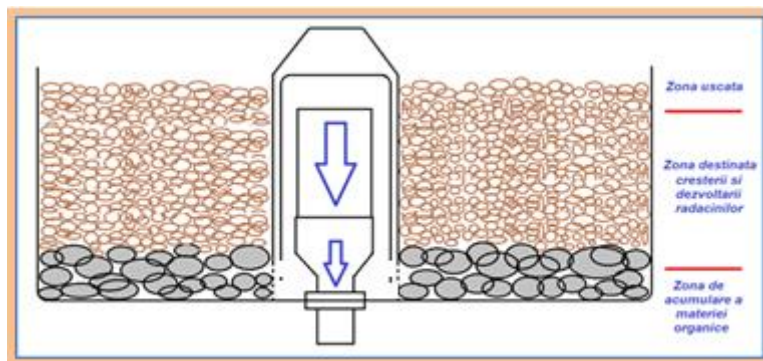


Fig. 1.27. Caracteristici constructive ale unui modul acvaponic ce întrebunțează tehnica de cultură pe substrat

Din punct de vedere al criteriului hidraulic, tehnica acvaponică pe substrat se împarte în două subcategorii: tehnica acvaponică pe substrat și regim permanent de submersie (*CF -continuous flow*) și tehnica acvaponică pe substrat și regim intermitent de submersie (*F&D - flood and drain*). În condițiile cultivării unei biomase vegetale cu cerințe nutriționale crescute, folosirea regimului permanent de submersie este pe deplin indicat. Pe cealaltă parte, folosirea regimului intermitent de submersie oferă o capacitate superioară de biofiltrare și de îndepărtare a solidelor [67]. De asemenea, tehnica „flood and drain” asigură o aerare mai bună a substratului de cultură, benefică atât plantelor, cât și bacteriilor nitrificatoare [87]. Această tehnică constă în inundarea aproape completă a mediului de cultură, urmată de evacuarea imediată a masei de apă [87] și este realizabilă prin utilizarea de aparate electronice complexe sau prin proiectarea unor sisteme de evacuare tip sifon „bell siphon” (fig.1.28).



Fig. 1.28. Dispozitive de evacuare tip sifon „siphon bell” de diverse tipuri și dimensiuni, utilizate pentru asigurarea unui regim intermitent de submersie [117]

Utilizarea sifonului tip clopot presupune evacuarea masei de apă prin fantele de la bază în momentul în care nivelul apei depășește nivelul conductei de evacuare din interior. Evacuarea se realizează continuu, până în momentul în care nivelul apei coboară sub nivelul orificiilor sifonului sau, după caz, sub cel al conductei auxiliare a acestuia (dacă design-ul constructiv prevede existența acesteia). În momentul scăderii de nivel a apei tehnologice sub pragurile menționate anterior, aerul își face apariția în interiorul instalației și ca atare, nivelul apei din modulul acvaponic își reîncepe tendința ascendentă, reluându-se astfel ciclul hidraulic.

Lennard și Leonard (2004, 2006) au realizat cercetări comparative între diversele tehnici acvaponice utilizate la nivel industrial [125], dar și între diversele regimuri de submersie folosite în cadrul modulelor acvaponice ca parte componentă a sistemului recirculant integrat [126].

Drept concluzie, aceștia au constatat că regimul permanent de submersie constituie o soluție mai bună în comparație cu cel intermitent, atât din punct de vedere al creșterii și dezvoltării biomasei vegetale, cât și din perspectiva tratării apei tehnologice. Cu toate acestea, părerile sunt împărțite la nivelul comunității științifice, o serie de experimentări realizate anterior celor menționate mai sus demonstrând contrariul [91, 127, 128, 129].

Concluzionând cele descrise mai sus, putem afirma faptul că tehnica acvaponică pe substrat este potrivită a fi folosită pentru o mare varietate de plante, oferind posibilitatea practicării unor densități mari de creștere, atât pentru biomasa vegetală dar, în special, pentru cea piscicolă. Tehnica în cauză posedă o eficiență superioară de tratare a apei tehnologice, atât din punct de vedere fizic, cât și biologic, posibilele progrese viitoare fiind legate de exploatarea mai intensă a acestei calități. Altfel spus, pe viitor se tinde spre ideea includerii la nivelul modulelor acvaponice a unităților de tratare fizică și biologică a apei din cadrul unui sistem recirculant integrat.

1.2.4. Managementul operațional al unui sistem recirculant integrat

Sistemele recirculante integrate s-au dovedit a fi foarte complexe, fapt susținut de vastă experiență practică cât și experimentală. Pentru implementarea unui sistem recirculant integrat la scară industrială, un prim pas ce trebuie făcut constă în alegerea tehnicii acvaponice ce urmează a fi implementată. Drept urmare, o analiză SWOT minuțioasă a celor trei tehnici acvaponice descrise este necesar a fi realizată, cu scopul identificării variantei potrivite a fi integrată în sistemul recirculant deja existent.

Luând exemplul tehnicii de cultură pe substrat, aceasta se folosește cu precădere în cadrul sistemelor recirculante ce au o capacitate de producție supradimensionată raportată la capacitatea unității de tratare biologică a apei. În acest caz, modulul acvaponic, pe lângă sarcina consacrată de optimizare a concentrației de nitrați are și funcția de filtru biologic secundar [87, 125]. Pe de altă parte, tehnica NFT beneficiază de avantajul utilizării unei mase de apă considerabil mai mică, în detrimentul sporului de creștere al biomasei vegetale, net inferior față de cele înregistrate folosind celelalte tehnici acvaponice. Din punct de vedere al productivității, Lennard și Leonard (2006) au realizat o comparație între cele trei importante tehnici acvaponice existente, din punct de vedere al productivității biomasei vegetale, constatând superioritatea tehnicii pe substrat față de celelalte două (NFT și tehnica cu sistem flotabil) [125].

Într-un sistem recirculant integrat, efluentul unităților de creștere a materialului piscicol trece printr-o primă treaptă de tratare, cu scopul reducerii materiei organice prezentă sub forma de solide fine și grosiere [87]. Este ideal ca majoritatea solidelor apărute în urma activității metabolice a peștilor să fie îndepărtate din cadrul sistemului înainte de pătrunderea acestora în perimetrul destinat funcționării modulelor acvaponice [87]. În caz contrar, acumulările de substanță organică vor genera scăderea concentrației de oxigen dizolvat din cadrul sistemului de producție și vor activa producția de amoniac [87].

Rakocy și colab. (2006) menționează singura parte probabil pozitivă a acumulărilor de solide fine din cadrul modulelor acvaponice. Astfel, pe măsură ce aceste solide sunt descompuse de către microorganisme, nutrienți anorganici esențiali procesului de creștere a biomasei vegetale sunt eliberați în masa apei, proces ce poartă numele de mineralizare [87].

Metodele de eliminare a solidelor din cadrul sistemelor integrate sunt variate. Acestea includ folosirea unităților de decantare, a separatoarelor cu plăci, a separatoarelor centrifugale

sau a filtrelor tip sită [87]. Prin folosirea unităților de decantare se realizează îndepărtarea solidelor grosiere, în timp ce sistemele de filtrare îndepărtează solidele fine. Folosirea unităților de filtrare mecanică a apei tehnologice depinde în mare măsură de input-urile din cadrul sistemului recirculant (cantitatea de hrană administrată zilnic și cantitatea de dejecții metabolice eliberate în cadrul sistemului) și, de asemenea, de suprafața modulelor acvaponice. În cazul practicării unor densități mici de stocare a biomasei piscicole, în raport cu cea vegetală, situație coroborată și cu aplicarea tehnicilor acvaponice pe substrat, prezența unor unități separate de filtrare mecanică și biologică nu mai este necesară.

Dat fiind posibilitatea formării unor zone anaerobe, prezența solidelor nestabilizate (ce nu au trecut printr-un proces de descompunere microbiană) este inoportună. Astfel, este esențial ca alimentarea cu apă tehnologică a modulelor acvaponice să se realizeze printr-o distribuție cât mai uniformă, pe toată suprafața acestora [87]. Rakocy și colab. (2006) recomandă îndepărtarea solidelor grosiere din cadrul unității de decantare de cel puțin trei ori pe zi. Autorul menționează folosirea în practică a unui material filtrant (plasă specială), poziționat în interiorul decantorului, cu rol de îndepărtare, pe cât posibil, a solidelor fine (eficiență ridicată – aprox. 50% din totalul particulelor solide). Menținerea acestui sistem de filtrare se realizează săptămânal sau de două ori pe săptămână, utilizând dispozitive spray cu apă sub presiune. Din punct de vedere constructiv, unitatea de decantare trebuie să fie poziționată la un nivel inferior față de restul sistemului, cu scopul unei folosiri cât mai eficiente a debitului indus de circulația gravitațională [133]. Anumiți autori consemnează utilizarea puietului de tilapia cu o biomasă individuală cuprinsă între 50-200g în cadrul unității de decantare cu scopul îmbunătățirii performanțelor de îndepărtare a solidelor din sistem [74].

Unitățile de filtrare biologică sunt poziționate după cele de filtrare mecanică, înainte de intrarea efluentului în modulele acvaponice. Conform celor afirmate de Rakocy și colab. (2006), o altă variantă constructivă de sistem integrat implică divizarea fluxului de apă după trecerea acestuia de filtrul mecanic. Astfel o parte din masa de apă ajunge la modulul acvaponic, urmând ca cealaltă parte să urmeze un proces de tratare biologică și apoi să fie redirecționată spre unitățile de creștere a biomasei piscicole [87].

Tendința actuală este aceea de a comasa unitatea de îndepărtare a solidelor, unitatea de biofiltrare, precum și modulele acvaponice într-o singură componentă [87]. Utilizarea unui strat de zeolit drept mediu de cultură și totodată, mediu filtrant, s-a dovedit benefică pentru schimbul ionic (Na^+ , Ca^{2+} , K^+), acesta putând fi folosit și drept substrat de creștere pentru biomasa vegetală [134]. Unitatea de biofiltrare înregistrează performanțe optime la o temperatură cuprinsă între 25-30 °C, un pH între 6-9 upH, valori ale BOD mai mici de 20 mg/L și o alcalinitate mai mare de 100 mg/L [74]. Pentru menținerea unui pH relativ stabil se adaugă periodic substanță cu caracter bazic [74].

Diverse substraturi au fost folosite drept mediu de cultură pentru bacteriile nitrificatoare. Astfel, McMurtry și colab. (1990) menționează folosirea nisipului drept substrat de dezvoltare a bacteriilor nitrificatoare [121], Rakocy (1994) și Lewis și colab. (1978) menționează folosirea pietrișului pentru aceleași scopuri [135, 127], în timp ce Watten și Busch (1984) au utilizat pietriș de un dimetru foarte mic [136].

În contrast cu degradarea bacteriană, asimilarea nutrienților de către plante este condiționată de suprafață, fapt asemănător cu relația dintre fotosinteză și radiațiile solare [76]. Ca atare, pentru obținerea unor rate mari de recirculare a nutrienților, filtrele biologice tip trickling trebuie să asigure o suprafață de contact suficientă pentru creșterea plantelor și pentru procesele de fotosinteză aferente acestora, în raport cu volumul lor [76]. Din punct de vedere strict teoretic, un filtru biologic tip trickling își poate dubla capacitatea de recirculare a nutrienților dacă își mărește înălțimea cu 50% și își triplează suprafața [76].

Activarea biofiltrului se realizează pe durata a minim trei săptămâni, înainte de începerea procesului de producție, prin adăugarea de NH_4Cl [125]. Măsurători ale concentrațiilor compușilor azotului din apa tehnologică trebuie efectuate zilnic cu scopul verificării procesului de nitrificare [125]. Putem afirma faptul că o calitate a apei mai scăzută, raportată la exigențele acvacoale, stimulează creșterea pe termen scurt a biomasei vegetale, accelerând procesul de bioremediere [137]. Drept soluție de integrare a modulelor acvaponice, Lennard și Leornard (2004) propun poziționarea acestora la partea superioară a unităților de creștere a materialului piscicol (fig.1.29). Un avantaj al acestei locații este dat de modul gravitațional de evacuare a apei din cadrul modulului acvaponic. De asemenea, sistemul oferă un control mai bun al proceselor de producție și tratare a apei tehnologice. În schimb, în condițiile aplicării altor tehnici acvaponice exceptând cea pe substrat, ridică necesitatea existenței unui filtru biologic individual, poziționat superior fiecărei unități de creștere (fig.1.29).

În ceea ce privește sistemul de iluminat, Lennard și Leornard (2004) au folosit lampi metal halide (MH) de 400W, situate la o înălțime de 700mm față de suprafața de cultură a modulelor acvaponice, aplicând un regim de fotoperiodicitate de 10 ore lumină: 14 ore întuneric [126]. Este necesar ca distanța pe verticală dintre modulele acvaponice și unitățile de iluminat să fie respectată întocmai, în caz contrar creșterea și bunăstarea biomasei vegetale putând fi afectate. Majoritatea speciilor de plante cultivate în regim acvaponic au o temperatură optimă de creștere și dezvoltare situată între 20 - 22 °C [74].

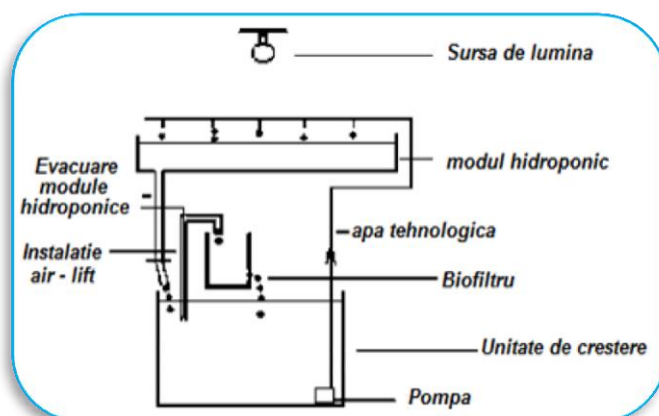


Fig.1.29. Modelul constructiv de integrare a modulelor acvaponice, propus de Lennard și Leornard (2004) [126]

În condițiile amplasării unității de iluminat la o distanță verticală mai mică de 700 mm față de modulul acvaponic, căldura emanată pe durata funcționării acestora determină valori ale temperaturii în afara ecartului optim la nivelul stratului vegetal și poate avea efecte devastatoare asupra biomasei vegetale. Lumina constituie un factor cheie în fototropismul plantelor, stabilirea intensității optime dar și a unui regim potrivit de fotoperiodicitate fiind esențiale [138]. Alegerea spectrului luminos se realizează în funcție de necesitățile biomasei vegetale, radiațiile albastre fiind folosite pentru stadiul de creștere vegetativă, în timp ce radiațiile roșii determină înfloriri și fructificații exagerate [97].

Pentru menținerea unui echilibru relativ în cadrul sistemului integrat, cantitatea de hrană administrată zilnic trebuie raționalizată, ținând cont atât de exigențele biomasei piscicole, cât și de cele ale biomasei vegetale. Astfel, dacă rația de administrare a hranei are o valoare mai mică comparativ cu nevoile biomasei vegetale, vor apărea deficiențe nutriționale în rândul plantelor și drept soluție de remediere pe termen scurt, vor fi puse în aplicare tehnici de suplimentare cu nutrienți a apei tehnologice. În cazul opus, aplicarea unor valori mari în ceea ce privește rațiile de administrare a hranei pot genera nivele de fitotoxicitate [87]. În determinarea

rației optime de hrănire trebuie să se țină cont, de asemenea, de volumul total de apă prezent la un moment dat în sistem, precum și de durata medie de rezidență a apei din cadrul unităților acvaponice.

Tehnica acvaponică utilizată, influențează în mod semnificativ calculul rației optime de administrare a hranei. Rakocy și colab. (2006) susțin că, în cazul folosirii tehnicilor acvaponice pe substrat și NFT, rația de administrare a hranei trebuie să cuantifice în medie 25% din cea aplicabilă în cazul tehnicii acvaponice pe sistem flotabil [87].

Astfel, luând în considerare cele menționate anterior, se poate concluziona faptul că este necesar a fi aplicat un judicios management operațional în cadrul unui sistem recirculant integrat în vederea obținerii unei productivități optime a celor două biomase de cultură (vegetală și piscicolă), dar și în vederea optimizării calității apei tehnologice folosite în procesul de producție. Managementului operațional în cadrul sistemelor recirculante integrate este de o complexitate net superioară, comparativ cu cel aplicabil în cadrul sistemele recirculante clasice, fapt ce reiese din necesitatea de armonizare a cerințelor tehnologice ale ambelor biomase ce fac obiectul procesului de producție (biomasa piscicolă și biomasa vegetală), fără a neglija sustenabilitatea și profitabilitatea activității întreprinse.

1.3. TEHNOLOGIILE DE CREȘTERE A BIOMASEI PISCICOLE ȘI VEGETALE ÎN CADRUL SISTEMELOR RECIRCULANTE INTEGRATE

1.3.1. Dinamica nutrienților și calitatea apei în cadrul sistemelor recirculante integrate

În cadrul unui sistem recirculant integrat, acumularea nutrienților reprezintă un prim criteriu pentru evaluarea gradului de sustenabilitate sau eficiență a acestuia [125]. Dat fiind faptul că în acvacultura din cadrul sistemelor de producție intensive costurile ce implică achiziția furajului au cea mai mare pondere în costurile totale [139, 140], optimizarea strategiei de furajare este esențială pentru realizarea unor parametri buni de creștere a materialului biologic și reducerea heterogenității taliei peștilor în condiții de fezabilitate economică [141].

Frecvența de furajare este un parametru de luat în calcul deoarece aceasta influențează în mod direct creșterea și compoziția biochimică a materialului biologic [142]. În cadrul sistemelor recirculante, dar mai ales în cazul celor recirculante integrate, optimizarea frecvenței de furajare este realizată în funcție de considerentele legate de specia/speciile de cultură, vârsta acestora, factorii mediali, calitatea furajului [143], dar și exigențele nutriționale ale biomasei vegetale (acolo unde e cazul). Unul dintre factorii ce conduce la o alegere potrivită în ceea ce privește frecvența administrării hranei este legat de alegerea orelor de furajare, cunoscându-se faptul că necesarul de hrană este în legătură directă cu intensitatea digestiei și viteza de golire gastrică [144].

Proteinele reprezintă componenta esențială a hranei peștilor, aceasta influențând direct creșterea și reproducerea [145]. De asemenea, în acvacultura modernă încapsularea vitaminelor, precum acidul ascorbic, a devenit o practică obișnuită datorită rezultatelor bune din punct de vedere a ratei de supraviețuire și a performanței de creștere a materialului biologic [146,147].

Implementarea de metode noi de tratare a apei precum și îmbunătățirea celor existente sunt cerințe esențiale în procesul de dezvoltare a acvaculturii. În cazul sistemelor recirculante integrate, folosirea unor densități de creștere scăzute atât pentru biomasa vegetală cât și pentru cea piscicolă generează o anumită productivitate, dar costurile de producție se dovedesc a fi

superioare valorii totale a producție obținute [67]. Ca atare, o capacitate de producție ridicată necesită un input managerial ridicat legat de monitorizarea chimismului apei tehnologice și de planificarea producției vegetale și piscicole [67].

Creșterea și starea sanitară a biomaselor de cultură (vegetală și piscicolă) depind de calitatea furajului folosit și de gradul de eficiență a unităților de tratare a apei. Conform studiilor în domeniu [67], stabilizare compoziției chimice a apei tehnologice se realizează de-a lungul unei perioade cuprinsă între 6 și 9 săptămâni, în funcție de temperatură și o întreagă serie de alți factori.

În cadrul unui sistem recirculant integrat, densitățile de creștere a materialului piscicol și a celui vegetal trebuie crescute gradual pentru a preveni în acest fel o creștere în exces a concentrației de amoniac și nitrit din apa tehnologică [67]. O dereglare a balanței dintre biomasa vegetală și cea piscicolă, cumulat cu performanța unităților de filtrare existente poate avea efecte devastatoare în condițiile în care sistemul recirculant integrat este exploatat în permanență la capacitate maximă.

Managementul pH-lui este necesar datorită fluctuațiilor valorilor acestuia, fapt generat de procesul de nitrificare. Adăugarea de hidroxid de potasiu este recomandată pentru mărirea valorii pH-lui [67]. O valoare optimă a pH-lui în cadrul sistemului este situată între 6,5 și 7 upH [148, 149]. Trebuie precizat faptul că valoarea pH-lui optim pentru creșterea plantelor diferă de cea considerată optimă pentru creșterea peștilor [150]. Alți parametri calitativi ai apei ce trebuie monitorizați frecvent includ conductivitatea (EC), alcalinitatea, BOD și oxigenul dizolvat. Valori ale conductivității cuprinse 2-4 dS/m sunt esențiale a fi menținute pentru evitarea fitotoxicității în cadrul biomasei vegetale [151]. Ioni de nitrati, fosfati, sulfati, potasiu, calciu și magneziu sunt cei responsabili pentru creșterea valorii conductivității apei tehnologice [87].

Racoky și colab. (2006) menționează faptul că în cadrul unui sistem recirculant integrat nivelurile concentrației de nitrati, fosfați și sulfați sunt, de obicei, la praguri mai mult decât optime, în comparație cu nivelurile concentrațiilor de potasiu și calciu care sunt de obicei insuficiente și trebuie suplimentate prin adăugarea de hidroxid de potasiu și hidroxid de calciu. Aceste baze sunt adăugate în cantități variate și au drept scop secundar menținerea pH-lui în ecartul optim. Concentrațiile mari de potasiu contribuie la accelerarea creșterii biomasei vegetale, în literatura de specialitate [67] un raport N:K de 1:1 este recomandat ca fiind optim pentru producerea roșiilor și castraveților utilizând tehnici acvaponice.

Unul din punctele negative ale sistemelor recirculante integrate îl constituie apariția unor deficiențe legate de alți nutrienți importanți (fierul) cu toate că din punct de vedere al concentrației de azot sistemul se află în echilibru [67, 150]. Astfel, trebuie punctat faptul că în comparație cu sistemele hidroponice, modul de echilibrare a nutrienților în cadrul sistemelor recirculante integrate este foarte diferită în ceea ce privește concentrația compușilor adăugați [67, 76].

Este consemnat faptul că totalitatea microorganismelor de la nivelul rădăcinii plantelor pot facilita absorbția de nutrienți [67]. În alegerea combinațiilor de specii plante-pești trebuie ținut, în primul rând, cont de temperatura optimă de creștere și dezvoltare a acestora, în caz contrar utilizarea unor temperaturi improprie putând genera apariția deficiențelor nutriționale.

Endut și colab. (2009) punctează faptul că procesul de îndepărtare a nutrienților precum azotul anorganic și fosfatul este esențial pentru tratarea apei tehnologice provenită din activitatea industrială de acvacultură, precum și împotriva proceselor de eutrofizare, în vederea folosirii ulterioare [133]. Se precizează faptul că în funcție de specia de pește și de asemenea, de tehnologia de creștere folosită, sistemele recirculante integrate consemnează următoarele rate de îndepărtare: BOD5 (47-65%), totalul solidelor în suspensie (67-83%), azotul total amoniacal (64-78%) și nitrit (68-89%) [133].

Trebuie menționat faptul că valorile ratelor de îndepărtare variază proporțional cu debitul de alimentare practicat. Ratele de îndepărtare a fosforului total și a nitratului sunt corelate în mod negativ cu debitul de alimentare a unităților acvaponice, acestea înregistrând următoarele performanțe: 43-53% pentru fosforul total și între 42-65% pentru nitrat [133]. Cripps și Kumar (2003) precizează faptul că în funcție de condițiile tehnologice, aproximativ 85% din totalul input-ului de fosfor și 52-95% din cel al azotului pot fi pierdute prin intermediul reziduurilor fecale și a hranei neconsumate [152].

Concentrația de BOD5 din cadrul unui RAS integrat are o tendință de creștere în timpul perioadei de germinare a biomasei vegetale datorită creșterii concentrației de solide dizolvate și solide în suspensie generată de procesul de dezvoltare al semințelor [153]. De asemenea, hrana neconsumată și dejecțiile provenite din activitatea metabolică a materialului piscicol sunt o sursă majoră de substanță organică ce influențează în mod direct concentrația de BOD5 din cadrul sistemelor integrate [154].

În sistemele acvaponice, suprafața și densitatea radiculară a plantelor sunt factori majori în îndepărtarea BOD5 [155]. Raportul dintre suprafața rădăcinilor și volumul unității acvaponice de creștere este direct proporțional cu rata de îndepărtare a BOD5. Acest lucru se explică prin faptul că o suprafață mai mare a sistemului radicular oferă mai multe șanse de dezvoltare a microorganismelor. Graber și Junge (2009) raportează o rată de îndepărtare mai mare a COD, BOD5, azotului amoniacal și fosforului total în cadrul unităților acvaponice proiectate cu o înălțime a coloanei de apă de 0,27m, comparativ cu cele de 0,5m [76].

Legat de concentrația solidelor totale în apa tehnologică, valorile raportate de literatura de specialitate sunt încadrate într-un ecart foarte larg [133,149, 156]. Endut și colab.(2009) au raportat o influență semnificativă a valorii debitului de alimentare a unităților acvaponice în reducerea solidelor totale în suspensie (TSS) [133]. Ghaly și Snow (2008) au evaluat rata de reducere a TSS din efluentul unui sistem recirculant de producție a păstrăvului, în condițiile folosirii capacității de fitoremediere a orzului crescut în regim acvaponic, obținând performanțe notabile [157].

Au fost semnalate evoluții descendente ale concentrației de TSS din cadrul sistemelor recirculante integrate în timpul perioadei de creștere a biomasei vegetale [156]. Ghaly și colab. (2005) aduc drept argument mărirea capacității de filtrare a zonei radiculare a plantelor, odată cu creșterea acestora [156]. De asemenea, solidele dizolvate din cadrul sistemului au fost absorbite de plante drept nutrienți, acest proces fiind influențat de tipul plantelor și densitatea de creștere a acestora [156]. Jiang și Xinyuan (1999) raportează o rată de îndepărtare a TSS de 75%, folosind straturi succesive de plante plutitoare, plante submerse și plante emerse [158]. Lin și colab. (2002) raportează o rată de îndepărtare a TSS superioară, de 90%, în condițiile folosirii *Paspalum vaginatum*.

Nutrienții esențiali plantelor cultivate în regim acvaponic în cadrul sistemelor recirculante integrate se împart în două categorii: macronutrienți fiind cei necesari dezvoltării plantei în cantități mari și micronutrienți („trace elements”), necesari în cantități mai mici [160]. Conform lui Rakocy și colab. (1992), macronutrienții din acvaponie sunt următorii: azotul, fosforul, potasiul, calciul, sulful și magneziul. În categoria micronutrienților se numără fierul, manganul, borul, zincul, cuprul și molibdenul [160].

Ghaly și Snow (2008) au înregistrat o reducere a azotului amoniacal total cu 75% în cadrul unui sistem recirculant integrat, folosind biomasă de păstrăv și orz [157]. Bouzoun și colab. (1982) raportează o reducere cu 34% a azotului amoniacal total, după o perioadă de cinci luni, în urma utilizării unei culturi hidroponice de stuf. Amoniul reprezintă o sursă majoră de azot anorganic captată de rădăcinile plantelor cu o constituție înaltă [161]. Acesta poate fi asimilat de microorganisme și transformat în materie organică sau poate fi îndepărtat prin intermediul proceselor de nitrificare [156].

De asemenea, în cadrul sistemelor recirculante integrate ce folosesc sisteme pe bază de zeolit pentru tratarea apei, atât concentrațiile de azot amoniacal, cât și cele de mangan, zinc și cupru înregistrează rate mari de îndepărtare, în detrimentul sodiului, calciului și potasiului [134]. Ca atare, trebuie punctat cu această ocazie faptul că utilizarea zeolitului în cadrul tehnicii acvaponice pe substrat îmbunătățește condițiile mediale de creștere și dezvoltare a biomasei vegetală, facilitând accesul acesteia la nutrienți [134].

Plantele preferă azotul amoniacal într-o anumită măsură deoarece acesta interacționează cu alți cationi. Prezenta nitratului în apa tehnologică împiedică absorbțiile mari de azot amoniacal de către biomasa vegetală, stopând competiția existentă pentru enzimele radăcinii, dintre acesta și alți ioni încărcăți pozitiv [162]. Gloger și colab. (1995) atribuie reducerea ionilor de amoniu atât procesului de absorbție manifestat la nivelul biomasei vegetale, cât și procesului de nitrificare. Aceștia raportează un procent de 9% reținere a azotului total introdus în sistem prin intermediul furajului administrat, manifestat la nivelul culturii acvaponice de salată verde [163]. Mant și colab. (2003) obțin un procent de îndepărtare a azotului de 57,7% în condițiile folosirii tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de pietriș a *Salix viminalis* [164].

Legat de concentrația de nitriți din apa tehnologică, Ghaly și colab. (2005) au obținut o rată de îndepărtare a acestora de 98,1% după 21 de zile experimentale, folosind biomasă vegetală de orz cultivată în regim acvaponic. Cu toate că nitriții au o rată de toxicitate mai mică comparativ cu cea a azotului amoniacal, în cadrul sistemelor recirculante integrate ei se dovedesc mai importanți, având tendința să se acumuleze pe termen lung datorită unei oxidări bacteriene incomplete [165, 166].

Nitrații, sursă esențială de hrană pentru biomasa vegetală în cadrul sistemelor recirculante integrate, au consemnat rate de îndepărtare cuprinse între 68,8 - 76,7% în cazul folosirii biomasei vegetale de orz [157]. Clarkson și Lane (1991) raportează o reducere a concentrației de nitrați din cadrul unui sistem acvacol de producție a crapului și păstrăvului de aproape zece ori față de concentrația inițială, utilizând tehnicii NFT pentru cultivarea orzului [167].

Caracteristicile hidraulice ale unui sistem recirculant integrat influențează în mod semnificativ performanțele acestuia privind tratarea apei tehnologice. Un parametru important în acest sens îl reprezintă rata hidraulică de încărcare. Afirmatia este argumentată de multiplele cercetări întreprinse în acest sens, Lin și colab. (2002),(2003) obținând rezultate notabile (rată de îndepărtare a nitraților de 68 – 99%) în timp ce Lin și colab. (2010) și Schulz și colab.(2003) raportează chiar creșteri ale nivelului de nitrați datorită practicării unor valori neconforme a ratei hidraulice de încărcare [168, 169, 170].

O creștere a valorii debitului de alimentare a modulelor acvaponice generează apariția condițiilor aerobe în cadrul acestora și împiedică procesele denitrificatoare [133]. De asemenea, Dediu și colab. (2012) obține rate scăzute de îndepărtare a nitraților în condițiile utilizării unor debite superioare de 16L/min, comparativ cu rezultatele obținute cu 8L/min.

Procesul de nitrificare din cadrul unităților acvaponice conduce la scăderea concentrațiilor de amoniac și la accentuarea fluctuațiilor azotului în cadrul sistemelor integrate [130].

Exceptând azotul, fosforul este al doilea macronutrient important, având caracter limitativ în cadrul sistemelor acvaponice. Concentrația de fosfor înregistrează o evoluție ascendentă în cursul perioadei de germinare datorită acumulării materiei organice reprezentate de solidele dizolvate și a celor în suspensie [153]. De asemenea, Endut și colab. (2009) observă o corelație semnificativă a ratei de retenție a fosforului, în raport cu valorile debitelor de alimentare a modulelor acvaponice. Hrana neconsumată și dejecțiile materialului biologic constituie sursele majore de fosfor din cadrul sistemelor acvaponice [133]. Ghaly și colab. (2005) au raportat o rată de retenție a fosforului cuprinsă între 91,8 - 93,6% în condiții tehnologice menționate anterior [156].

O reducere a concentrației de fosfor de la 0,3 la 4,4 mg/L a fost raportată de Clarkson și Lane (1991) în cadrul unui sistem integrat, folosind tehnici NFT [167]. În general, majoritatea publicațiilor de specialitate raportează o rată de îndepărtare a fosforului indusă de către biomasa vegetală cuprinsă între 10 -30% [112, 171].

Lennard și Leonard (2006) realizează un studiu comparativ ce implică testarea celor trei principale tehnici acvaponice (pe substrat, pe sistem flotabil și cu film de nutrienți), obținând cele mai bune procente ale ratei de retenție a nitraților în cazul utilizării tehnicii DWC, în timp ce legat de fosforului, tehnica acvaponică în substrat a generat cele mai ridicate rate de retenție (tabelul 1) [125].

Tabelul 1. Performanțele tehnologice înregistrate în condițiile utilizării diverselor tehnici acvaponice [125]

Parametrul	Tehnica acvaponică pe substrat (pietriș)	Tehnica acvaponică pe sistem flotabil (DWC)	Tehnica acvaponică cu film de nutrienți (NFT)
Sporul de creștere a salatei verzi (g/plantă)	131,97±6,46	116,91±3,24	107,95±2,2
Rata de retenție a fosforului (%)	52,5	36,3	50,3
Rata de retenție a nitraților (%)	90,9	93,2	71,8

În ceea ce privește rata de retenția a nitraților, se constată faptul că tehnica NFT a fost cea mai puțin eficientă, fapt confirmat și de către alți autori [172]. Wren (1984) consemnează o rată de retenție a nitraților de 31% în cazul variantelor cu substrat de pietriș, comparativ cu NFT unde procentul a fost de 20% [172]. Trebuie menționat faptul că valorile mari ale concentrațiilor de calciu din apa tehnologică pot determina precipitarea fosforului sub forma de fosfat dicalcic [87].

Valorile oxigenului dizolvat și a pH-ului apei tehnologice influențează în mod direct și indirect performanțele de creștere a biomasei vegetale din cadrul unui sistem acvaponic. În urma cercetărilor întreprinse, Gotto și colab. (1996) au observat o dezvoltare normală a zonei radiculare a plantelor crescute în regim acvaponic în condițiile unei concentrații de oxigen dizolvat a apei tehnologice de 2,5mg/L [173]. O valoare a oxigenului dizolvat de 1,6mg/L are efecte negative asupra creșterii și dezvoltării frunzelor și rădăcinilor salatei verzi [174] (fig. 1.30).

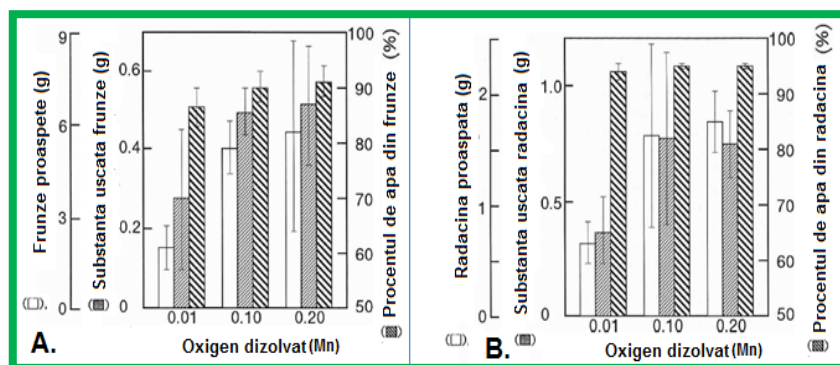


Fig.1.30. Influența oxigenului dizolvat din apa tehnologică asupra creșterii și dezvoltării:

A. frunzelor de salată verde; B. rădăcinilor salatei verzi [174].

Valoarea pH-ului influențează direct prezența în anumite concentrații a macro și micronutrienților din apa tehnologică (fig.1.31). Se recomandă 6,4 – 6,8upH drept ecart optim pentru păstrarea unui echilibru a concentrației de nutrienți din apa tehnologică [175].

Hargreaves și Steeby (1999) afirmă faptul că alcalinitatea apei tehnologice este în corelație directă cu concentrația netă de dioxid de carbon [176].

Yi și colab. (2003) raportează valori ale alcalinității totale cuprinse între 108 – 513mg/L într-un sistem integrat utilizând o biomasă piscicolă formată din tilapia și somn [177].

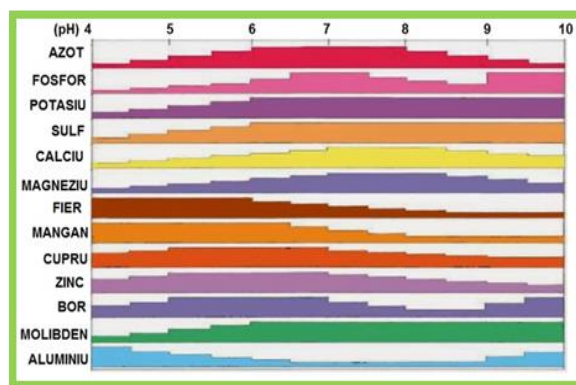


Fig.1.31. Corelațiile dintre pH și micro / macronutrienții apei tehnologice în cadrul unui sistem recirculant integrat [175]

Concentrația de potasiu din apa tehnologică influențează direct performanța creșterii biomasei vegetale, valorile ratelor de retenție ale acestuia fiind situate într-un ecart de 25–75%. Seawright și colab. (1998) consemnează rate de retenție a potasiului de către biomasa vegetală în cadrul sistemelor recirculante integrate, cuprinse între 70 – 75% [178]. Acesta menționează faptul că un procent cuprins între 23 - 26% din totalul inputului de potasiu în sistemul de creștere se regăsește în dreptul biomasei piscicole, în timp ce în dreptul dejecțiilor materialului biologic avem consemnate valori ce se încadrează în ecartul 3 -6 % [178].

Potasiul reprezintă în medie 1% din concentrația chimică a cărnii de pește, în timp ce în cazul plantelor acest procent ajunge la 10% din substanța uscată [179]. Dontje și Clanton (1999) au obținut o rată de retenție a potasiului cuprinsă între 25 - 71%, în condițiile folosirii tehnici acvaponice pe substrat de nisip pentru cultura de roșii [180].

Mant și colab. (2003) raportează o rată de retenție a potasiului de 24,9% în condițiile folosirii tehnicii acvaponice pe substrat de pietriș pentru cultivarea de *Salix viminalis*. Aceștia menționează faptul că în determinarea ratei de retenție a potasiului trebuie ținut cont de capacitatea acestuia de a precipita în forma de K_2S [164]. Marschner (1998) indică faptul că valorile ridicate ale concentrațiilor de potasiu generează, la rândul lor, rate de retenție ridicate, fapt ce poate influența rata de retenție pentru magneziu și calciu [181].

Rakocy și colab (1993) semnalează faptul că acumularea micronutrienților (Fe, Zn, Mn, Cu, B) în cadrul unui sistem acvaponic nu este în corelație directă cu cantitatea de hrană administrată [150].

Aceștia realizează o analiză comparativă a ratelor de acumulare corespunzătoare principalilor nutrienți prezenți în cadrul sistemelor acvaponice, obținând următoarea relație: $K > N > P > Ca > S > Mg$ [150].

Quillere și colab. (1995) realizează un studiu comparativ legat de necesarul suplimentării cu nutrienți în cadrul culturilor de roșii, atât în sistem hidroponic, cât și în sistem acvaponic [183]. Aceștia constată o rată aproape dublă de adaos a fosforului în cadrul sistemului acvaponic de producție, fapt ce indică posibila precipitare a acestuia (fig. 1.32) [183].

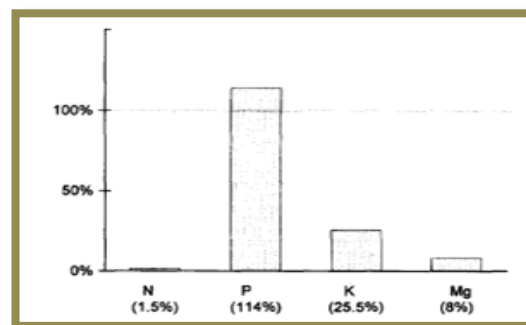


Fig. 1.32. Suplimentarea nutrienților din cadrul unui sistem acvaponic, comparativ cu un sistem hidroponic de producție a roșiilor [183]

Legat de concentrația de sodiu a apei tehnologice din cadrul sistemelor acvaponice, trebuie precizat faptul că aceasta nu trebuie să depășească 50mg/L, o valoare mai mare putând influența negativ biomasa vegetală în cadrul procesului de absorbție de potasiu și calciu [87, 183]. Este interzisă folosirea bicarbonatului de sodiu cu scopul reglării pH-ului în cadrul sistemului integrat, nivelurile ridicate de sodiu în prezența de cloruri generând un grad mare de toxicitate pentru biomasa vegetală [87, 183].

În ceea ce privește prezența fierului, trebuie afirmat faptul că oxidul feric hidratat are tendința de a se depune pe componentele sistemului integrat, fapt ce explică concentrația mică de fier prezentă la un moment dat în apa tehnologică [178]. Stabilitatea fierului dizolvat poate fi crescută prin chelare cu acizi organici precum EDTA, DTPA, sau EDDHA [178]. Fierul ce derivă din compoziția chimică a hranei administrate peștilor este insuficient necesităților biomasei vegetale [87]. Ca atare, se impune o suplimentare a concentrației de fier din apa tehnologică prin adăugarea de fier chelat, fapt ce impune menținerea pH-ului sub valoarea de 7upH, prag ce generează instabilitate compusului [87].

Concentrația în cupru a apei tehnologice din cadrul unui sistem integrat are tendință descendentă, existând indicii legate de o posibilă precipitare a acestuia [178]. Seawright și colab. (1998) raportează o concentrație de cupru net superioară în cadrul solidelor dizolvate, comparativ cu inputul total la nivelul sistemului acvaponic [178]. Concentrația în mangan a apei tehnologice înregistrează o tendință puternic descendentă în condițiile creșterii pH-ului [178]. Ca atare, se recomandă folosirea formelor chelate a acestuia în condiții tehnologice de pH ridicat [184]. Seawright și colab. (1998) consemnează un consum aleatoriu, dar ridicat de mangan în condițiile unui sistem integrat cu salată verde drept biomasă vegetală [178].

În cadrul unui sistem recirculant integrat, consumul chimic de oxigen (COD) are o tendință ascendentă pe parcursul perioadei de germinare datorită eliberării de enzime și este în corelație directă cu indicii de calitate ai semințelor de cultură [156]. În timpul perioadei de creștere a plantelor, concentrația de COD din apa tehnologică înregistrează o scădere semnificativă datorată dezvoltării capacității filtratoare a rădăcinilor și de asemenea, a capacității de absorbție a nutrienților existenți [156]. Ghaly și colab. (2005) raportează rate de scădere a COD cuprinse între 56 – 91%, în funcție de tipul și specia de plante cultivate [156]. Jiang și Xinyuan (1999) consemnează o rată de reducere a COD de 44%, în timp ce Gloger și colab. (1995) obțin un procent de 54%, în condițiile folosirii salatei verzi drept biomasă de cultură [158, 163].

Tematica legată de dinamica nutrienților și calitatea apei în cadrul unui sistem recirculant integrat continuă să ridice o serie de probleme nesoluționate încă din punct de vedere științific. Din cercetările întreprinse până în prezent, se pare că nu a fost încă găsit un raport optim între biomasa vegetală și cea piscicolă, care să genereze un nivel optim al nutrienților în cadrul unui sistem recirculant integrat, pe durata întregului proces de producție.

Preocupările științifice de actualitate implică realizarea unui model matematic de manipulare a procentului biochimic a furajului administrat materialului piscicol, astfel încât nevoile de suplimentare artificială cu nutrienți să fie excluse în totalitate.

1.3.2. Combinațiile de specii de pești – plante fezabile a fi aplicate în cadrul sistemelor recirculante integrate

Un prim pas important privind activitatea de producție în cadrul sistemelor recirculante integrate este reprezentat de alegerea potrivită a combinației speciilor de pești și plante dorite a fi cultivate, fapt ce poate duce la rezultate remarcabile în timp ce o alegere greșită poate însemna esecul total al producției.

Speciile de pești precum păstrăvul sau tilapia sunt menționate drept potrivite a fi crescute în cadrul sistemelor integrate, un fapt definitoriu în acest sens fiind legat de capacitatea de menținere a condițiilor mediale optime, aferente acestora.

Tilapia este o specie importantă în acvacultură, succesul acesteia fiind atribuit ușurinței aplicabilității tehnologiei de creștere [185, 186]. Conform FAO, tilapia este a doua specie ca importanță la nivel mondial, având așadar toate atuurile din punct de vedere al marketingului [187].

Cu toate că are cerințe tehnologice mai exigente, fiind mai susceptibil la boli în special în primele stadii de viață [188], păstrăvul ocupă un loc fruntaș în preferințele consumatorilor, fapt ce îl recomandă spre a fi crescut în sistemele intensive, fie ele și integrate.

În cadrul unui sistem recirculant integrat, managementul procesului de administrare a hranei este unul foarte complex, satisfacerea concomitentă și interdependentă a exigențelor nutriționale ale celor două biomase de cultură (piscicolă și vegetală) limitând într-o oarecare măsură flexibilitatea tehnologică a acestora.

Astfel, tehnologiile de creștere compensatorie [188] sau recuperare nutrițională a materialului piscicol sunt imposibil de aplicat în cadrul unui sistem acvaponic. Compoziția biochimică a furajului administrat trebuie să asigure obținerea unei calități conforme în vederea comercializării, atât pentru biomasa piscicolă [189], cât și pentru cea vegetală.

Creșterea de plante medicinale în cadrul sistemelor recirculante integrate capătă amploare în ultimii ani, o posibilă cauză fiind legată de folosirea ulterioară a culturii obținute pentru obținerea de fitobiotice care, printr-o ulterioară administrare în cadrul furajelor, întăresc imunitatea materialului piscicol și chiar contribuie la o mai bună evoluție a parametrilor legați de creșterea acestuia [190, 191].

Exceptând păstrăvul și tilapia, în cadrul literaturii de specialitate mai găsim menționate specii precum somnul african (*Clarias gariepinus*) și crapul (*Cyprinus carpio*) drept potrivite în vederea creșterii în cadrul sistemelor integrate [67]. De asemenea, speciile de pești ornamentali pot fi crescute în sisteme integrate, cu toate că cerințele acestora legate de calitatea apei sunt mai mari, comparativ cu speciile anterior menționate.

Studii experimentale au fost realizate și pe alte specii precum bibanul, șalăul, cosașul, crap koy, dorada, creveții de apă dulce, racii sau chiar anumite specii de sturioni, în schimb utilizarea acestora în cadrul sistemelor recirculante integrate de producție industrială nu a fost raportată.

Pentru a fi eficient, un sistem acvaponic trebuie exploatat continuu, Rakocy și colab. (2006) propunând trei metode de producției și anume: creșterea secvențială a biomasei vegetale, creșterea secvențială a biomasei piscicole și creșterea secvențială concomitentă a biomaselor vegetale și piscicole [87].

Dintre acestea, un grad mare de popularitate este atribuit creșterii secvențiale, metodă ce implică cultivarea concomitentă în regim acvaponic a speciilor de plante în diverse stadii de dezvoltare. Pe măsură ce acestea se dezvoltă, avansează ca poziție față de zonele de alimentare a unităților acvaponice. Dezavantajele metodei sunt legate de stresul indus de activitatea de manipulare [87].

Alegerea plantelor ce urmează a fi cultivate în regim acvaponic se realizează în funcție de capacitatea acestora de a genera profit, raportat la unitatea de timp. Ca atare, plantele cu frunze verzi comestibile, precum busuiocul, coriandrul, arpagicul, pătrunjelul și menta sunt mai frecvent utilizate comparativ cu cea a legumelor ca roșii, vinete, castraveți sau bame.

Cea mai populară plantă cultivată în sistem acvaponic rămâne salata verde, având un ciclu de creștere de 3 – 4 săptămâni și fiind destul de rezistentă la variații legate de factorii mediali [87]. Varza chinezească, năsturelul cât și diverse tipuri de flori precum gălbenelele sunt pretabile a fi crescute în regim acvaponic [87].

Culturi de roșii, vinete, salată verde, busuioc, pătrunjel, castraveți, arpagic și spanac sunt menționate a fi produse la nivel industrial, utilizând tehnici acvaponice, în regiunea Alberta din Canada [86].

În Noua Zeelandă, plante precum sfecla, afinele și ceapa de primăvară sunt cultivate în regim acvaponic cu rezultate notabile [67]. Trang și colab. (2010) sesizează preponderența culturilor de spanac de apă (*Ipomoea aquatica*), pak choy (*Brassica rapa chinensis*) și choy sum (*Brassica rapa parachinensis*) în regim acvaponic, în cadrul țărilor tropicale [24]. Al-Hafedh și colab. (2008) identifică peste 30 de tipuri de plante care au fost crescute în regim acvaponic [83]. Chughtai (1995) a cultivat zorele (*Ipomoea aquatica*) împreună cu specia somn, obținând un spor de creștere de 1,3 g/m²/zi [192].

O categorie aparte de plante crescute în sisteme acvaponice este reprezentată de plantele plutitoare. Acestea sunt cultivate cu precădere în sistemele recirculante integrate și au drept specii reprezentative următoarele: zambila de apă (*Eichhoria crassipes*), salata verde de apă (*Pistia sp.*), lintița (*Spirodela* și *Lemna sp.*) și feriga de apă (*Azolla sp.*) [160]. Acestea pot fi comercializate drept plante ornamentale (zambila de apă, salata verde de apă) sau pot fi utilizate pentru hrana unor specii de pești (lintița și feriga de apă).

Rackocy și colab. (1992) menționează utilitatea acestor plante plutitoare cultivate în cadrul unor sisteme acvaponice deschise, prin contribuția acestora la inhibarea creșterii fitoplanctonului prin împiedicarea pătrunderii luminii în masa apei și de asemenea, prin rata de îndepărtare a azotului din sistem [160]. Zambila de apă poate înregistra o rată de îndepărtare a azotului de 1g/m²/zi pe parcursul perioadei de creștere optimă [160].

Plantele emerse au nevoie de un substrat de creștere suficient de stabil pentru fixarea rădăcinii. Sunt consemnate utilizarea unor substraturi din nămol nisipos sau vermiculit, potrivite pentru creșterea plantelor precum năsturelul (*Nasturtium officinale*), castanul de apă (*Eleocharis dulcis*) sau spanacul de apă (*Ipomoea aquatica*).

Plantele submerse cresc în întregime sub apă, cele mai reprezentative fiind *Vallisneria sp.* și *Elodea sp.* Randamentul de creștere a legumelor în cadrul sistemelor recirculante integrate, folosind tehnici acvaponice, sunt superioare comparativ cu cele obținute din cultura în sistem clasic pe sol [160]. De asemenea, în cazul unor specii de plante, precum salata, productivitatea sistemelor acvaponice este aproape similară cu cea a sistemelor hidroponice [160].

Savidov și Hutchings (2007) testează creșterea roșiilor, busuiocului, vinetelor, coriandru mexican și a salatei în condiții acvaponice [194]. Drept concluzii: în cazul creșterii roșiilor s-a constatat o puternică corelație de ordin calitativ legată de caracteristicile sursei de lumină; busuiocul a fost categorisit drept cea mai de succes specie dintre cele experimentate; productivitate însemnată s-a înregistrat și în cazul vinetelor; coriandrul mexican a înregistrat cea mai scăzută rată de creștere [194].

În studiul amintit anterior au fost semnalate probleme legate de apariția *Pythium aphanidermatum* în zona radiculară a plantelor [194], o posibilă cauză a fenomenului fiind pusă pe seama acumulării materiei organice la nivelul biofiltrului.

În ceea ce privește performanța creșterii biomasei vegetale în condiții acvaponice, date provenite dintr-o serie de articole științifice au fost centralizate, având drept scop crearea unei imagini de ansamblu a modului de influență a diferitelor condiții tehnice și tehnologice asupra productivității sistemelor acvaponice (tabelul 2).

Tabelul 2. Tabel centralizator al celor mai sugestive lucrări științifice pe tema performanței producției vegetale obținută în urma aplicării tehnicilor acvaponice

NR. CRT.	DATE DE IDENTIFICARE A CERCETĂRII ȘTIINȚIFICE	SPECIA/SPECIILE DE PLANTE - PEȘTI SUPUSE CERCETĂRII	DETALII LEGATE DE CONDIȚIILE EXPERIMENTALE	PERFORMANȚELE DE CREȘTERE A BIOMASEI VEGETALE
1.	Licamele (2009), [195]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i>) –Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Aplicarea a trei densități de stocare a biomasei piscicole: A: 2 kg/m ³ ; B: 5 kg/m ³ ; C: 8 kg/m ³ .	Spor de creștere a salatei verzi: A – 4,32 kg; B – 4,65 kg; C – 3,09 kg.
2.	Endut și colab. (2009), [133]	Spanac de apă (<i>Ipomoea aquatica</i>) –Somn African (<i>Clarias gariepinus</i>)	Aplicarea unor regimuri hidraulice diferite: HRT ₁ =0,64 m/zi; HRT ₂ =1,28 m/zi; HRT ₃ =1,92 m/zi; HRT ₄ =2,56 m/zi;	Rata zilnică de creștere a plantelor în înălțime: 1,70 cm/zi (HRT ₁); 2,11 cm/zi (HRT ₂); 1,75 cm/zi (HRT ₃); 1,59 cm/zi (HRT ₄).
3.	Endut și colab. (2010), [58]	Spanac de apă (<i>Ipomoea aquatica</i>) –Somn African (<i>Clarias gariepinus</i>)	Aplicarea unor regimuri hidraulice diferite: HRT ₁ =0,64m/zi; HRT ₂ =1,28m/zi; HRT ₃ =1,92m/zi; HRT ₄ =2,56m/zi; HRT ₅ =3,20m/zi;	Rata zilnică de creștere a plantelor în înălțime: 1,75 cm/zi (HRT ₁); 2,50 cm/zi (HRT ₂); 2,06 cm/zi (HRT ₃); 1,90 cm/zi (HRT ₄); 1,90 cm/zi (HRT ₅).
4.	Trang și colab. (2010), [73]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i>); Spanac de apă (<i>Ipomoea aquatica</i>); Pok choi (<i>Brassica rapa</i> var. <i>chinensis</i>); Choy sum (<i>Brassica rapa</i> var. <i>parachinensis</i>)	Aplicarea diferitelor tehnologii de cultură a biomasei vegetale: • cu rădăcina complet imersată (D); • cu rădăcina parțial imersată (HF); • cu rădăcina complet imersată (F).	<u>Suprafața frunzelor:</u> Salată verde: D: 251 cm ² ; HF: 830 cm ² ; F: 522 cm ² . Spanac de apă: D: 251 cm ² ; HF: 830 cm ² ; F: 522 cm ² . Pok choi: D: 251 cm ² ; HF: 830 cm ² ; F: 522 cm ² . Choy sum: D: 251 cm ² ; HF: 830 cm ² ; F: 522 cm ² .
5.	Lennard și Leonard (2004), [126]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i>) –Cod Murray (<i>Maccullochella peelii peelii</i>)	Aplicarea unor regimuri de submersie diferite: • regim permanent de submersie (CF); • regim intermitent de submersie (F&D).	Sporul de creștere al salatei verzi: CF: 129 g/plantă 4,97 kg/m ² F&D: 113,45 g/plantă 4,34 kg/m ²
6.	Lennard și Leonard (2006), [125]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i>) – Cod Murray (<i>Maccullochella peelii peelii</i>)	Aplicarea diferitelor tehnici acvaponice: • pe substrat de pietriș (S); • DWC; • NFT.	Sporul de creștere al salatei verzi: S: 131,97 g/plată 5,05 kg/m DWC: 161,91 g/plată 4,47 kg/m ² NFT: 107,95 g/plată 4,13 kg/m ²

7.	AL – Hamed și colab. (2008), [83]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i>) –Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Aplicarea a trei rapoarte diferite de: <i>hrană administrată:</i> <i>suprafață de cultură a biomasei vegetale</i> A: 169 B: 113 C: 56	Biomasa individuală finală a biomasei vegetale: A: 289 g/plantă B: 212 g/plantă C: 157 g/plantă
8.	Sikawa și Yakupitiyage (2010), [149]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i>) –Hibrid de somn (<i>Clarias macrocephalus</i> x <i>Clarias gariepinus</i>)	Aplicarea tehnicii acvaponice pe substrat de nisip/pietriș pentru realizarea unei analize comparative în vederea tratării apei tehnologice nefiltrate (AN) și a celei supusă anterior unui proces de filtrare (AF).	În cazul variantei AN se consemnează următoarele sporuri de creștere: <i>Substrat pietriș</i> 14 g/planta 165,87 g/m ² <i>Substrat nisip</i> 23,13 g/plantă 277,53 g/m ² În cazul variantei AF se consemnează următoarele sporuri de creștere: <i>Substrat pietriș</i> 22,59 g/planta 271,13 g/m ² <i>Substrat nisip</i> 35,28 g/plantă 423,4 g/m ²
9.	Dediu și colab. (2012), [130]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i>) – Bester	Aplicarea unor regimuri hidraulice diferite: A: HRT ₁ = 5,4 min; Q ₁ = 8 L/min B: HRT ₂ = 2,7 min; Q ₂ = 12 L/min	Sporul de creștere înregistrat: A: 75 g/plantă 3,77kg/m ² B: 66,02 g/plantă 3,37kg/m ²
10.	Rafiee și Saad (2006), [134]	Salată verde (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>longifolia</i>) –Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Evaluarea influenței folosirii zeolitului drept substrat de creștere, în condițiile unui sistem acvaponic.	Sporul de creștere: <i>Pentru varianta fără zeolit:</i> 6,54 g/plantă <i>Pentru varianta cu zeolit:</i> 35.88 g/unitate
11.	Graber și Junge (2009), [76]	A. Roșii (<i>Solanum lycopersicum</i>) și castraveți (<i>Cucumis sativus</i>) – Bibanul (<i>Perca fluviatilis</i>) B. Vinete (<i>Solanum melongena</i>) – Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Aplicarea diferitelor combinații de specii plante-pești (A., B.)	Sporul de creștere înregistrat: A. roșii: 355 g/m ² /zi castraveți: 80 g/m ² /zi B. vinete: 90 g/m ² /zi

Savidov și colab. (2007) realizează un studiu de caz având drept obiectiv cuantificarea productivității diverselor biomase vegetale, obținute în cadrul sistemelor recirculante integrate prin utilizarea tehnicilor acvaponice, în regiunea Alberta, Canada [194]. În urma studiului s-a concluzionat că spanacul de apă, sfecla de spanac și amarantul înregistrează cele mai mari

valori ale sporului anual de creștere, raportat la suprafața cultivată (fig. 1.33) [194]. La polul opus se găsesc coriandrul mexican, mărarul, schinduful și busuiocul osmin (fig. 1.33) [194].

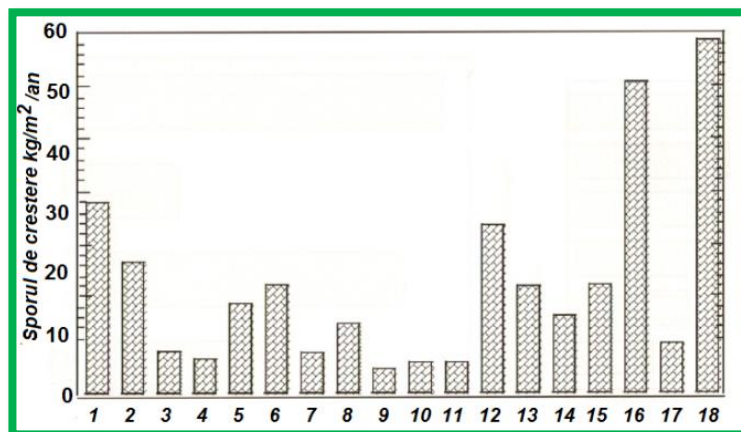


Fig. 1.33. Sporul anual de creștere pentru diverse specii de plante, obținute în cadrul sistemelor recirculante integrate prin utilizarea tehnicilor acvaponice, în regiunea Alberta, Canada [194]:

1. Amarantul;
2. Busuiocul genovez;
3. Busuiocul lămâie;
4. Busuiocul osmin;
5. Arpagicul;
6. Choi;
7. Coriandrul cîlantro
8. Coriandrul clasic;
9. Coriandrul mexican;
10. Mărarul;
11. Schinduful;
12. Salata verde;
13. Pătrunjelul;
14. Iarba grasă - portulaca;
15. Spanacul;
16. Sfecla de spanac;
17. Năstrurelul;
18. Spanacul de apă

Prin multitudinea cercetărilor ce au avut drept scop perfecționarea sistemelor recirculante integrate, o gamă variată de combinații de specii plante - pești au fost testate, în condiții tehnice și tehnologice specifice. Acest fapt a generat apariția studiilor bazate pe modelarea matematică, ce ajută la elucidare într-o anumită măsură a problemelor legate de funcționarea sistemelor recirculante integrate în diverse condiții, precum cel al lui Buonomoa și colab. (2005) [196]. Interesul sporit al cercetărilor în domeniu, confirmă eficiența sistemelor recirculante integrate din punct de vedere al productivității, comparativ cu alte sisteme integrate de producție.

PARTEA II.

ACTIVITATEA EXPERIMENTALĂ



CAPITOLUL II

MATERIALE, METODE ȘI TEHNICI DE INVESTIGARE UTILIZATE ÎN CERCETARE



2.1. PROIECTAREA ȘI REALIZAREA INFRASTRUCTURII DE CERCETARE

În vederea realizării activității experimentale din cadrul acestui proiect s-a utilizat baza materială din cadrul Departamentului de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru, Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, constând într-un număr de două sisteme recirculante în cadrul cărora s-au integrat module acvaponice cu diferite caracteristici constructive. Astfel, în urma unui riguros proces de proiectare, urmat de transpunerea în practică, au fost realizate două sisteme recirculante integrate, bazate pe diferite tehnici acvaponice.

2.1.1. Stabilirea parametrilor hidraulici de bază în cadrul unui sistem recirculant integrat

În cadrul sistemelor recirculante integrate, dimensionarea din punct de vedere hidraulic ocupă un rol esențial, aceasta realizându-se în funcție de tehnica acvaponică folosită și capacitatea de producție a sistemului. Drept scop primar, dimensionarea parametrilor hidraulici urmărește realizarea unui echilibru între producția de biomasă piscicolă, cea de biomasă vegetală și de asemenea, eficacitatea de tratare a apei tehnologice folosind tehnici de bio și fitoremediere (tehnici acvaponice).

Timpul hidraulic de retenție și rata hidraulică de încărcare sunt indicatori ce trebuie luați în calcul în cadrul unui sistem recirculant integrat. Aceștia se calculează folosind următoarele formule matematice [58]:

$$HLR = Q / S; (m/zi) \quad (1)$$

unde,

HLR – rata hidraulică de încărcare (m/zi);

Q - debitul de alimentare a modulului acvaponic (m³/zi);

S - suprafața modulului acvaponic (m²).

$$HRT = (S \times h \times n) / Q; (ore) \quad (2)$$

unde,

HRT – timpul hidraulic de retenție (ore);

S - suprafața modulului acvaponic (m²);

h – adâncimea apei în cadrul modulului acvaponic (m);

n - porozitatea substratului de creștere a biomasei vegetale;

Q - debitul de alimentare a modulului acvaponic (m³/zi).

O serie de studii au fost realizate, referitoare la stabilirea capacității de bio și fitoremediere a diverselor tehnici acvaponice, ținând cont în special de cei doi indicatori prezentați mai sus. Endut și colab. (2010) a realizat un studiu de cercetare legat de efectul debitului de alimentare a modulelor acvaponice asupra parametrilor de calitate a apei și a indicatorilor de performanță a creșterii pentru spanacul de apă (*Ipomoea aquatica*) [58]. Astfel, în cercetarea propriu-zisă s-au testat cinci debite de alimentare: 0,8; 1,6; 2,4; 3,2 și 4 L/min.

Fiecare valoare a debitului a generat un timp hidraulic de retenție și o rata hidraulică de încărcare proprie. Cele mai bune rezultate în ceea ce privește performanța de creștere a biomasei piscicole s-au înregistrat la o HLR de 1,28 m/zi, valoare aferentă debitului de alimentare de 1,6 L/min [58]. Situația a fost similară și în cazul producției de biomasă vegetală.

La polul opus se situează HLR-ul cu valoare de 3,2 m/zi, aferent debitului de alimentare de 4 L/min [58].

Dediu și colab. (2012) a utilizat două valori ale debitului de alimentare (8 și 16 L/min.) corespunzătoare unor timpi de retenție hidraulică de 5,4 min. și 2,7 min [130]. Acest studiu a consemnat rezultate mai bune în ceea ce privește parametrii ce analizează performanțele de creștere a biomasei vegetale în cazul aplicării debitului de 8L/min respectiv, HRT de 5,4min. Legat de performanțele de creștere a biomasei piscicole valori mai mici ale factorului de conversie a hranei (FCR) au fost observate în cadrul variantei unde a fost aplicat debitul de 16L/min respectiv, HRT de 2,7min.

Pentru dimensionarea hidraulică a modulelor acvaponice din cadrul unui sistem recirculant integrat trebuie luați în seamă parametrii aferenți instalației de alimentare - evacuare și caracteristicile constructive ale unităților acvaponice. Calculul de dimensionare al conductelor presupune, prin urmare, cunoașterea normelor consumului de apă și a debitelor de calcul. De asemenea, trebuie cunoscută natura, cantitatea și variația consumului, calitatea apei și regimul necesar de alimentare.

Stabilirea diametrului conductelor de alimentare-evacuare a modulelor hidroponice se realizează folosind ecuația de continuitate [131, 132]:

$$Q_c = \frac{\pi D^2}{4} v; \text{ (m}^3/\text{s)}; \quad D = \sqrt{\frac{4Q_c}{\pi v}}; \text{ (m)} \quad (3)$$

unde:

Q_c = debitul de calcul, (m³/s);

v = viteza medie de circulație a apei, (m/s);

D = diametrul conductei ce se vrea a fi realizată, (m).

În scopul obținerii valorilor dorite ale debitului de alimentare/evacuare a unităților acvaponice, în dimensionarea instalației trebuiesc luate în calcul pierderile totale de sarcină ce apar în cadrul acesteia. *Pierderile de sarcină (h_r)* în cazul conductelor sub presiune, sunt alcătuite din *pierderi de sarcină liniare (h_f)* și *pierderi de sarcină locale (h_l)* [131, 132], care se produc în cazul de față la îngustările și măririle de secțiune, din cadrul instalației de alimentare/evacuare a modului acvaponic:

$$h_r = h_f + h_l \quad (4)$$

Pierderile de sarcină liniare (h_f) sunt direct proportionale cu *lungimea curentului de apă în conducte (L)*, cu *pătratul vitezei medii (v^2)* și invers proporționale cu *diametrul conductei (d)* [131, 132]. Ele mai sunt, de asemenea, influențate de rugozitatea conductei și de regimul de scurgere, influențe exprimate printr-un *coeficient (λ) de rezistență* [131, 132]:

$$h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Pierderile de sarcină locale (h_l) depind de *coeficientul de pierderi de sarcină locale (ξ_l)*, care se obțin prin însumarea pierderilor locale din diferitele puncte în care se produc acestea pe traseul curentului de apă pe conductă și sunt direct proporționale cu pătratul vitezei medii [131, 132]:

$$h_l = \xi_l \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

Ținând seama că din *sarcina hidrodinamică* (h) o parte se consumă pentru învingerea rezistențelor liniare (h_f) și o altă parte pentru învingerea rezistențelor locale (h_l), rezultă că din aceasta numai o parte (h) va constitui sarcina sub care se face scurgerea [131, 132]:

$$H = h + h_f + h_l \quad (7)$$

Valoarea coeficientului de scurgere, în cazul aplicării unui regim intermitent de submersie, e determinată de formulele [131, 132]:

$$C = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{1}{D} + \sum k}} ; \quad Q = CA\sqrt{2gH}, \text{ m}^3/\text{sec} \quad (8)$$

unde:

λ = coeficient de frecare;

l = lungimea sifonului, m;

D = diametrul sifonului, m;

$\sum k$ = toți coeficienții de pierderi locale;

C = coeficient de scurgere;

A = secțiunea transversală a ariei unei conducte, m^2 ;

H = înălțimea, m.

În cazul unei evacuări gravitaționale a unităților acvaponice, pentru determinarea diametrului conductei de evacuare se folosește ecuația de continuitate pentru mișcarea uniformă a curentului de apă [131, 132]:

$$Q_{\text{ev}} = S v, (\text{m}^3/\text{s}) \quad (9)$$

unde:

Q = debitul la evacuarea din unitatea acvaponică (m^3/s);

S = secțiunea de curgere (m^2);

v = viteza de curgere a apei (m/s), dată de relația lui Chezy:

$$v = C\sqrt{R i}, (\text{m/s}) \quad (10)$$

unde:

R = raza hidraulică a conductei (m);

C = coeficientul lui Chezy;

i = panta hidraulică; - se determină folosind legea lui Darcy astfel:

$$i = \frac{\lambda v^2}{2Dg} \quad (11)$$

unde:

λ = coeficientul de rezistență hidraulică (Darcy), funcție de tipul de conductă;

D = diametrul conductei, (m);

g = accelerația gravitațională (m/s).

2.1.2. Sistemul pilot recirculant integrat tip DWC

Sistemul recirculant integrat tip DWC a fost realizat prin optimizarea sistemului recirculant deja existent și integrarea în cadrul acestuia a modului acvaponic de tip DWC. În configurația sistemului recirculant se regăsesc toate echipamentele necesare pentru realizarea proceselor fundamentale de tratare a apei.

Configurația sistemului recirculant constă într-un număr de 12 unități de creștere (nr.1 din fig. 2.1) de formă rectangulară, confecționate din sticlă de grosime 10 mm și de asemenea, unitățile aferente de asigurare a calității apei. Volumul individual al fiecărei unități de creștere este de $0,132 \text{ m}^3$, având următoarele dimensiuni $360 \times 375 \times 980 \text{ mm}$. Atât alimentarea cât și evacuarea unităților de creștere se realizează gravitațional, prin conducte de polipropilenă cu diametrul de 50 mm.

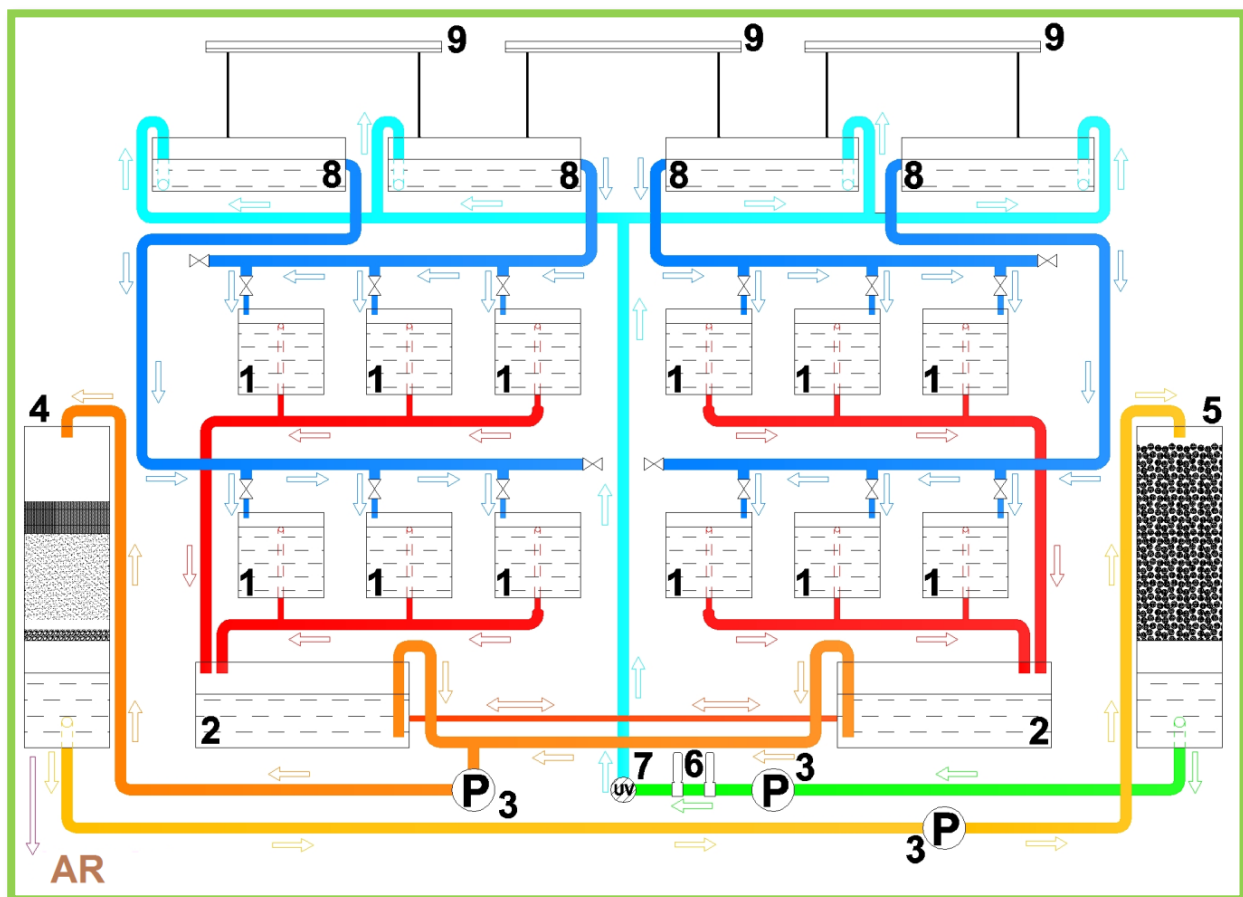


Fig. 2.1. Schema tehnologică a sistemului recirculant integrat de tip DWC. (schemă originală)

O altă componentă a sistemului recirculant este reprezentată de unitățile de decantare (nr.2 din fig. 2.1). Cele două unități de decantare au formă rectangulară, sunt confecționate din sticlă de grosime 10 mm și un volum de $0,29 \text{ m}^3/\text{unitate}$. Alimentarea acestor unități se face gravitațional în timp ce pentru evacuare se utilizează un sistem de pompe.

Recircularea apei în cadrul sistemului se realizează prin folosirea unui număr de trei pompe centrifugale tip DAB A 80 180 XM cu un debit maxim de $8,7 \text{ m}^3/\text{h}$ (fig. 2.2). Acestea au drept scop asigurarea unui regim hidraulic corespunzător în vederea alimentării unității de control a particulelor solidelor, a unității de filtrare biologică, precum și a modulelor acvaponice integrate ulterior (nr.3 din fig. 2.1).

Îndepărtarea solidelor reprezintă un obiectiv primar atât în proiectarea sistemelor recirculante, dar mai ales a celor recirculante integrate unde exigențele legate de acest proces

sunt mai ridicate. În cazul utilizării unui sistem ineficient de control al solidelor sedimentabile și a celor în suspensie, activitatea bacteriilor heterotrofe se extinde, în detrimentul celor nitrificatoare, fapt ce conduce la instaurarea unui dezechilibru nutrițional în cadrul sistemului integrat și afectează semnificativ procesul de creștere a plantelor. Controlul particulelor solide se realizează prin utilizarea unui filtru cu nisip cuarțos, sub presiune (fig. 2.3). Stratul filtrant din nisip cuarțos are drept bază de susținere o coloană de pietriș ce asigură protecția rețelei de crepine prin care se realizează procesul de evacuare a apei tehnologice (fig. 2.3). Spălarea stratului filtrant se realizează cu ajutorul unui compresor cu piston CH 25/210-E. Caracteristicile constructive mai detaliate ale filtrului cu nisip cuarțos sunt descrise de Vasilean (2010) [197].

Poziția filtrului cu nisip cuarțos în cadrul schemei tehnologice a sistemului recirculant integrat de tip DWC este între unitățile de dencantare și unitatea de filtrare biologică a apei (nr.4 din fig. 2.1). Astfel, solidele sunt eliminate din masa apei tehnologice înainte ca acesta să fie supusă procesului de tratare biologică, asigurând în același timp o rată volumetrică optimă de îndepărtare a azotului amoniacal pe tot parcursul perioadei de exploatare a sistemului.



Fig. 2.2. Pompă de recirculare DAB A 80 180 XM. (foto original)

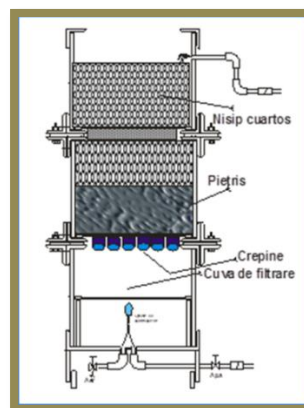


Fig. 2.3. Filtrul cu nisip cuarțos. [197]

Etapa de filtrare biologică se realizează prin intermediul unui filtru biologic tip trickling, amplasat după filtrul cu nisip cuarțos (nr.5 din fig. 2.1). Alimentarea filtrului biologic se realizează prin intermediul unei coloane orizontale, cu orificii, asigurând astfel o oxigenare suplimentară și o distribuție uniformă a apei tehnologice în cadrul unității biologice de filtrare. Circulația apei în interiorul filtrului trickling se desfășoară gravitațional. Evacuarea apei tehnologice se realizează cu ajutorul unei pompe de recirculare (fig. 2.2), ce face legătura cu instalația cu lampă UV.

Lampa UV TETRA POND UV - C (nr.7 din fig. 2.1) are o putere nominală de 3000W și dezvoltă o cantitate de radiații în gama de lungimi de undă optime pentru procesul tehnologic [198]. Sistemul are în dotare senzori de temperatură, pH și oxigen, poziționați anterior unității UV (nr.6 din fig. 2.1). În cadrul unui sistem recirculant se impune asigurarea concentrației optime de oxigen dizolvat, atât pentru nivelul impus de cerințele tehnologice ale biomasei piscicole, cât și în vederea menținerii în parametri normali ai ratei de nitrificare. Astfel, în cazul de față s-a folosit un compresor de tip FIAP Air Active 10000, cu putere de 100 W, presiune de 0,042 Mpa, care asigură un debit de aer de 8400 L/h.

Unitățile acvaponice au formă rectangulară, sunt confecționate din sticlă de grosime 10 mm și au dimensiuni de 900x600x250 mm (fig. 2.4). Acestea sunt poziționate în partea superioară a sistemului recirculant (nr.8 din fig. 2.1), pe un suport metalic stabil. Modulul acvaponic cuprinde un număr de 4 unități acvaponice, fiecare dintre acestea fiind prevăzută cu sistem de alimentare – evacuare propriu. Alimentarea unităților acvaponice se realizează prin

intermediul unei coloane orizontale de polipropilenă cu diametrul de 50 mm, cu orificii, asigurând astfel o oxigenare suplimentară și o distribuție uniformă a apei tehnologice (fig. 2.4).

Evacuarea apei tehnologice se realizează gravitațional, eventualele variații ale debitelor de evacuare fiind reglate din robinetii poziționați la nivelul unităților de creștere a biomasei piscicole. Legătura dintre conductele de alimentare - evacuare și unitatea acvaponică a fost realizată prin intermediul racordurilor de polipropilenă cu filet metalic. Au fost folosite garnituri speciale pentru asigurarea etanșeității legăturii.

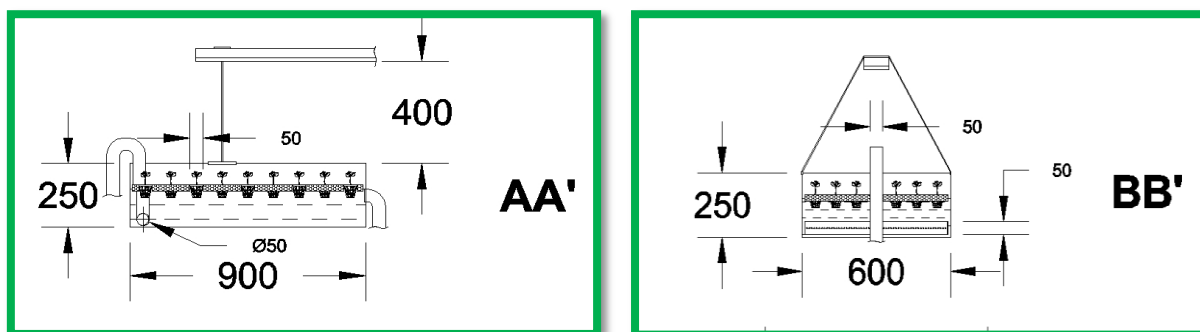


Fig. 2.4. Unitate acvaponică în vedere laterală (AA') și vedere frontală (BB'). (schemă originală)

Tehnica acvaponică DWC presupune utilizarea unui sistem flotabil drept suport pentru biomasa vegetală. Astfel, au fost confecționați suporturi din plăci de polistiren cu grosimea de 20mm, pe care au fost aplicate 32 de orificii cu diametrul de 50 mm fiecare (fig. 2.5), poziționate la o distanță de aproximativ 150 mm între ele. De asemenea, plăcile de polistiren au fost prevăzute cu orificii și în dreptul conductelor de alimentare – evacuare. S-au realizat trei plăci de tipul celor descrise mai sus și o placă cu orificii doar în dreptul perimetrelor de alimentare și evacuare, ce s-a poziționat în cadrul variantei experimentale martor.

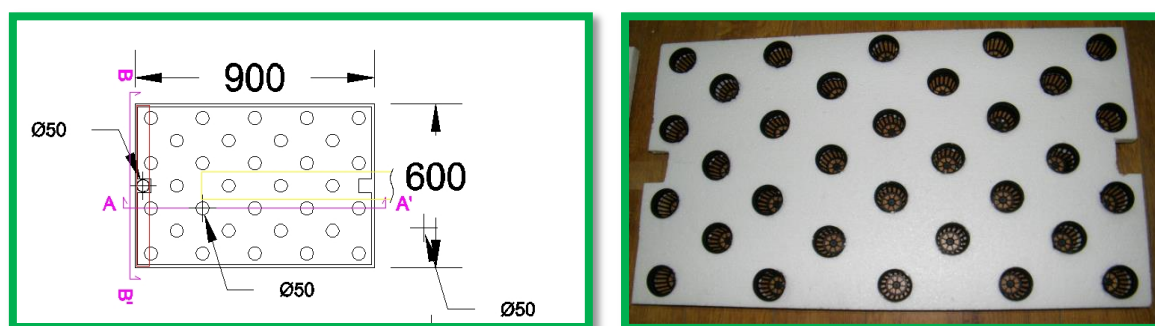


Fig. 2.5. Suport flotabil din plăci de polistiren întrebuințat în cadrul tehnicii acvaponice DWC. (schemă și foto. originale)

În interiorul orificiilor au fost introduși suporturi tip plasă, din plastic, ce servesc drept suport pentru suprafața radiculară a biomasei vegetale (fig. 2.6). Suportii au fost umpluți cu hidroton, pentru a asigura o mai bună stabilitate a plantelor, cât și pentru a accelera procesul de nitrificare la nivelul rizosferei acestora (fig. 2.6).



Fig. 2.6. Suporturi tip plasă, din plastic, umpluți cu hidroton și întrebuințati în cadrul tehnicii acvaponice DWC. (schemă și foto. originale)

Sistemul de iluminat este poziționat pe un suport metalic deasupra modulului acvaponic (nr.9 din fig.2.1) și constă într-un număr de trei lămpi fluorescente cu lungime de undă roșie, legate în serie, ce dezvoltă o putere luminoasă de 1080 lm. Lămpile sunt poziționate la o distanță de 400 mm față de modulul acvaponic (fig. 2.4) și generează o suprafață iluminată de peste 2 m². Pentru creșterea intensității luminoase, s-a realizat un înveliș tip cort pe toată suprafața modulului acvaponic (fig. 2.7). Acest înveliș a fost confecționat din folie reflectorizantă Groflective Mylar, cu un coeficient de reflexie totală cuprins între 90 - 95% (fig. 2.7).



Fig. 2.7: Înveliș tip cort pentru creșterea intensității luminoase, confecționat din folie reflectorizantă Groflective Mylar. (foto original)

Ciclul apei tehnologice în cadrul sistemului recirculant integrat este simbolizat prin săgeți, în cadrul fig. 2.1. Culoarele întrebuințate simbolizează gradul de tratare al apei tehnologice la trecerea acesteia prin diversele unități de condiționare a calității (fig. 2.1). Astfel, apa tehnologică evacuată gravitațional din cadrul unităților de creștere a biomasei piscicole ajunge în cadrul celor două unități de decantare. Din unitățile de decantare, apa tehnologică e preluată de sistemul de pompe de recirculare și direcționată către alimentarea filtrului cu nisip. În urma procesului de filtrare mecanică, apa reziduală (AR) este eliminată. Sistemul de pompe preia apa tehnologică de la evacuarea filtrului mecanic și o direcționează spre filtrul biologic, pentru ca apoi aceasta să treacă prin unitatea UV și cu ajutorul ultimei pompe, să fie ridicată la nivelul modulului acvaponic.

Evacuarea din cadrul modulului acvaponic se realizează pe cale gravitațională, apa tratată fiind direcționată către unitățile de creștere. Alimentarea fiecărei unități de creștere e prevăzută cu robinet pentru reglarea debitului, generând astfel o echilibrare din punct de vedere hidraulic.

2.1.3. Sistemul pilot recirculant integrat, cu substrat de argilă structurată (LECA - light expanded clay aggregate) și regim permanent și intermitent de submersie

Sistemul pilot recirculant integrat, cu substrat, a fost realizat prin reamplasarea sistemului recirculant descris de Cristea (2008) [199] și integrarea în cadrul acestuia a modulului acvaponic, împreună cu instalația de alimentare - evacuare și instalația de iluminat specifică. În proiectarea sistemului de evacuare al fiecărei unități acvaponice s-a ținut cont de necesitatea asigurării unui regim hidraulic după caz, continuu sau intermitent, pe durata funcționării modulului acvaponic.

Configurația sistemului recirculant în cauză constă într-un număr de patru unități de creștere de formă octogonală, confecționate din poliester armat cu fibră de sticlă (PAS), cu un volum individual de aproximativ 1 m³ (nr.1 din fig. 2.8). Trebuie precizat faptul că atât forma unităților de creștere, cât și regimul hidraulic din cadrul acestora asigură un randament crescut în ceea ce privește eliminarea rapidă a solidelor. Acest aspect este deosebit de important, mai ales în cadrul sistemelor recirculante integrate, unde un management defectuos din punct de vedere al înlăturării solidelor din cadrul sistemului poate avea un impact negativ considerabil și uneori ireversibil asupra biomasei vegetale.

Înălțimea unităților de creștere este de 0,8 m, cu o lungime a apotemei de 0,75 m, fiind poziționate la un nivel de 50 cm față de cel al terenului, pe o structură metalică de susținere. Din punct de vedere al gradului de finisare, acestea sunt lucioase pe suprafața interioară și netede pe exterior.

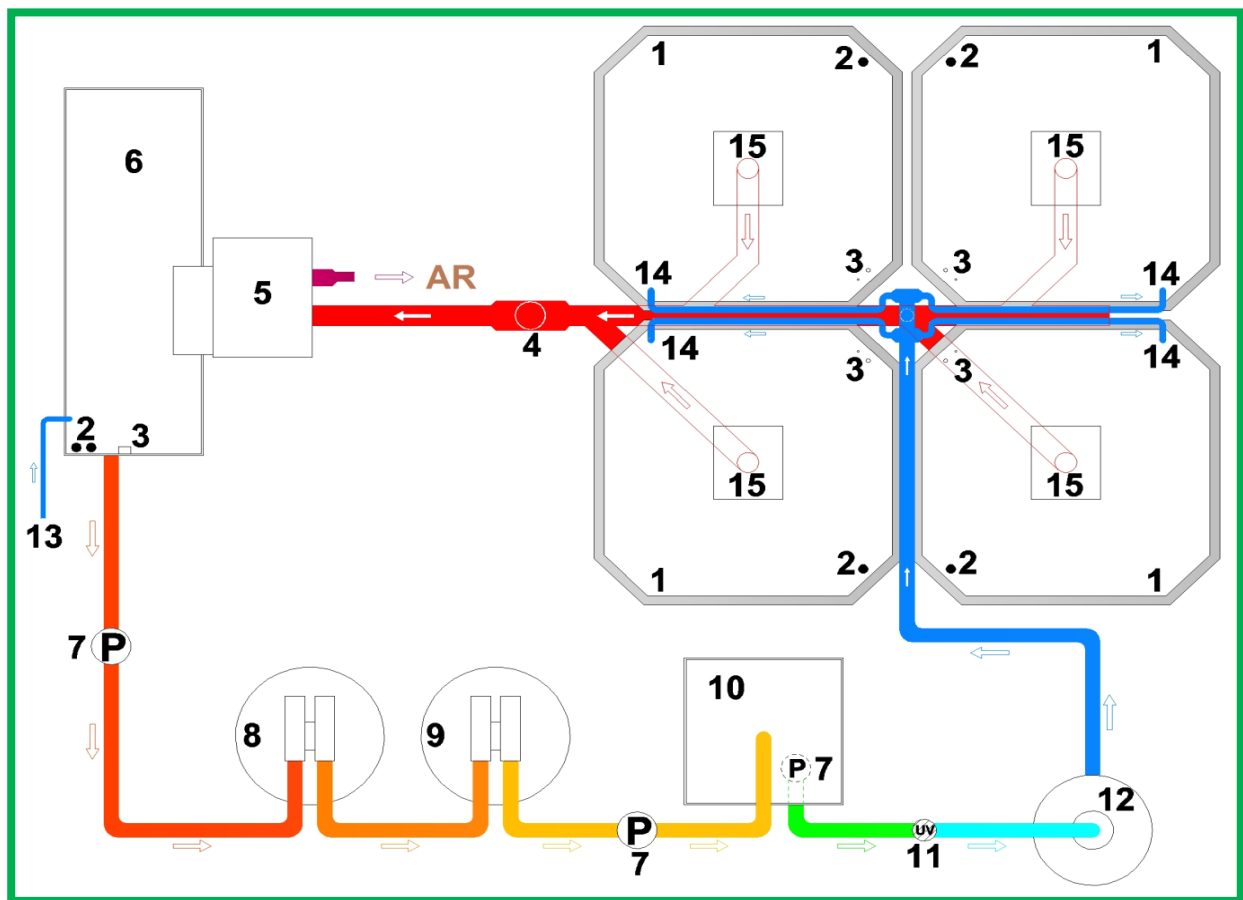


Fig. 2.8. Schema tehnologică a sistemului recirculant integrat cu substrat. (schemă originală)

Unitățile de creștere au prevăzut un sistem de evacuare poziționat central, cu o rază hidraulică de curgere de 55 mm (nr.15. din fig. 2.8). De asemenea, acestea au în dotare senzori de nivel minim și maxim (nr. 3 din fig. 2.8) și senzori de control ai unor parametri de calitate a apei tehnologice (nr. 2 din fig. 2.8).

Alimentarea cu apă a unităților de creștere se realizează individual, utilizând o coloană verticală, obturată la capăt și cu orificii pe toată suprafața imersă a acesteia (nr.14 din fig. 2.8). Trebuie menționată de asemenea, prezența unui sistem mecanizat de distribuție a hranei.

Un călugăr (nr.4 din fig. 2.8) este folosit cu scopul reglării nivelului apei tehnologice din cadrul unităților de creștere la valoarea optimă din punct de vedere tehnologic, corespunzătoare exigentelor unui anumit proces de producție.

Apa tehnologică evacuată de la nivelul unităților de creștere este colectată în cadrul unei conducte comune, confecționată din polipropilenă, fiind direcționată către unitatea de control a solidelor.

Drept soluție tehnică pentru controlul solidelor grosiere, prezentul sistem recirculant are în dotare un filtru mecanic cu tambur rotativ (nr.5 din fig. 2.8, fig 2.9), prevăzut cu sistem de autospălare a materialului filtrant. În urma procesului de autospălare este generat un anume volum de apă reziduală (AR), evacuată din cadrul sistemului recirculant integrat (fig. 2.8).

Unitatea de decantare este de formă rectangulară, confecționată din aluminiu și prevăzută cu senzori de nivel (nr. 3 din fig. 2.8, fig. 2.9) și senzori de control ai unor parametri de calitate a apei tehnologice (nr. 2 din fig. 2.8, fig. 2.9).

De asemenea, completarea volumului de apă lipsă în urma evaporării sau evacuării acesteia drept apă reziduală în cadrul etapei de tratare prezentate mai sus, se realizează la nivelul unității de decantare printr-o conducță de alimentare cu diametrul de 20mm, prevăzută cu sistem automatizat de cuantificare a volumului de apă introdus (nr.13 din fig. 2.8).

Apa tehnologică din cadrul unității de decantare este direcționată, cu aportul unui sistem de pompe de recirculare (nr.7 din fig. 2.8), către modulul format din cele două filtre (filtrul cu nisip – nr.8 din fig. 2.8 și filtrul cu cărbune activ – nr. 9 din fig. 2.8) tip ACLM 05 – Romet Buzău. Legat de caracteristicile tehnice ale acestora, trebuie menționat că filtrul cu nisip este proiectat pentru a reține particule solide cu un diametru peste 1 micron. Presiunea de lucru al acestuia este de 2 – 6 bari, temperatura optimă de lucru este de 5 - 40 °C, tensiunea de alimentare de 220V - 50Hz, tensiunea de lucru 12V – 50Hz și viteza maximă de filtrare 10m³/m²/h. Filtrul cu pat de cărbune activ are aceleași caracteristici tehnice menționate mai sus, cu excepția faptului că acesta este proiectat pentru a reține solide cu un diametru minim de 0,5 microni, fiind dimensionat pentru un timp de contact de 2 min, la o înălțime a patului filtrant de 1m. Patul filtrant este spălat de jos în sus, urmat de o pauză pentru decantare, fapt ce permite așezarea acestuia în poziție corectă, pe cale gravitațională [200].

Următoarea etapă de tratare este reprezentată de filtrarea biologică cu ajutorul filtrului trickling (nr.10 din fig. 2.8). Circulația apei în interiorul acestuia se desfășoară gravitațional. Un sistem de pompe sub presiune direcționează apa tehnologică, tratată din punct de vedere biologic, către unitatea UV (nr.11 din fig. 2.8) și unitatea de oxigenare (nr.12 din fig. 2.8).

Unitatea UV este compusă din trei lămpi UV (55W), prevăzute cu tuburi din cuarț cu scop de protecție, o cameră de reacție din oțel inox, un panou de control și leduri de avarie [200]. Parametrii tehnici ai acesteia sunt legați de presiunea maximă de lucru – 9 bari, ecartul termit optim de 2 - 40 °C, tensiunea de alimentare 220V – 50Hz, protecție electrică IP 55, intensitatea radiației UV de 30mj/cm², lungime de undă de 254 nm și durată de viață a lămpii UV de 7500 ore de funcționare. Apa evacuată din cadrul unității de oxigenare este direcționată spre alimentarea unităților de creștere.

Ciclul apei tehnologice în cadrul sistemului recirculant integrat este simbolizat prin săgeți, în cadrul fig. 2.8. Culoarele întrebuițate simbolizează gradul de tratare al apei tehnologice la trecerea acesteia prin diversele unități de condiționare a calității (fig. 2.8).

Debitul de recirculare al sistemului recirculant este de 6m³/h, fapt ce asigură o rată de schimb a întregului volum de apă al unei unități de creștere la fiecare 30 min.

Modulul acvaponic, aferent sistemului recirculant integrat în cauză, este alcătuit din 12 unități acvaponice de formă rectangulară (650 x 470 x 340 mm), confecționate din plastic de înaltă duritate și cu un grad relativ de transparență în scopul vizualizării proceselor fizice interne. Unitățile acvaponice sunt poziționate în grupuri de trei, în partea superioară a unităților de creștere, pe un suport metalic confecționat din țevi rectangulare din oțel zincat, folosind platbande drept elemente de legătură și stabilitate (fig. 2.10). Alimentarea grupurilor de unități



Fig. 2.9. Unitatea de îndepărtare a solidelor grosiere și unitatea de decantare.
(foto. original)

acvaponice se realizează prin intermediul pompelor tip HAILEA HX 6830, cu următoarele caracteristici tehnice: puterea 150W, voltaj 110-120/220-2740V, frecvență 50/60Hz, înălțimea maximă de pompare 3,2m, diametrul de refulare 23,5 mm și debitul de 2000L/h (fig. 2.11).



Fig. 2.10. Suport metalic pentru asigurarea susținerii și stabilității unităților acvaponice. (foto. original)



Fig. 2.11. Pompă submersibilă tip HAILEA HX 6830 folosită pentru alimentarea unităților acvaponice. (foto. original)

Pentru a evita aspirarea hranei neconsumate sau a solidelor grosiere de către pompa submersibilă, acesta a fost introdusă într-o carcasă confecționată dintr-un cadru metalic, acoperită în totalitate cu sită fină (fig. 2.12). Carcasele necesită o mentenanță zilnică, în caz contrar existând riscul generării unor disfuncționalități de ordin hidraulic în cadrul sistemului acvaponic, datorate acumulării de substanță organică pe suprafața sitei. În modul de proiectare al acestor carcase s-a ținut cont de situația anterior menționată. Astfel, sistemul de prindere al sitei prin clamă metalică, cât și forma cilindrică a armăturii ce formează scheletul metalic și de asemenea, lipsa unghiurilor ascuțite din cadrul acestuia oferă o manevrabilitate ridicată, necesară înlesnirii procesului zilnic de mentenanță.

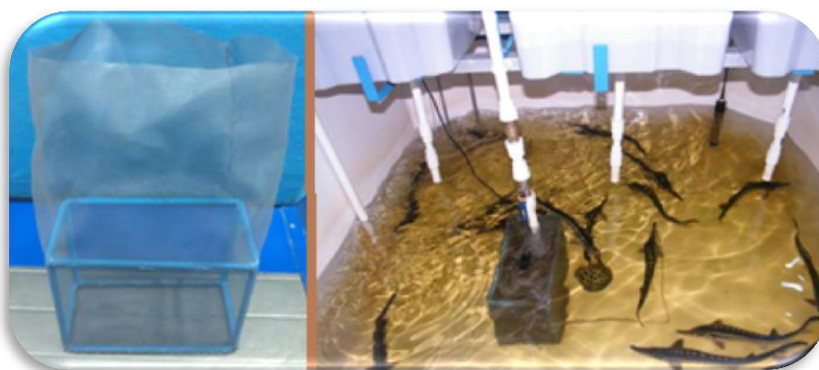


Fig. 2.12. Carcasa de protecție a pompelor submersibile. (foto. original)

Unitățile din cadrul modului acvaponic sunt grupate, fiecare unitate de creștere fiind în corespondență directă cu trei unități acvaponice (fig. 2.13 A). Din punct de vedere al instalației de alimentare, pompa submersibilă aspiră apa tehnologică din cadrul unității de creștere și o refulază pe direcție verticală, ascendentă, spre grupul format din cele trei unități acvaponice. Conducta verticală de refulare se ramifică la nivelul unităților acvaponice (fig. 2.13 B). Astfel, fiecare unitate acvaponică are alimentare separată (trei ramificații), cea de-a patra ramificație fiind direcționată spre unitatea de creștere (fig. 2.13 B). Motivul proiectării acestuia a fost strict legat de problematica echilibrării debitelor, în condițiile în care diverse rate hidraulice de încărcare urmează a fi testate. În condițiile stabilirii unor debite de alimentare a unităților acvaponice al căror quantum să fie inferior valorii debitului de refulare a pompei submersibile,

surplusul volumului de apă urmează să fie evacuat înapoi în cadrul unității de creștere, prin a patra conductă de ramificație.

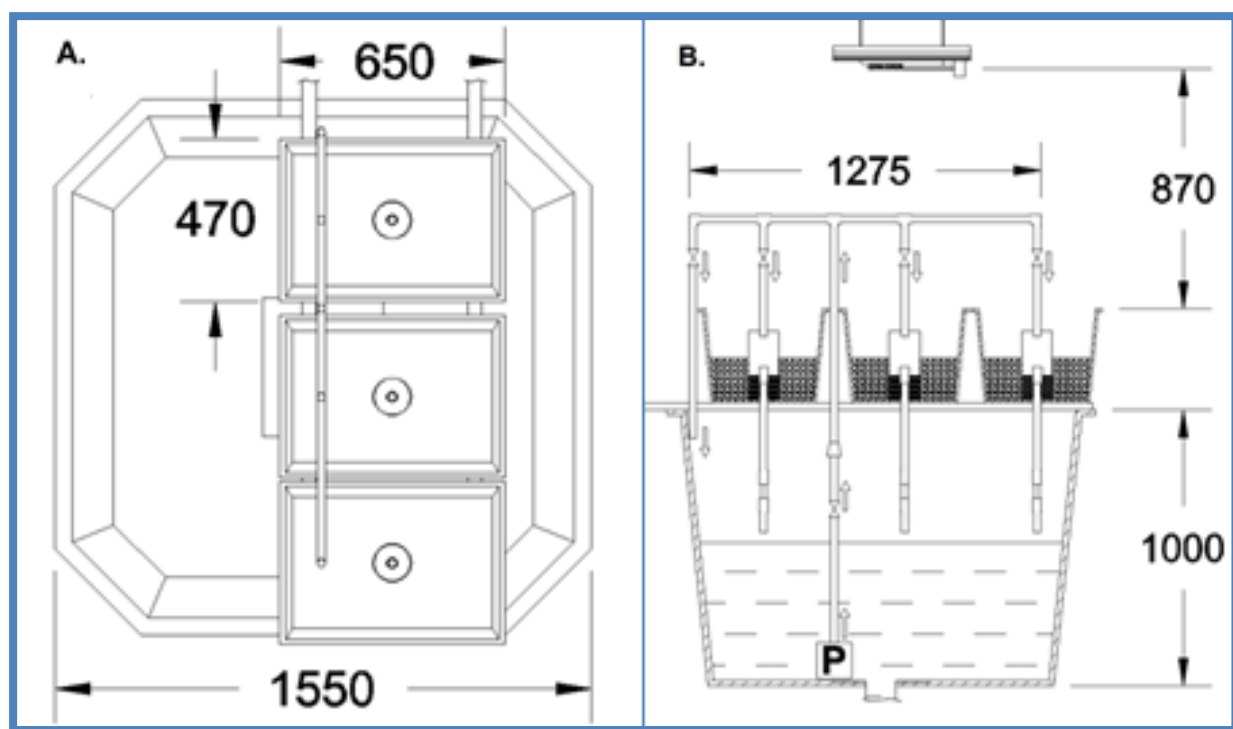


Fig. 2.13. Grup de unități acvaponice: A. Vedere de sus; B. Secțiune transversală.
(schemă originală)

Conducta de refulare are diametrul de 25mm, cu o îngustare de secțiune în dreptul racordului cu pompa submersibilă și este prevăzută cu un robinet cu bilă și un clapet de sens (fig. 2.14 A). Acestea permit menținerea apei tehnologice în interiorul instalației, în condițiile apariției unor avarii legate de funcționarea pompelor submersibile.

Cele patru ramificații ale conductei de refulare (3 x alimentări unități acvaponice + 1 x conductă de echilibrare a debitelor) sunt prevăzute individual cu robinete din fontă cu tambur rotativ, pentru reglarea exactă și asigurarea stabilității în timp a debitului de alimentare corespunzător fiecărei unități acvaponice (fig. 2.14 B).

Pentru fixarea robinetelor și a clapetului de sens în cadrul instalației de alimentare a unităților acvaponice, s-au folosit racorduri din polipropilenă (ppr), cu filet metalic interior.

Proiectarea instalației de evacuare a unităților acvaponice a avut un grad aparte de specificitate datorită necesității asigurării atât unui regim permanent de submersie, cât și intermitent, în funcție de tipul de experimentare realizată, într-un anume interval de timp. Detalii despre caracteristicile celor două regimuri de submersie, precum și date legate de principiile de funcționare ale acestora se regăsesc în subcapitolul 1.2.3. al prezentei lucrări.

Astfel, pentru asigurarea unui regim permanent de submersie, evacuarea din cadrul unităților acvaponice se realizează gravitațional, prin intermediul unei conducte poziționate central, la o înălțime de 110mm în interiorul acesteia (fig 2.15 A). Conducta se continuă la nivelul inferior al unității acvaponice, înregistrând o lungime cumulată de 645 mm (fig. 2.15 A.).

Cele două părți ale conductei de evacuare și anume partea superioară (interioară) și partea inferioară (exterioară) sunt îmbinate cu ajutorul racordurilor din polipropilenă (ppr), cu filet metalic interior și exterior. Garnituri din material cauciucat sunt poziționate la îmbinarea celor două racorduri, fapt ce generează etanșeitatea legăturii (fig. 2.15 B).

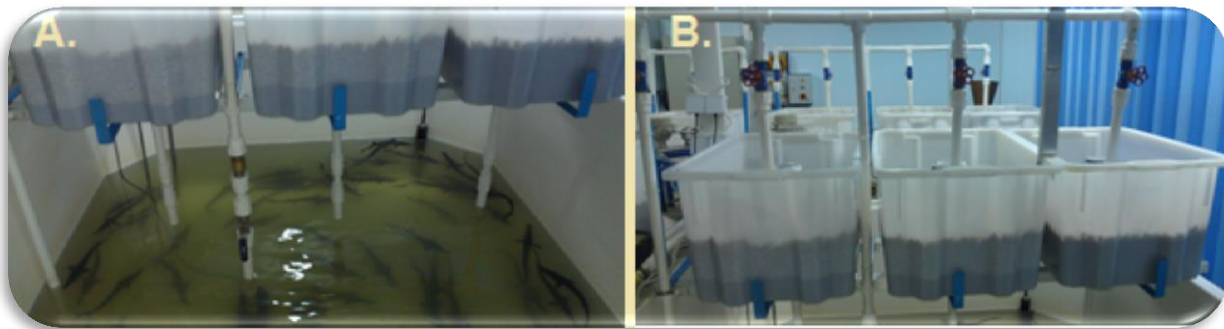


Fig. 2.14. Instalația de alimentare a unui grup de unități acvaponice, parte componentă a modulului acvaponic. A. Conducta de refulare a pompei submersibile; B. Conducele de alimentare a unităților acvaponice și conducta de echilibrare a debitelor. (foto original)

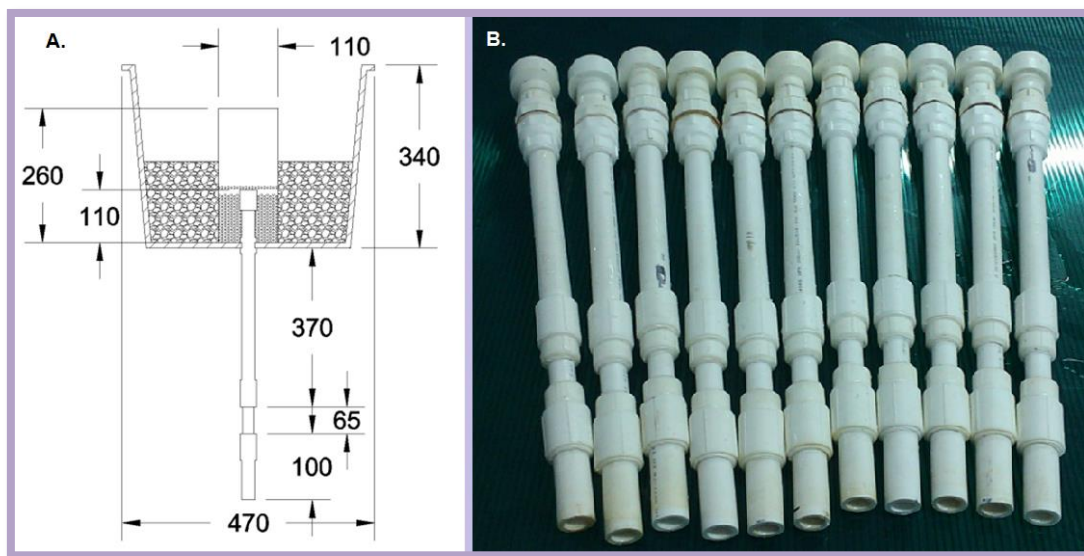


Fig. 2.15. Sistemul de evacuare a unităților acvaponice: A. Secțiune transversală a sistemului de evacuare; B. Conducta de evacuare. (schemă și foto originale)

În vederea realizării regimului hidraulic intermitent, o lărgire de secțiune (de la 25mm la 32 mm) este aplicată asupra părții superioare a conductei, urmată de o îngustare a secțiunii (de la 25 mm la 20mm) aplicată părții inferioare a conductei, la o distanță de 370 mm. (fig. 2.15.)

Această caracteristică constructivă determină accentuarea efectului de sorbție în timpul procesului de evacuare. Partea interioară a conductei de evacuare a fost încadrată de o conductă din polipropilenă cu diametrul de 110mm (fig. 2.16 A), prevăzută cu multiple orificii (2mm în diametru) în partea inferioară (fig. 2.16 B). Aceasta are rolul de a separa partea superioară a conductei de evacuare de substratul de creștere folosit (în prezentul caz, substrat LECA). De asemenea, un alt rol al conductei de separare (fig. 2.16 B) este acela de a facilita evacuarea masei de apă din zona inferioară a unității acvaponice, în detrimentul celei prezente în zona superioară, fapt ce determină un anumit echilibru nutrițional la nivelul unității acvaponice.

O altă componentă importantă a sistemului de evacuare în regim intermitent este legată de prezența dispozitivului tip sifon „siphon bell” (fig. 2.16 C.). Caracteristicile funcționale ale acestui dispozitiv sunt prezentate în subcapitolul 1.2.3. al prezentei lucrări. Acest dispozitiv este alcătuit dintr-o conductă din polipropilenă, închisă etanș prin aplicarea unui capac în partea superioară. În partea inferioară a dispozitivului sunt prevăzute trei fante, înalte de 50 mm și cu o rază de 25mm (fig. 2.16 C). Astfel, în momentul scăderii nivelului apei tehnologice sub cel al

fantelor, aerul pătrunde în interiorul instalației și determină oprirea procesului de evacuare pînă în momentul în care nivelul apei din unitatea acvaponică depășește nivelul părții superioare a conductei de evacuare.

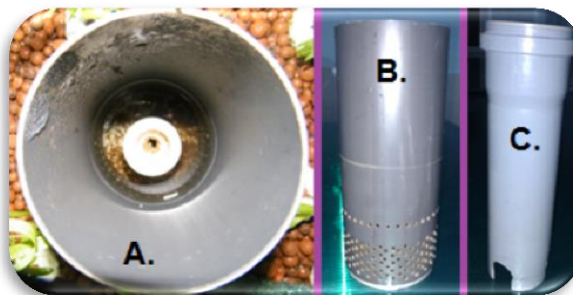


Fig. 2.16. Componentele sistemului de evacuare în regim intermitent de submersie:
A. Poziționarea conductei de separare; B. Conducta de separare - vedere din profil;
C. Dispozitivul tip sifon - vedere din profil. (foto originale)

În cadrul prezentului sistem recirculant integrat se folosește hidroton (LECA) drept substrat de creștere. Ca atare, fiecare unitate acvaponică, din cele 12 existente, are în cadrul acesteia un volum de hidroton de 0,0312 m³. Nivelul hidrotonului este poziționat cu 20 mm peste cel al conductei interioare de evacuare. Ca atare, exceptând zona de alimentare cu apă tehnologică, suprafața exterioară a substratului de cultură este uscată (fig. 2.17), fapt benefic în vederea realizării unei mai bune aerări a zonei incipiente a rădăcinii plantelor și de asemenea, pentru asigurarea unui grad mai mare de stabilitate pentru biomasa vegetală.



Fig. 2.17. Volumul de hidroton (LECA) din cadrul unui grup de unități acvaponice – vedere de sus. (foto. original)

Instalația de iluminat a sistemului recirculant integrat constă într-un număr de 4 lămpi metal - halide (MH) de 500W fiecare, tip MAX – LUMENS, pentru vegetație. Acestea sunt poziționate la o distanță de 870 mm față de unitățile de creștere (fig. 2.13 B), astfel încât căldura emanată pe durata funcționării să nu afecteze procesul de creștere și dezvoltare a biomasei vegetale.

Fiecare lampă este dotată cu reflector special tip ADJUST - A - WINGS ENFORCER, de formă parabolică și cu o capacitate de reflexie de 90% (fig. 2.18). De asemenea, a fost folosit un sistem de disipare a luminii, ce constă în poziționarea unei site metalice (orificii cu diametrul de 10 mm) în plan orizontal, sub lampa MH (fig. 2.18).



Fig. 2.18. Sistemul de iluminat: 4 lămpi metal - halide (MH) pentru vegetație, tip MAX – LUMENS. (foto. original)

Fiecărui grup de unități acvaponice (3 unități) îi corespunde câte o lampă metal - halide (Fig. 2.19 A). Pentru protejarea materialului piscicol de intensitatea luminoasă ridicată, generată de sistemul de iluminat folosit, unitățile acvaponice au fost acoperite în proporție de 80%, în mod echilibrat, cu placă de polycarbonat îmbrăcată în folie mată, opacă, de culoare neagră (fig. 2.19 B).

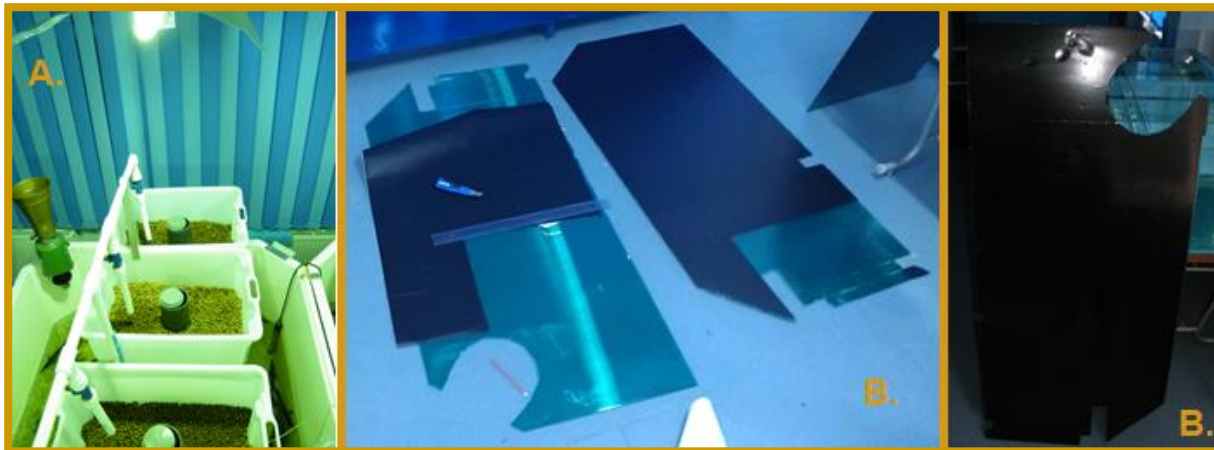


Fig. 2.19. A. Amplasamentul sursei de iluminat față de un grup de unități acvaponice;
B. Confecționarea capacelor opace de protecție a biomasei piscicole,
împotriva valorilor ridicate ale intensității luminoase. (foto. original)

În ceea ce privește legăturile la nivelul circuitului electric, trebuie precizat faptul că cele patru pompe submersibile descrise anterior sunt legate individual, în timp ce lămpile MH sunt legate în serie, într-un circuit electric comun. Funcționarea lămpilor MH a necesitat existența a câte unui balast de 500W tip GIB Lighting Pro - V – T, pentru fiecare dintre acestea.

Astfel, s-a confecționat o carcasă cu două nivele, din schelet metalic acoperit cu placă de polycarbonat din motive de protecție, unde s-au instalat dispozitivele balast în cadrul nivelului inferior și legăturile împreună cu prizele electrice la nivelul superior (fig.2.20).

Trebuie menționat faptul că nivelul inferior al carcasei nu a fost acoperit în partea din spate cu polycarbonat, asigurând astfel o ventilație mai eficientă a acesteia.

Primul nivel al carcasei a început de la o distanță de 400 mm față de nivelul terenului din motive de securitate a muncii, cu scopul de a proteja instalația electrică de eventualele avarii ale sistemului ce pot genera inundarea încăperii (fig. 2.20 A).

O priză cu timer, având capacitatea de memorie de 16 programe separate, a fost folosită în cazul funcționării instalației electrice, cu scopul menținerii regimului de fotoperiodicitate propus a fi aplicat pe durata experimentărilor.



Fig. 2.20. Carcasa circuitelor electrice: A. vedere laterală; B. Vedere de sus. (foto original)

În finalul acestui subcapitol trebuie menționat faptul că design-ului celor două module acvaponice descrise anterior este rezultatul unei lungi perioade de cercetări teoretice și practice, de-a lungul căreia o serie de machete au fost proiectate și testate cu scopul armonizării parametrilor tehnici în direcția cerințelor tehnologice necesare experimentărilor ce urmează a fi prezentate în detaliu, în cadrul următoarelor capitole ale prezentei lucrări.

2.2. MATERIALUL BIOLOGIC

În cadrul experimentelor ce urmează a fi prezentate în următoarele capitole ale prezentei lucrări s-a folosit atât material biologic piscicol, cât și material biologic vegetal. Trebuie precizat faptul că, înainte de începerea fiecărui studiu experimental s-a realizat o selecție atentă a materialului biologic avut la dispoziție, înlăturând eventualele exemplare ce prezintă deficiențe sau trăsături aparte față de cele ale grupului.

Astfel, un prim pas în organizarea experimentului a fost reprezentat de operațiunile de sortarea și gradarea biomasei piscicole disponibile. Pentru realizarea acestei operațiuni trebuie cunoscute datele legate de biomasa și biometria fiecărui individ din cadrul lotului. În urma rezultatelor obținute, se stabilește un ecart optim căruia trebuie să îi corespundă fiecare individ, în vederea includerii acestuia în cadrul biomasei piscicole experimentale.

Pentru experimentele în cauză s-au folosit două specii de pești:

- ✦ Păstrăv curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*) – fig.2.21 A.
- ✦ Păstrugă (*Acipenser stellatus*) – fig. 2.21 B.

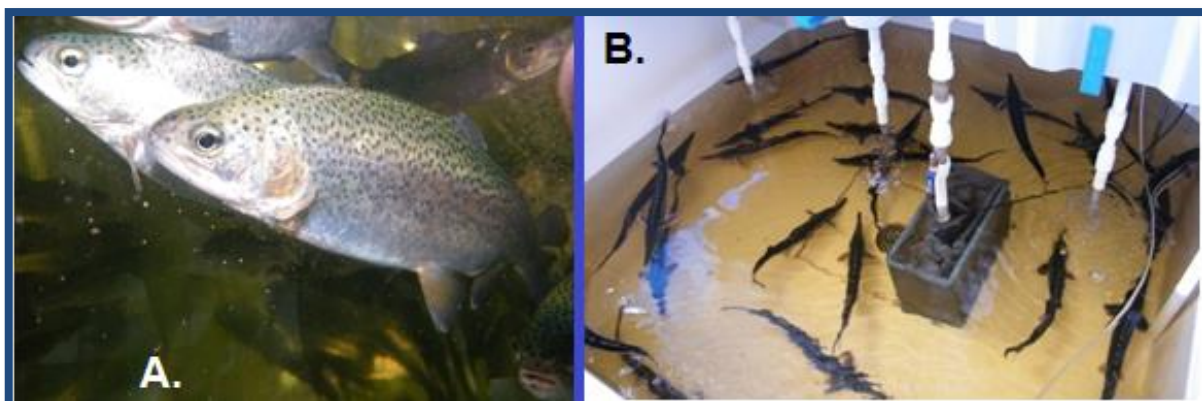


Fig. 2.21. Biomasa experimentală de: A. păstrăv curcubeu; B. păstrugă (foto original)

Păstrăvul curcubeu este o specie de pește rezistentă la diverse variații ale factorilor tehnologici, cu o temperatură de creștere situată în ecartul 12 - 21°C și o concentrație recomandată de oxigen dizolvat cuprinsă între 6 - 9 mg/L. În ceea ce privește concentrația maximă de amoniu, literatura de specialitate indică un prag maxim de 0,3 mg/L [201, 202], o valoare superioară celei menționate determinând scăderi ale ratei de creștere și chiar leziuni branhiale [203]. Concentrații de nitrați de 180 mg/L sunt semnalate drept nocive speciei de păstrăv curcubeu [204].

Asemănător majorității speciilor de sturioni, păstruga înregistrează o rată de creștere optimă la valori ale temperaturii apei în jur de 20 °C, tolerând însă un ecart termic mai larg 16-26 °C [200]. Intervalul de toleranță a concentrației de oxigen dizolvat din apa tehnologică este cuprins între 6–14mg/L, cu o valoare optimă de 8mg/L [200]. Păstruga poate tolera concentrații de amoniu din apă de până la 2mg/L și concentrația de nitrați recomandată a nu fi depășită este de 30mg/L [200].

Materialul biologic vegetal, folosit în studiile experimentale ce urmează a fi prezentate în cadrul acestei lucrări, a fost obținut cu aportul substanțial al *Complexului Muzeal de Științele Naturii, Galați*. Pentru obținerea răsadurilor necesare, s-au achiziționat:

- semințe de busuioc verde (*Ocimum basilicum*) comercializate de KIEPENKERL.
- semințe de spanac (*Spinacia oleracea*) comercializate de AGROSEL.
- semințe de mentă (*Mentha piperita*) comercializate de AGROSEL.
- semințe de tarhon (*Artemisia dracunculus*) comercializate de AGROSEL.

Semințele au fost plantate în sol, beneficiind de condiții mediale controlate pe toată durata obținerii răsadurilor (fig. 2.22 și fig. 2.23). Astfel, răsadurile obținute au fost transplantate în cadrul unuia din cele două sistemele integrate acvaponice existente, după caz (fig. 2.22). În momentul transplantării, condițiile mediale în cadrul sistemelor recirculante integrate au fost optime. Date legate de biomasa, biometria și starea aparentă de dezvoltare a fiecărei plante au fost obținute, cu scopul de a realiza o selecție riguroasă a materialului biologic vegetal, urmărind astfel alcătuirea unui lot experimental omogen. În cadrul procesului de transplantare, rizosfera plantelor a fost extrasă cu grijă din sol, pentru a evita o eventuală degradare a rădăcinii. Solul de la suprafața rădăcinii a fost înlăturat sub jet de apă. Plantele au fost poziționate pe hidrotan sau folie de polistiren, fiind de asemenea, numerotate pentru monitorizarea mai facilă a acestora pe parcursul perioadei experimentale.

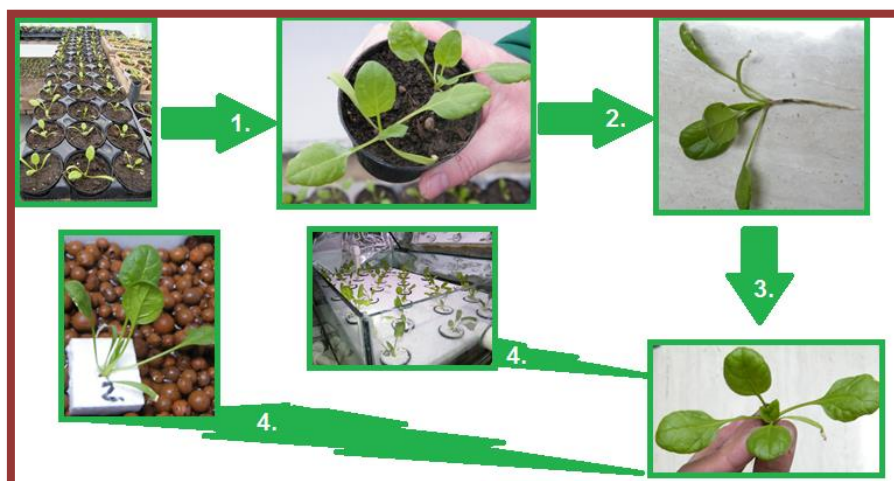


Fig. 2.22. Obținerea răsadurilor de spanac (etapa 1, 2) și transplantarea acestora în cadrul celor două sisteme recirculante integrate (etapa 3, 4). (foto original)

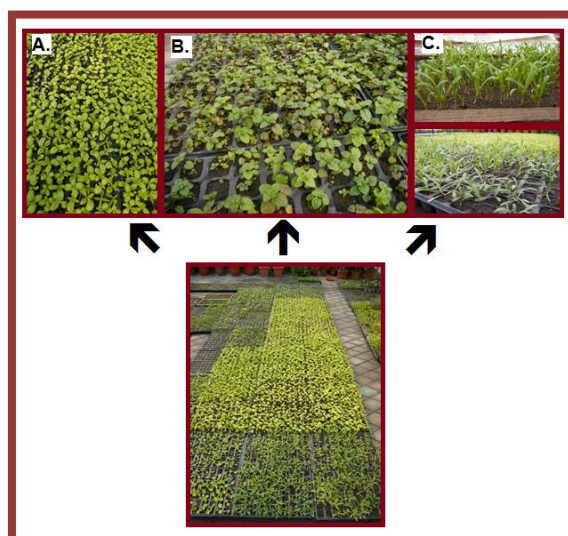


Fig.2.23. Obținerea răsadurilor de: A. busuioc verde; B. mentă; C. tarhon. (foto original)

În urma obținerii materialului biologic descris anterior, următoarele combinații de specii de pești - plante au fost experimentate:

- ✗ Păstrăv curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*) - Spanac (*Spinacia oleracea*);
- ✗ Păstrugă (*Acipenser stellatus*) - Spanac (*Spinacia oleracea*);
- ✗ Păstrugă (*Acipenser stellatus*) - Busuioc verde (*Ocimum basilicum*);
- ✗ Păstrugă (*Acipenser stellatus*) - Mentă (*Mentha piperita*);
- ✗ Păstrugă (*Acipenser stellatus*) - Tarhon (*Artemisia dracunculus*).

2.3. METODE DE LUCRU ȘI APARATURĂ PENTRU DETERMINAREA PARAMETRILOR FIZICO – CHIMICI AI APEI TEHNOLOGICE

În scopul caracterizării calității apei tehnologice din cadrul sistemelor recirculante integrate, descrise în subcapitolele anterioare, o monitorizare exigentă a parametrilor fizico-chimici este necesară a fi realizată.

Dinamica parametrilor de calitate ai apei tehnologice de-a lungul perioadei experimentale relevă atât gradul de fito-remediere al biomasei vegetale, cât și eventualele probleme legate de retenția nutrițională a diversilor macro și micronutrienți.

În scopul monitorizării parametrilor chimici de calitate ai apei tehnologice au fost folosite kit-uri Merck (fig. 2.24 A și tabelul 2.1), compatibile pentru citire la spectofotometrul Spectroquant Nova 400 (fig. 2.24 B).



Fig. 2.24. A. Kit-uri compatibile Merck;
B. Spectofotometrul Spectroquant Nova 400
(foto original)

Tabel. 2.1. Metode folosite pentru monitorizarea parametrilor chimici de calitate ai apei tehnologice

Nr. crt.	Parametrul de calitate a apei tehnologice	Metoda de determinare: metodă colorimetrică cu kit tip MERCK spectroquant
1.	Azot amoniacal ($N - NH_4^+$)	RT 1.14752.0001
2.	Nitriți ($N - NO_2^-$)	RT 1.14776.0001
3.	Nitrați ($N - NO_3^-$)	KT 1.00614.0001
4.	Peroxid de fosfor (P_2O_5)	RT 1.14848.0001
5.	Fier (Fe^{3+})	RT 1.00796.0001
6.	Duritatea totală	KT 1.00961.0001
7.	Calciu (Ca^{2+})	RT 1.14815.0001
8.	Magneziu (Mg^{2+})	KT 1.00815.0001
9.	Alcalinitatea	KT 1.00961.0001
10.	Mangan (Mn^{2+})	RT 1.14770.0001
11.	Potasiu (K^+)	KT 1.14562.0001
12.	Clor (Cl^-)	RT 1.00088.0001
13.	Consumul chimic de oxigen (COD)	KT 1.14895.0001
14.	Carbonul organic total (TOC)	KT 1.14878.0001

Pentru determinarea consumului chimic de oxigen (COD) și a carbonului organic total (TOC), s-a respectat protocolul de lucru prevăzut de kit-urile Merck menționate ca fiind folosite (tabelul 2.1), fapt ce implică și utilizarea termoreactorului de digestie chimică cu bloc dublu, marca WTW, model CR4200 (fig. 2.25).



Fig.2.25. Termoreactor de digestie chimică cu bloc dublu, marca WTW, model CR4200 (foto original)



Fig. 2.26. Analizor BOD5 marca VELP IP54 (foto original)

Pentru determinarea necesarului biologic de oxigen (BOD5) s-a utilizat un analizor marca VELP IP54 compus dintr-o unitate de agitare, senzori BOD, suporti pentru absorbția dioxidului de carbon, sticlute speciale pentru BOD și agitatoare magnetice (fig. 2.26). Analizorul a fost folosit împreună cu un incubator cu răcire marca VELP FTC 90I, de capacitate mică, echipat cu regulator de temperatură auto-tuning.

Concentrația de oxigen dizolvat și temperatura apei tehnologice a fost determinată prin utilizarea unui oxigenometru portabil marca WTW ProfiLine Oxi 3410 (fig. 2.27 A). Determinarea pH-ului și electroconductivității apei tehnologice (EC) a fost realizată folosind un set de determinare multi-parametrică marca WTW, model infoLab Multi 720 SET (fig. 2.27 B).

Turbidometrul TB1, marca VELP, a fost folosit pentru multiplele analize de determinare a turbidității (fig. 2.27 C).

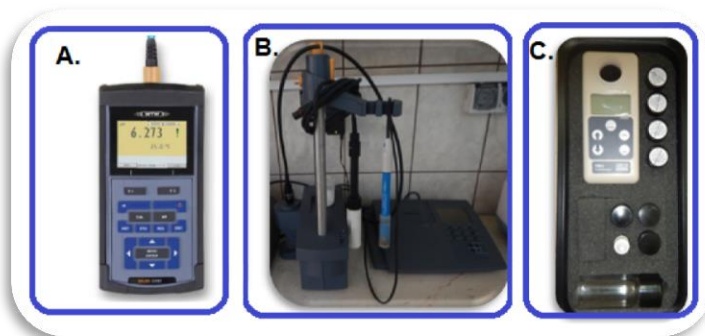


Fig. 2.27. A. Oxigenometru portabil marca WTW ProfiLine Oxi 3410;

B. Set de determinare multi-parametrică marca WTW, model infoLab Multi 720 SET;

C. Turbidometrul marca VELP, TB1. (foto. original)



Fig. 2.28. Etuva tip Sterilizator ESAC 50 (foto original)

Determinarea conținutului de materii în suspensie din masa apei tehnologice s-a realizat conform SR EN 872-09 [205], utilizând metoda gravimetrică bazată pe separarea materiilor în

suspensie prin filtrare, urmată de uscare la 105 °C și cântărirea reziduului adus la masă constantă. Pentru etapa de uscare s-a folosit etuva tip Sterilizator ESAC 50 (fig. 2.28).

2.4. METODE PRIVIND EVALUAREA INDICATORILOR DE PERFORMANȚĂ TEHNOLOGICĂ A MATERIALULUI BIOLOGIC VEGETAL ȘI PISCICOL

➤ Indicatorii de performanță tehnologică a materialului biologic piscicol

Folosind datele rezultate în urma proceselor de cântărire și măsurare efectuate la începutul perioadei experimentale, în momentul intermediar și de asemenea, la finalul perioadei experimentale, s-au calculat următorii parametri: sporul de creștere [W], ritmul zilnic de creștere [GR], rata specifică de creștere [SGR], factorul de conversie al hranei [FCR], factorul de conversie al proteinei [PER], factorul alometric de condiție și coeficientul de variație (Cv).

Următoarele formule de calcul au fost folosite:

- ⊗ **Sporul de creștere [W]** se calculează ca diferență între biomasa finală și biomasa inițială.

$$[W_p] = (B_{f_p}) - (B_{i_p}) \quad [g] \quad (12)$$

unde,

B_{f_p} - Biomasa piscicolă finală (g);

B_{i_p} - Biomasa piscicolă inițială (g).

- ⊗ **Ritmul zilnic de creștere [GR]** – se determină prin raportarea diferenței dintre biomasa finală (B_f) și biomasa inițială (B_i) la timpul de creștere (t) exprimat în număr de zile.

$$[GR] = (B_{f_p} - B_{i_p})/t \quad [g/zi] \quad (13)$$

unde, **t** – număr de zile.

- ⊗ **Factorul de conversie al hranei [FCR]** – se calculează prin raportarea cantității de furaje distribuite la sporul de creștere al peștelui.

$$[FCR] = F/W \quad [g \text{ furaj}/g \text{ spor biomasă}] \quad (14)$$

unde,

F – cantitate de furaje administrate;

W – sporul de creștere.

- ⊗ **Rata specifică de creștere [SGR]** – se determină conform relației:

$$[SGR] = 100 \times (\ln B_{f_p} - \ln B_{i_p})/t \quad [\%/zi] \quad (15)$$

- ⊗ **Rata relativă de creștere [RGR_p]** – se determină raportând ritmul zilnic de creștere la valoarea biomasei inițiale

$$[RGR_p] = GR/B_{i_p} \quad [g/g/zi] \quad (16)$$

- ⊗ **Factorul de conversie al proteinei [PER]** – se calculează cu ajutorul relației:

$$[PER] = W/F \cdot P_b \quad [g/g] \quad (17)$$

unde,

W - sporul de creștere (g);

F – cantitatea de furaj consumată de pești (g);

P_b - proteina brută a furajului (%).

- ☉ Pentru determinarea **corelației dintre masa corporală și lungime totală**, am folosit regresia liniară simplă.

$$M = a * L^b \quad (18)$$

unde,

M – masa corporală individuală (g)

a – indice de corelație

b - puterea lui L

L – lungimea totală (cm)

❖ **Valoarea lui b** exprimă caracterul creșterii, astfel [198]:

- ✓ **b=3** => creșterea este izometrică
(creșterea în masă este direct proporțională cu creșterea în lungime);
- ✓ **b<3** => creșterea este alometrică
(creșterea în masă este mai rapidă decât creșterea în lungime);
- ✓ **b>3** => creșterea este alometrică (creșterea în lungime e mai rapidă decât creșterea în masă).

- ☉ **Coeficientul de variație a masei/lungimii corporale** [206]:

$$C_{VM/L} = (\text{Dev. St.} / \text{Avg}_{m/L}) \times 100 \quad [\%] \quad (19)$$

unde,

Dev. St – deviația standard a valorilor masei/lungimii corporale individuale din cadrul grupului.

Avg_{m/L} – masa/lungimea corporală medie la un moment dat.

➤ **Indicatorii de performanță tehnologică a materialului biologic vegetal**

Pentru identificarea unei evoluții în ceea ce privește procesul de creștere a biomasei vegetale, o serie de măsurători biometrice au fost făcute de-a lungul perioadelor experimentale. S-au urmărit în egală măsură evoluția indicatorilor de creștere a suprafeței foliare, cât și cea a indicatorilor corelați cu gradul de dezvoltare a rădăcinii și tulpunii. Biomasa inițială a materialului biologic vegetal, precum și cea finală, au fost determinate. Pentru a nu perturba bunăstarea plantelor și ca atare, procesul de creștere al acestora, determinările intermediare de biomasă nu au fost realizate.

Astfel, următoarele formule de calcul au fost folosite [207]:

- **Sporul de creștere [Wp]** se calculează ca diferență între biomasa finală și biomasa inițială.

$$[W_{veg}] = (Bf_{veg}) - (Bi_{veg}) \quad [g] \quad (20)$$

unde,

Bf_{veg} - Biomasa finală (g);

Bi_{veg} - Biomasa inițială (g).

- **Indicele suprafeței foliare [LAI]** se calculează raportând suprafața foliară totală la suprafața unității acvaponice.

$$[LAI] = \frac{L}{P} \quad [m^2/m^2] \quad (21)$$

unde,

L - suprafața foliară totală (m²);

P - suprafața unității acvaponice (m²).

● **Rata relativă de creștere [RGR]**

$$[RGR] = \frac{1}{\frac{DWi_{veg} + DWf_{veg}}{2}} * \frac{DWf_{veg} - DWi_{veg}}{t} \quad [g/g/zi] \quad (22)$$

unde,

DWi_{veg} - masa inițială (substanță uscată) (g);

DWf_{veg} - masa finală (substanță uscată) (g);

t – număr de zile.

● **Rata netă de asimilare [NAR]**

$$[NAR] = \frac{1}{\frac{L1+L2}{2}} * \frac{DWf_{veg} - DWi_{veg}}{t} \quad [g/m^2/zi] \quad (23)$$

unde,

$L1$ - suprafața foliară în momentul 1 (inițial) (m^2);

$L2$ - suprafața foliară în momentul 2 (final) (m^2).

● **Rata de creștere a biomasei vegetale [CGR]**

$$[CGR] = \frac{1}{P} * \frac{DWf_{veg} - DWi_{veg}}{t} \quad [g/m^2/zi] \quad (24)$$

● **Ponderea medie a suprafeței foliare [Avg.LAR]**

$$[Avg.LAR] = \frac{1}{2} * \left(\frac{L1}{DWi_{veg}} + \frac{L2}{DWf_{veg}} \right) \quad [cm^2/g] \quad (25)$$

2.5. METODE DE LUCRU ȘI ECHIPAMENTE UTILIZATE PENTRU DETERMINAREA COMPOZIȚIEI BIOCHIMICE ȘI CHIMICE A CĂRNII DE PEȘTE, FRUNZELOR ȘI RĂDĂCINILOR PLANTELOR ȘI A REZIDUURILOR FECAL

2.5.1. Determinarea concentrației de proteine și lipide

✚ **Determinarea substanțelor proteice totale** s-a realizat prin metoda Kjeldahl, conform STAS 9064/4-81. Substanțele organice se mineralizează la temperaturi înalte, cu acid sulfuric concentrat, în prezența unui catalizator compus din sulfat de cupru și sulfat de potasiu.

Amoniacul eliberat este distilat în aparatul Parnas – Wagner (fig. 2.29), urmând să fie captat într-un volum cunoscut de soluție de acid sulfuric, de o anumită concentrație.

Dozarea soluției se realizează prin titrarea cu hidroxid de sodiu, în prezența indicatorului de culoare roșu de metil. Conținutul de azot rezultat s-a convertit în echivalent proteină prin multiplicarea cu 6,25 (coeficientul caracteristic cărnii de pește).

Rezultatele obținute au fost folosite pentru calcularea următorilor indicatori:

✚ **Valoarea productivă a proteinei sau eficiența utilizării proteinelor [PUE]**

$$[PUE] = 100 \times (B_f * P_f - B_i * P_i) / F * P_B \quad [\%] \quad (26)$$

unde,

B_f - Biomasa finală (kg);

B_i - Biomasa inițială (kg);

P_f - proteina corporală finală (%);

P_i - proteina corporală inițială (%)

F - cantitatea de furaje ingerată (kg);

P_B - proteina brută a furajului (%)



Fig.2.29. Sistemul de digestie de tip C. Gerhardt (foto original)

✿ Sporul de proteine sau proteinele reținute [PR]:

$$[PR] = \text{masa ex. finală} * P_f - \text{masa ex. inițială} * P_i \quad (27)$$

unde,

P_f - proteina corporală finală (%);

P_i - proteina corporală inițială (%).

✚ **Solubilizarea și extracția lipidelor** s-a realizat folosind metoda Soxlet, conform STAS 9065/10-75, cu ajutorul unui echipament de extracție tip RAYPA (fig. 2.30).

Drept solvent organic pentru extracția grăsimilor, s-a întrebuițat eterul de petrol.

Formula de calcul folosită este:

$$\% \text{lipide} = \frac{P_f - P_i}{m_p} * 100 \quad (28)$$

unde,

P_f – masa finală a paharului cu produs, după extragerea lipidelor (g);

P_i – masa inițială a paharului cu produs, înaintea extragerii lipidelor (g);

m_p - masa de probă luată în lucru (g).



Fig. 2.30. Echipament de extracție al lipidelor tip Raypa (foto original)

Rezultatele obținute au fost folosite pentru calcularea sporului de lipide (lipidele reținute – [LR]) astfel:

$$[LR] = \text{masa ex. finală} * L_f - \text{masa ex. inițială} * L_i \quad (29)$$

unde,

L_f = lipidele corporale finale (%); L_i = lipidele corporale inițiale (%).

2.5.2. Determinarea concentrației de azot (TKN), calciu, entaoxid de fosfor (P_2O_5), nitriți (NO_2) și nitrați (NO_3)

✚ **Concentrația de azot (TKN)** din carnea de pește, frunzele și rădăcinile plantelor și de asemenea, din dejecții, a fost determinată prin metoda Kjeldahl, conform STAS 9064/4-81 (descrisă în cadrul 2.5.1.).

✚ **Concetrația de calciu** din carnea de pește, frunzele și rădăcinile plantelor și de asemenea, din dejecții, a fost determinată conform AOAC 975.03. Astfel, substanța organică (1g) este

calcinată timp de două ore la $500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ și extractul obținut este solubilizat cu HCl - 0,5N și neutralizat cu NaOH – 1N, până la reglarea pH-ului în ecartul 12 – 13upH (fig.2.31 A). În cele din urmă, metoda complexometrică este utilizată, folosindu-se drept indicator murexidul. Virajul de culoare are loc, prin trecerea de la culoarea roz la violet (fig. 2.31 B).

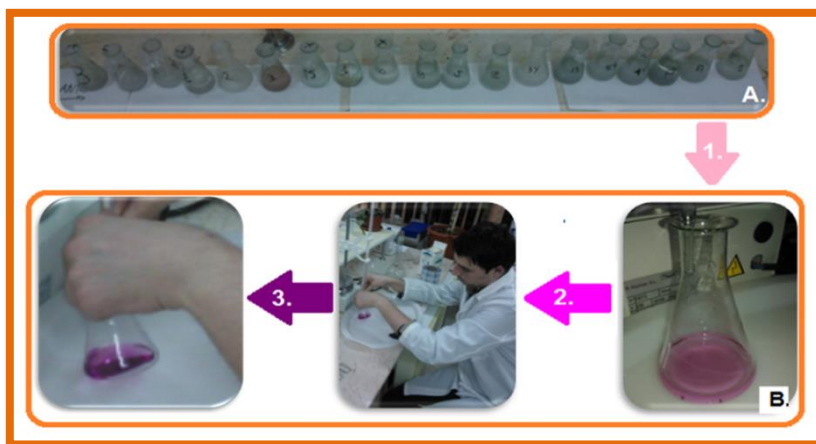


Fig. 2.31. Determinarea concentrației de calciu din probele supuse analizei:
A. etapa de solubilizare și neutralizare; B. etapa complexometrică, (foto. original)

✚ **Concentrația de peroxid de fosfor (P_2O_5)** din carnea de pește, frunzele și rădăcinile plantelor și de asemenea, din dejecții, a fost determinată conform SR ISO 2294 : 2009. Metoda are la bază reacția de culoare pe care o dă fosforul anorganic cu molibdatul de amoniu, complexul fosfo-molibdenic format fiind apoi redus în prezența amestecului hidrochinonă – sulfat de sodiu.

✚ **Concentrația de nitriți și nitrați** din carnea de pește, frunzele și rădăcinile plantelor a fost determinată conform STAS 9065 : 2002, folosind metoda cu reactiv Griess (fig. 2.32).

Astfel, principiul metodei constă în dozarea nitriților, prin măsurarea intensității compusului azoic format în urma reacției de diazotare dintre acidul sulfanilic și nitriții din extractul apos al probei și cuplarea ca alfa-naftilamină. La o nouă porțiune de extract apos se reduc nitrații la nitriți, cu cadmiu metalic și se determină conținutul de nitriți totali.

Calculul conținutului de nitriți din probă se face cu ajutorul unei curbe etalon. Conținutul de nitrați se calculează făcând diferența dintre conținutul de nitriți totali și conținutul de nitriți inițiali.



Fig. 2.32. Determinarea concentrației de nitriți și nitrați:
etapa de filtrare a extractului obținut. (foto original)

2.5.3. Determinarea umidității și a substanțelor minerale totale (cenușa)

✚ Pentru **determinarea umidității** s-a folosit metoda de uscare la etuvă reglată la temperatură de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, conform SR ISO 1442 : 2010. Drept echipament, s-a folosit o balanță analitică cu precizie de cântărire de 0,0001, un exicator cu capac gresat și substanță hidro-

absorbantă și o etuvă tip Sterilizator ESAC 50, menționată anterior, în secțiunea 2.3. a prezentei lucrări (fig. 2.28).

Relația de calcul folosită a fost:

$$\% \text{ Apă} = \frac{C_f - C_i}{m_p} * 100 \quad (30)$$

unde,

C_i = masa creuzetului cu probă înainte de uscare (g);

C_f = masa creuzetului cu probă, după uscare (g);

m_p = masa probei luată pentru determinare (g).

Trebuie menționat faptul că raportul dintre procentul de apă și cel de proteină (A/P) din țesutul muscular al peștelui a fost calculat, având drept scop caracterizarea valorii alimentare a acestuia.

Pentru **determinarea conținutului cărnii în substanțe extractive fără azot (SEN)**, din clasa cărora fac parte glicogenul, glucidele simple și fosforilate, acizii organici și inozitolul [208], s-a folosit următoarea formulă de calcul:

$$\% \text{ SEN} = \text{SU\%} - \text{Cenușă\%} - (\text{Grăsimi\%} + \text{Proteine\%}) \quad (31)$$

Pentru determinarea substanțelor minerale totale (cenușă), s-a folosit metoda de calcinare la $525 \pm 25^\circ\text{C}$ până la masă constantă, conform SR ISO 931 : 2009. Echipamentul folosit pentru această analiză a constat într-un cuptor de calcinare tip Nabertherm (fig. 2.33).



Fig. 2.33. Cuptor de calcinare tip Nabertherm (foto original)

Relația de calcul folosită a fost:

$$\% \text{ cenușă} = \frac{m_2 - m_1}{m_p} \times 100 \quad (32)$$

unde,

m_2 = masa creuzetului după calcinare (g);

m_1 = masa creuzetului gol (g);

m_p = masa de probă luată pentru analiză (g).

2.6. DETERMINAREA PIGMENȚILOR VERZI CLOROFILIEI ȘI A CELOR GALBENI CAROTENOIZI

Pentru o imagine cât mai clară asupra calității materialului biologic vegetal obținut în condiții acvaponice, determinarea pigmentilor clorofilieni s-a realizat utilizând două metode de determinare. Utilizarea celor două metode asigură exprimarea cantitativă a acestora, raportată atât la unitatea de suprafață foliară, cât și la masa foliară.

Astfel, **prima metodă de determinare a clorofilei și carotenoizilor** presupune mojararea cu nisip de cuarț a probelor foliare supuse analizei. În momentul formării unei paste, se adaugă carbonat de calciu și acetonă. Extractul obținut se filtrează prin creuzet filtrant în vacum. Citirea soluției obținute se face la trei lungimi de undă (663 nm, 644 nm, 440,5 nm) față de acetonă cu $d = 0,84$ (control), folosind Spectofotometrul SPECORD 210 Analytikjena, conectat la sistemul informatic (fig. 2.34).



Fig. 2.34 Spectofotometrul SPECORD 210 Analytikjena (foto. original)

Următoarele formule au fost folosite:

$$\text{Clorofila } a = \frac{(9,784 * E_{663} - 0,99 * E_{644})}{S * 100} * 25 \quad (\text{mg/dm}^2) \quad (33)$$

$$\text{Clorofila } b = \frac{(21,426 * E_{644} - 4,65 * E_{663})}{S * 100} * 25 \quad (\text{mg/dm}^2) \quad (34)$$

$$\text{Carotenoizii} = \frac{4,695 * E_{440,5} - 0,268 (\text{Clorofila } a + \text{Clorofila } b)}{S * 100} * 25 \quad (\text{mg/dm}^2) \quad (35)$$

unde, S – suprafața foliară luată în calcul (se recomandă în jur de 5 cm^2)

A doua metodă de determinare a clorofilei presupune mărunțirea materialului foliar, acoperirea acestuia cu alcool etilic și poziționarea în vederea procesului de fierbere în baie de apă tip Elma Elmasonic S10H până la decolorarea totală a fragmentelor vegetative (fig. 2.35).

Extractul obținut se aduce la semn cu alcool etilic și se citește, folosind Spectofotometrul SPECORD 210 Analytikjena (fig. 2.34), la următoarele lungimi de undă: 665 nm pentru clorofila a și 649 nm pentru clorofila b .



Fig. 2.35. Etapele procesului de determinare a clorofilei prin extracția cu alcool etilic. (foto original)

Următoarele formule au fost folosite:

$$\text{Clorofila } a = \frac{13,95 \cdot E_{665} - 6,88 \cdot E_{649}}{d \cdot 1000 \cdot W} * V * D \quad (\text{mg/g frunze proaspete}) \quad (36)$$

$$\text{Clorofila } b = \frac{24,96 \cdot E_{649} - 7,32 \cdot E_{665}}{d \cdot 1000 \cdot W} * V * D \quad (\text{mg/g frunze proaspete}) \quad (37)$$

unde,

d – grosimea cuvei (1cm);

W – masa inițială a materialului vegetal (g);

V – volumul total al extractului (ml);

D – coeficientul de diluție.

2.7. METODE DE PRELUCRARE STATISTICĂ A DATELOR

Analiza statistică a fost realizată cu ajutorul programelor IBM SPSS Statistics 20 pentru Windows și Microsoft Excel 2010.

Normalitatea distribuției a fost verificată cu ajutorul testului Kolmorov - Smirnov Z. Diferențele statistice între variabile au fost testate prin aplicarea testului T și a testului ANOVA. Testele post – hoc „Turkey’s – b” și „Duncan and Turkey’s – b” au fost aplicate pentru stabilirea subseturilor din cadrul uneia sau mai multor variabile.

Gradul de asociere dintre variabile a fost măsurat prin determinarea coeficientului de corelație liniară Pearson. În condițiile unei corelații semnificative, au fost aplicate modele de regresie liniară simplă sau multiplă, după caz. Proporția de variație a dependenței explicate în cadrul modelelor de regresie a fost exprimată cu ajutorul coeficientului de determinare R^2 .



CAPITOLUL III

**POTENȚIALUL DE FITOREMEDIERE ȘI
RANDAMENTUL PRODUCȚIEI CULTURII DE SPANAC
(*Spinacia oleracea*) ÎNTR-UN SISTEM RECIRCULANT
INTEGRAT, FOLOSIND TEHNICA DE CULTURĂ PE
SUPPORT FLOTABIL (DWC – deep water culture)**



3.1. IPOTEZA ASUMATĂ

În decursul ultimelor decenii o serie de eforturi au fost făcute, la nivel mondial, pentru limitarea impactului pe care activitatea industrială de acvacultură intensivă îl generează asupra mediului înconjurător. Studiile de specialitate [210] indică o rată de schimb a apei tehnologice în cadrul sistemelor intensive de producție cuprinsă între 5 – 10 %, având menirea principală de a împiedica acumulările de amoniac, precum și a altor compuși rezultați în urma activității metabolice a biomasei piscicole.

Sistemele recirculante de acvacultură sunt caracterizate, în principal, prin gradul de intensivitate al producției. Ca atare, menținerea calității apei în cadrul ecartului optim, corespunzător exigențelor tehnologice ale biomasei piscicole crescută în condiții intensive, presupune utilizarea diverselor echipamente de tratare fizică și biologică.

Principala problemă apărută la nivel global în calea expansiunii acestor sisteme de producție este reprezentată de costurile ridicate legate de investiția inițială [130] și de cheltuielile mari generate de managementul operațional. Integrarea sistemelor hidroponice în cadrul sistemelor recirculante este privită drept principală soluție pentru contracararea aspectelor menționate anterior. Sistemele acvaponice nou create pot beneficia astfel de un aport financiar important prin dublarea eficienței procesului de tratare a apei tehnologice [150, 211], precum și prin obținerea unei producții vegetale însemnate, în vederea comercializării pe nișelor de piață destinate produselor ecologice.

Dacă în condițiile unui sistem recirculant, principalul deziderat ce trebuie satisfăcut constă în asigurarea condițiilor mediale corespunzătoare particularităților eco-fiziologice ale speciei de cultură [11], pentru instaurarea unui echilibru tehnologic în cadrul sistemelor recirculante integrate trebuie luate în considerare aspecte legate de specia de plante cultivată, specia de pești crescută și condițiile mediale optime ale acestora.

Astfel, o serie de cercetări științifice legate de dimensionarea sistemelor recirculante integrate au fost întreprinse de-a lungul timpului, având drept subiecți experimentali diverse specii de pești (tilapia, somnul, păstrăvul etc.) și peste 30 specii de plante [151]. Din punct de vedere tehnic, aria cercetărilor a acoperit toate tehnicile acvaponice prezentate în cursul subcapitolului 1.2. al prezentei lucrări și anume: tehnica pe sistem flotabil (DWC) [74, 90, 91, 96, 97, 99, 100, 101, 125], tehnica filmului de nutrienți (NFT) [60, 74, 110, 112, 113, 125] și tehnica de cultură în substrat (regim de submersie permanent și intermitent) [116, 117, 119, 121, 122, 125, 149].

Dinamica nutrienților din cadrul sistemului recirculant integrat ocupă un loc central în cercetările științifice menționate anterior. O serie de variabile de ordin tehnic ce implică testarea celor două regimuri de submersie (permanent și intermitent) prin alternarea valorică a ratei hidraulice de încărcare și a timpului hidraulic de retenție [58, 126, 130, 133, 168, 169, 170] au fost realizate în scopul identificării unui randament de tratare a apei care să asigure condiții mediale optime pentru dezvoltarea biomasei piscicole, precum și a cele vegetale. Studiile legate de dimensionarea optimă a sistemelor recirculante integrate prin testarea diverselor rapoarte cantitative de tip biomasă vegetală : biomasă piscicolă au avut rezultate concludente și semnificative [78, 83].

În cadrul prezentului experiment, a fost folosită tehnica de cultură pe sistem flotabil (DWC), raportată drept cea mai utilizată tehnică acvaponică în vederea cultivării plantelor mai puțin voluminoase [212]. **Din cercetării bibliografice efectuate, combinația de specii plante – pești utilizată (spanac „*Spinacia oleracea*” – păstrăv curcubeu „*Oncorhynchus mykiss*”) nu a fost regăsită ca fiind testată până în prezent.**

Obiectivul principal al prezentului experiment constă în **identificarea capacității de fitoremediere a spanacului „*Spinacia oleracea*” în condițiile aplicării unui număr de trei densități**

de creștere (59 plante/m², 48 plante/m² și 39 plante/m²). De asemenea, în acest context, randamentul creșterii biomasei vegetale și compoziția chimică și calitativă a acestora au fost analizate.

Ca atare, în urma acestui studiu se urmărește identificarea densității optime de creștere a spanacului cultivat utilizând tehnica acvaponică DWC, ce corespunde simultan unei valori maxime a capacității de fitoremediere și a randamentului de creștere a biomasei vegetale, dar și unei compoziții chimice și calitative corespunzătoare normelor în vigoare, în vederea comercializării producției obținute.

3.2. DESIGN EXPERIMENTAL

Cercetările experimentale din prezentul capitol au avut loc pe durata a 44 de zile calendaristice și au fost desfășurate în cadrul sistemului recirculant integrat al Departamentului de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru – Facultatea de Știința și Ingineria Alimentelor – Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați. Descrierea detaliată a sistemului de producție a fost realizată în CAPITOLUL II, secțiunea 2.1.2. din prezenta lucrare.

Înainte de începerea experimentului, s-a inițiat operațiunea de formare a peliculei biologice la nivelul filtrului biologic tip trickling. Activarea biofiltrului s-a realizat prin adaos zilnic de clorură de amoniu (10 mg/L), conform [130, 211].

Materialul piscicol a fost reprezentat de un număr de 228 exemplare de păstrăv curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*) cu o biomasă medie inițială de 111,17±19,3g, descris în detaliu în CAPITOLUL II, secțiunea 2.2 din prezenta lucrare. Cele 228 exemplare au fost împărțite în 6 grupuri. S-au folosit două sortimente de furaje: *Clasic Extra 1P* (G1 -3 grupuri) și *Nutra Pro MP-T* (G2 -3 grupuri) tabelul 3.1. Distribuția furajelor a fost realizată conform protocolului descris de Hayward și colab. (1997) și reluat de Mocanu (2013) [212, 198].

Tabelul 3.1. Compoziția biochimică a furajelor *Clasic Extra 1P* și *Nutra Pro MP-T*

Clasic Extra 1P			Nutra Pro MP-T		
Proteină crudă	%	41	Proteină crudă	%	50
Lipide crude și uleiuri	%	12	Lipide crude și uleiuri	%	20
Celuloză crudă	%	3,0	Celuloză crudă	%	0,7
Cenușă crudă	%	6,5	Cenușă crudă	%	8
Fosfor	%	0,9	Sodiu	%	0,4
Vitamina A	UI	10000	Calciu	%	1,0
Vitamina D3	UI	1250	Fosfor	%	1,2
Vitamina E	mg	150	Vitamina A	UI/kg	6000
Vitamina C	mg	75	Vitamina D ₃	UI/kg	1200
Energie digestibilă	MJ/kg	14,2	Energie digestibilă	MJ/kg	19,7
Ingrediente: Cistină, lizină, metionină, făină de pește, ulei de pește, hemoglobină, ulei de soia, gluten de grâu, făină de floarea soarelui, grâu și produse din grâu, BHT.			Ingrediente: făină de pește, ulei de pește, gluten de porumb, gluten de grâu, făină de grâu, furaj din grâu, boabe de soia decorticate, prăjite și extrase de ulei, boabe de soia concentrate.		

O cantitate totală de furaj de 12 363,32g *Clasic Extra 1P* și 11 579,54g *Nutra Pro MP-T* a fost distribuită de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.1).

Materialul vegetal a fost reprezentat de un număr de 79 răsaduri de spanac, obținute în cadrul Complexului Muzeal de Științele Naturii - Galați, descris în detaliu în CAPITOLUL II, secțiunea 2.2 din prezenta lucrare. Răsadurile de spanac au fost împărțite în trei grupuri (grupul 1 – 32 răsaduri, grupul 2 – 26 răsaduri, grupul 3 - 21 răsaduri) și transplantate în cadrul unităților acvaponice existente. Astfel, s-au creat următoarele variante experimentale: BH1 (V1)

– 59 plante/m², BH2 (V2) – 48 plante/m², BH3 (V3) – 39 plante/m² și CONTROL (V4) – varianta MARTOR (FĂRĂ plante, doar cu sistem flotabil) (fig. 3.1).

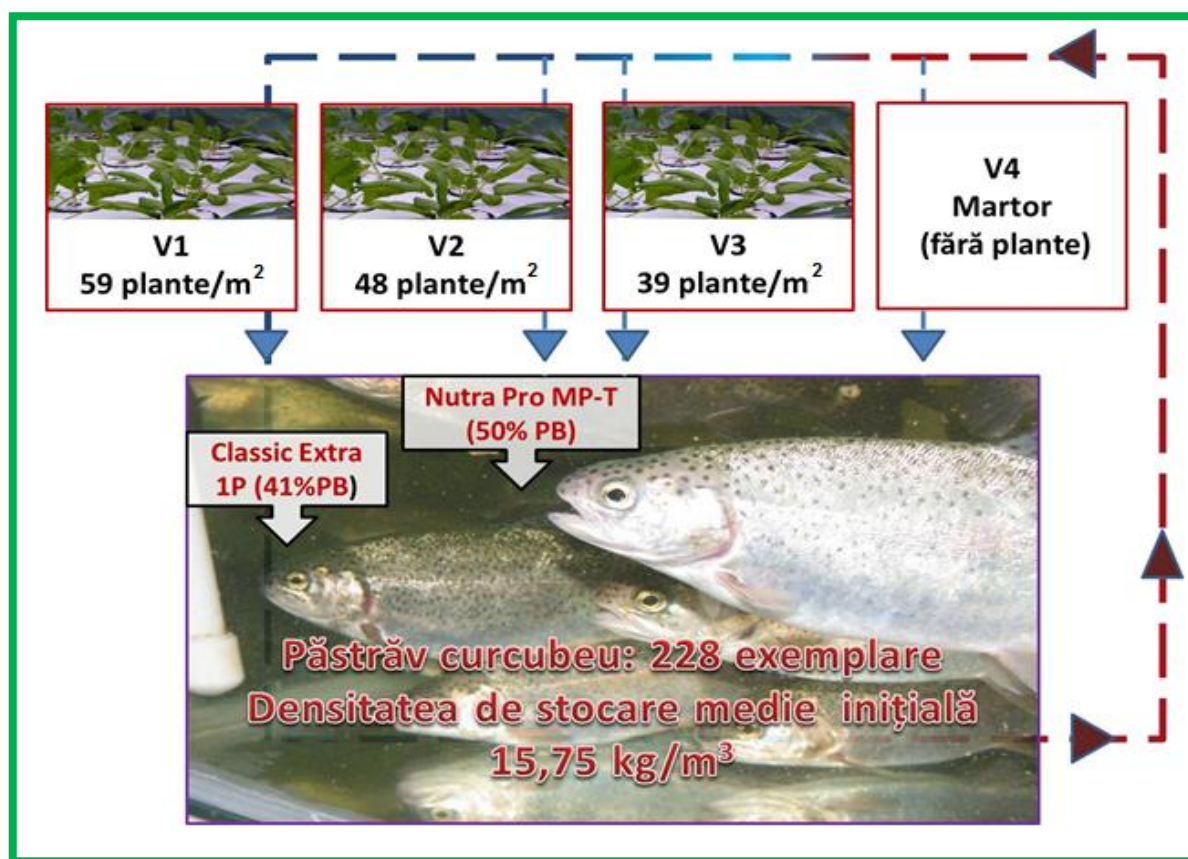


Fig. 3.1. Schema experimentală

Măsurarea parametrilor fizico-chimici au fost realizate de două ori pe săptămână, prin prelevarea de probe de apă dimineața, înaintea administrării hranei. Următorii parametri fizico-chimici ai apei tehnologice au fost monitorizați: azotul amoniacal ($N - NH_4^+$), nitriții ($N - NO_2^-$), nitrații ($N - NO_3^-$), peroxidul de fosfor (P_2O_5), fierul (Fe_3^+), duritatea totală, calciul (Ca_2^+), magneziul (Mg_2^+), alcalinitatea, manganul (Mn_2^+), potasiul (K^+), clorul (Cl^-), consumul chimic de oxigen (COD), carbonul organic total (TOC), necesarul biochimic de oxigen (BOD5), oxigenul dizolvat, temperatura, pH-ul, turbiditatea și materiile în suspensie (TSS). Metodele de analiză au fost descrise în CAPITOLUL II, secțiunea 2.3 al prezentei lucrări. Locurile de prelevare a probelor de apă au fost următoarele:

- ⊗ alimentarea filtrului mecanic;
- ⊗ alimentarea filtrului biologic;
- ⊗ alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic);
- ⊗ evacuarea fiecăreia din cele patru unități acvaponice.

În baza rezultatelor obținute din cadrul etapei de monitorizare a concentrației parametrilor chimici ai apei tehnologice, a fost determinată rata de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) și ratele de retenție pentru: nitrați ($N - NO_3^-$), peroxid de fosfor (P_2O_5), fier (Fe_3^+), calciu (Ca_2^+), magneziu (Mg_2^+), mangan (Mn_2^+) și potasiu (K^+), raportate la suprafața unităților acvaponice. A fost folosită următoarea ecuație [130, 211]:

$$\text{Nutrienți}_{\text{îndepărtați}} = \left[\frac{Q}{V} * (C_{\text{alim.}} - C_{\text{evac.}}) - \frac{\Delta C_{\text{zilnic}}}{\Delta t} \right] * h \quad (1.)$$

unde,

Q - debitul de alimentare a unităților acvaponice (m^3/zi);

V – volumul unității acvaponice (m^3);

$C_{alim.}$ – concentrația parametrului la alimentarea unității acvaponice (mg/m^3);

$C_{evac.}$ – concentrația parametrului la evacuarea unității acvaponice (mg/m^3);

ΔC_{zilnic} – diferența dintre măsurători, la un interval Δt de 12 ore (mg/m^3);

h – adâncimea unității acvaponice (m).

Măsurători biometrice amănunțite asupra materialului biologic vegetal au fost realizate atât la inițierea experimentului, cât și la finalul acestuia. Evoluția biometrică a înălțimii plantelor, precum și suprafața foliară a acestora au fost monitorizate aproape săptămânal, de-a lungul perioadei experimentale. Astfel, în baza ecuațiilor prezentate în CAPITOLUL II, secțiunea 2.4 ale prezentei lucrări, s-au determinat următorii indicatori ai randamentului creșterii biomasei vegetale: sporul de creștere [W_p], indicele suprafeței foliare [LAI], rata relativă de creștere [RGR], rata netă de asimilare [NAR], rata de creștere a biomasei vegetale [CGR] și ponderea medie a suprafeței foliare [$Avg.LAR$].

Probe de țesut muscular și țesut vegetal (frunze și rădăcină) au fost prelevate la inițierea experimentului și la finalul acestuia, de la un număr de 5 exemplare din cadrul fiecărei variante experimentale, cu scopul de a determina concentrațiile de: nitriți, nitrați, azot (TKN), peroxid de fosfor și calciu. De asemenea, în scopul unei aprecieri juste din punct de vedere calitativ, din probele de țesut vegetal foliar au fost determinate concentrațiile de pigmenți verzi clorofilieni și galbeni carotenoizi, precum și concentrația de substanță uscată și cea a substanțelor minerale totale.

3.3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

3.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului

În cadrul sistemelor recirculante integrate este esențială asigurarea unei concentrații optime a macroelementelor în cadrul apei tehnologice. Macroelementele sunt necesare creșterii și dezvoltării normale a biomasei vegetale, complexul NPK (azot : fosfor : potasiu) reprezentând baza nutrițională a oricărei specii de plante.

Azotul are rol în dezvoltarea plantei, absorbția acestuia generând dezvoltarea suprafețelor foliare. Absorbția fosforului și calciului asigură dezvoltarea rădăcinilor, în timp ce potasiul are rol de protecție a plantei și menține rata normală de dezvoltare în condiții neconforme, generate de factorii de mediu. Magneziul este indispensabil în vederea formării pigmentilor verzi clorofilieni, insuficiența acestuia generând apariția unor colorații galbene – portocalii pe marginea suprafeței foliare. Carențele de calciu determină răsucirea frunzelor nou formate, lipsa concentrațiilor optime de fosfor determină alungirea rădăcinilor, în detrimentul dezvoltării acestora în plan orizontal, iar concentrațiile de azot sub limitele minime admise determină îngălbenirea suprafeței foliare și stagnarea dezvoltării acesteia.

Pentru a putea corela procesele legate de evoluția concentrației de macronutrienți din cadrul apei tehnologice, parametrii de calitate ai apei precum temperatura, pH-ul și oxigenul dizolvat trebuie implicați în acest proces de interdependență.

Astfel, legat de **dinamica valorilor temperaturii** în cadrul sistemului recirculant integrat, pe durata perioadei experimentale, se observă o tendință descendentă în primele zile experimentale, urmată de o evoluție relativ constantă până la finalul experimentului (fig.3.2). Valorile medii ale temperaturii pe toată durata experimentală au fost de $17,53 \pm 1,62^\circ C$ - B1H;

17,52±1,64°C - B2H; 17,51±1,64°C - B3H și 17,51±1,66°C - varianta martor în cazul evacuării unităților acvaponice [214]. Temperatura medie a apei tehnologice, înregistrată la alimentarea unității de îndepărtare a solidelor a fost de 16,91±1,08°C, în timp ce valorile medii superioare s-au înregistrat în ultimele două puncte de prelevare și anume 17,53±0,97°C la alimentarea și respectiv 17,03±1,04°C la evacuarea unității de filtrare biologică [214].

Diferențele înregistrate între valorile consemnate la evacuarea unităților acvaponice (fig. 3.2) și cele aferente alimentării acestora (evacuarea unității biologice de filtrare) sunt rezultatul sistemului de iluminat folosit. O parte din căldura degajată de sistemul de iluminat e transferată la nivelul masei de apă din cadrul unităților acvaponice, determinând creșterea temperaturii acesteia. Este necesar a fi precizat faptul că, diferențele înregistrate între valoarea temperaturii la alimentarea modului acvaponic și consemnată la evacuare, nu sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p>0,05$). De asemenea, valorile temperaturii apei de-a lungul întregii perioade experimentale se încadrează în ecartul optim atât pentru creșterea păstrăvului curcubeu [213], cât și pentru cea a spanacului [215].

Valori ale temperaturii peste limitele admise favorizează creșterea toxicității contaminanților dizolvați și dezvoltarea agenților patogeni [211]. Concentrația de oxigen dizolvat este în relație de inversă proporționalitate cu temperatura apei tehnologice, interdependență ce se dovedește a fi esențială în procesul de activarea a bacteriilor nitrificatoare prezente atât pe substratul de filtrare al unității de tratare biologică [211], cât și pe suprafața rădăcinilor biomasei vegetale [216].

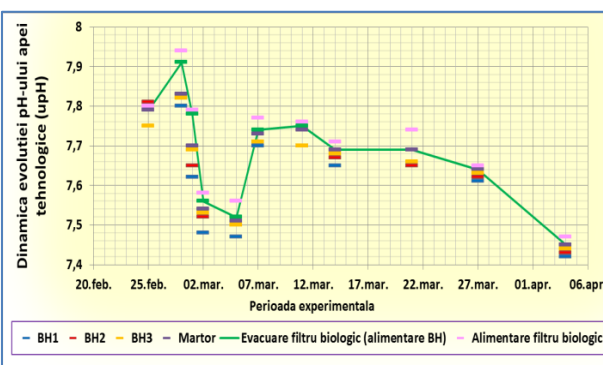
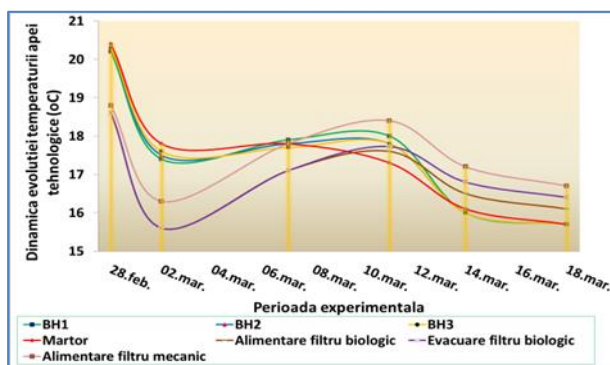


Fig. 3.2. Evoluția temperaturii apei tehnologice

Fig. 3.3. Evoluția pH-ului apei tehnologice

Evoluția pH-ului are o tendință descendentă, cu fluctuații în decursul primei săptămâni din cadrul perioadei experimentale (fig. 3.3). Astfel, la evacuarea unităților acvaponice s-au înregistrat următoarele valori medii ale pH-ului de-a lungul întregii perioade experimentale: 7,62±0,12upH - BH1; 7,64±0,12upH - BH2; 7,64±0,11upH - BH3 și 7,66±0,11upH în cadrul variantei martor [214]. Valoarea medie a pH-ului la alimentarea modului acvaponic a fost de 7,68±0,13upH, în timp ce valoarea de 7,70±0,13upH reprezintă media înregistrată în punctul de prelevare situat la alimentarea unității de filtrare biologică [214]. Diferențele nu au fost semnificative din punct de vedere statistic ($p>0,05$).

Tendința descrescătoare a pH-ului se justifică în baza procesului de acumulare a dioxidului de carbon rezultat din respirația biomasei piscicole, dar și a bacteriilor autotrofe sau chiar heterotrofe. Procesul de nitrificare, esențial în cadrul sistemelor integrate, consumă alcalinitatea. O bună funcționare a mecanismului nitrificator este drept condiție primară o valoare minimă a pH-ului de 6upH. Acidul carbonic rezultat din reacția dioxidului de carbon cu apa, contribuie la scădere pH-ului în cadrul sistemului [216]. Fluctuațiile din prima săptămână a perioadei experimentale sunt urmarea firească a consumului de dioxid de carbon de către biomasa vegetală recent transplantată în condițiile acvaponice de creștere.

În cadrul sistemelor recirculante, ecartul optim al valorilor pH-ului este cuprins între 6,5 - 8,5upH [74], în timp ce în cadrul sistemelor recirculante integrate, se recomandă valori între 6,4

– 6,8upH [175] sau 5,5 – 6upH conform altor autori [148]. Licamele (2009) experimentează combinația de specii tilapia : salată verde, în condițiile unui sistem acvaponic unde trei rații de biomasă pești:plante au fost aplicate și anume: 0,15; 0,35 și 0,43. În ceea ce privește pH-ul, acesta nu înregistrează diferențe semnificative din punct de vedere statistic între variantele de rații aplicate, consemnând valori de: 7,7upH; 7,4upH și respectiv 7,3upH [195]. Villarroel și colab. (2011) folosește sistemele acvaponice pentru creșterea combinației de specii tilapia : căpșuni, în condițiile aplicării a două densități de stocare a biomasei piscicole și anume: 2 kg/m³ și 5 kg/m³ [78]. Acesta obține diferențe semnificative statistic între valorile pH-ului, consemnând rezultate de 6,12upH și respectiv 7,17upH [78].

Concentrația de oxigen dizolvat (DO) a înregistrat o evoluție descendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.4). În cadrul prezentei cercetări, s-au înregistrat următoarele valori medii ale concentrației de DO la evacuarea unităților acvaponice: 6,97±2,62 mg/L – BH1; 7,22±2,38mg/L – BH2, 7,48±2,23mg/L – BH3 și 7,92±1,85 mg/L – varianta martor [214]. În dreptul alimentării modulului acvaponic (evacuarea unității de filtrare biologică) se înregistrează o valoare medie a DO de 8,03±1,78 mg/L [214].

Scăderea concentrației de DO spre finalul perioadei experimentale poate fi explicată prin mărirea numărului de competitori pentru consumului de DO din cadrul sistemului integrat.

Astfel, apariția bacteriilor heterotrofe, consumatoare de carbon organic, alături de cele autotrofe deja existente poate reprezenta o cauză generatoare a problemei menționate anterior.

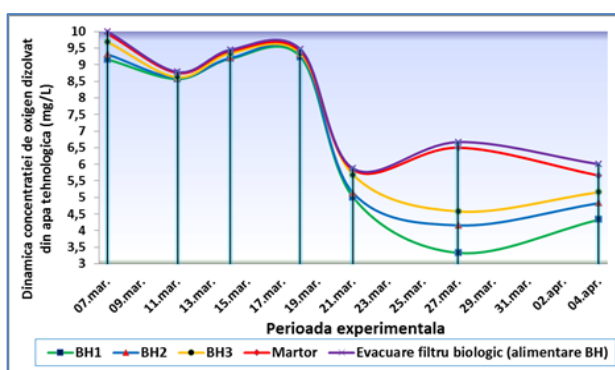


Fig. 3.4: Concentrația de oxigen dizolvat la nivelul unităților acvaponice

De asemenea, dezvoltarea comunităților de bacterii autotrofe la nivelul pereților unităților acvaponice și la nivelul rădăcinilor biomasei vegetale reprezintă un alt motiv justificativ în vederea evoluției descendente a concentrației de DO din cadrul sistemului integrat. Pentru a corespunde rigorilor tehnologice ale speciei de cultură, trebuie asigurate concentrații de DO mai mari de 5mg/L în cadrul sistemului de creștere, în timp ce o bună funcționare a procesului de nitrificare de la nivelul unității de filtrare biologică necesită concentrații de DO de peste 2mg/L.

Procesul de dezvoltare a comunităților de bacterii autotrofe la nivelul suprafeței rădăcinilor biomasei vegetale a generat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) dintre variantele experimentale BH1, BH2 și BH3, comparativ cu varianta martor. De asemenea, diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) din punct de vedere a concentrației de DO înregistrată la nivelul evacuării unităților acvaponice se consemnează și între variantele experimentale BH1 și BH3.

Azotul amoniacal ($N-NH_4$) reprezintă principalul produs final al descompunerii substanței organice reziduale de către bacteriile heterotrofe [216]. Este cunoscută preferința plantelor atât pentru azotați, cât și pentru amoniu [217]. Cu toate acestea, eficiența procesului de nitrificare este determinantă în asigurarea performanței de creștere corespunzătoare a biomasei vegetale și a celei piscicole. Studii anterioare [211] menționează un raport optim nitrați : amoniu de 3 : 1, o eventuală viceversă a acestui raport determinând stagnarea creșterii materialului biologic vegetal.

Evoluția concentrației de azot amoniacal a fost relativ constantă în prima jumătate a perioadei experimentale, lucrurile având să se schimbe în ultimele două săptămâni când s-a înregistrat o evoluție puternic ascendentă (fig. 3.5 și fig 3.6). Astfel, se poate observa o tendință

de acumulare a azotului amoniacal în cadrul sistemului integrat (fig. 3.6). Ultimele valori ale concentrației de N-NH_4 , înregistrate în cadrul variantelor cu plante (BH1, BH2 și BH3), arată o posibilă creștere a ratei de absorbție a biomasei vegetale pe termen lung.

Valorile medii ale concentrației de azot amoniacal din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $0,08 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ – BH1; $0,09 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ – BH2; $0,1 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ – BH3 și $0,13 \pm 0,07 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor [214]. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de N-NH_4 de $0,23 \text{ mg/L}$, în timp ce la alimentarea unității de filtrare biologică s-a înregistrat o medie a concentrației de azot amoniacal de $0,12 \text{ mg/L}$ [214]. În punctul de prelevare situat la nivelul alimentării unității de îndepărtare a solidelor, s-a consemnat o concentrație medie de N-NH_4 de $0,22 \text{ mg/L}$ [214].

Luând în considerare diferențele evidente din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), manifestate între variantele experimentale cu plante (BH1, BH2 și BH3) și varianta martor în ceea ce privește valorile concentrațiilor de N-NH_4 în punctele de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice (fig. 3.5), acumularea N-NH_4 spre sfârșitul perioadei experimentale poate fi pusă pe seama măririi cantității de furaj administrate, urmare directă a creșterii în biomasă a materialului piscicol.

Villarroel și colab. (2011), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind evoluția pH-ului) obține o valoare medie pentru N-NH_4 de $0,92 \text{ mg/L}$ [78]. Licamele (2009), menționat de asemenea anterior, obține valori ale N-NH_4 cuprinse în ecartul $0,04$ - $0,69 \text{ mg/L}$ [195], în timp ce Al-Hafedh și colab. (2008) obțin valori ale azotului amoniacal de $0,04$; $0,04$ și $0,03 \text{ mg/L}$ în condițiile aplicării a trei rapoarte diferite (169, 113 și 56) între cantitatea totală de furaj administrată în cadrul sistemului și suprafață acvaponică de creștere a plantelor, la o densitate constantă de creștere a biomasei vegetale de 42 plante/ m^2 [83]. Graber și Junge (2009) folosește combinațiile de specii pești – plante precum tilapia-vinete; roșii și castraveți – biban, consemnând concentrații de azot amoniacal cuprinse între $0,03$ – $0,88 \text{ mg/L}$, respectiv $0,06$ – $0,68 \text{ mg/L}$ [76].

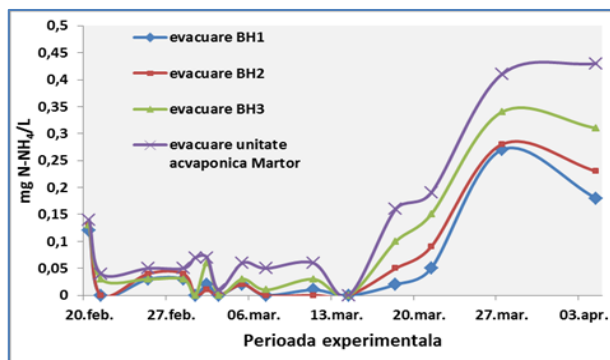


Fig. 3.5: Evoluția concentrației de N-NH_4 la nivelul unităților acvaponice

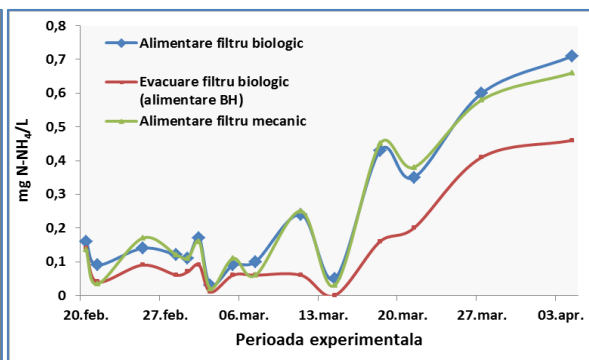


Fig. 3.6: Evoluția concentrației de N-NH_4 la nivelul unităților de filtrare

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic sunt consemnate de asemenea, între valorile concentrației de azot amoniacal înregistrate la alimentarea unității de filtrare biologică și cele consemnate la evacuarea acesteia ($p < 0,05$). Diferențele nesemnificative statistic ($p > 0,05$) dintre concentrația de N-NH_4 consemnată la alimentarea unității de îndepărtare a solidelor și cea înregistrată la alimentarea unității de filtrare biologică, sunt mai accentuate în cursul ultimei săptămâni din cadrul perioadei experimentale (fig. 3.6).

Acest fapt poate fi explicat prin acumularea de substanță organică pe tronsonul conductelor din cadrul sistemului sau chiar în interiorul unității de îndepărtare a solidelor și ca atare, dezvoltarea comunităților de bacterii heterotrofe.

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's -B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: evacuare BH1+BH2+BH3; alimentare modul acvaponic (evacuare unitate de filtrare biologică) + varianta experimentală martor; alimentare unitate de îndepărtare a solidelor + alimentare unitate de filtrare biologică [214].

Concentrația de nitriți ($N-NO_2$) înregistrează o evoluție constantă, cu fluctuații notabile doar în cadrul primei săptămâni a perioadei experimentale (fig.3.7 și fig. 3.8). Valorile medii ale concentrației de $N-NO_2$ din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $0,048 \pm 0,021 \text{ mg/L}$ – BH1; $0,053 \pm 0,015 \text{ mg/L}$ – BH2; $0,061 \pm 0,021 \text{ mg/L}$ – BH3 și $0,062 \pm 0,024 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor [214].

La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de $N-NO_2$ de $0,058 \pm 0,019 \text{ mg/L}$, în timp ce la alimentarea unității de filtrare biologică s-a înregistrat o medie a concentrației de nitriți de $0,073 \pm 0,019 \text{ mg/L}$ [214]. În punctul de prelevare situat la nivelul alimentării unității de îndepărtare a solidelor s-a consemnat o concentrație medie de $N-NO_2$ de $0,063 \pm 0,018 \text{ mg/L}$ [214]. Fluctuațiile consemnate în prima săptămână din cadrul perioadei experimentale (fig. 3.7 și fig. 3.8) se pot datora instabilității pH-ului (fig. 3.3), răspunzător de balanța NO_2^-/HNO_2^- .

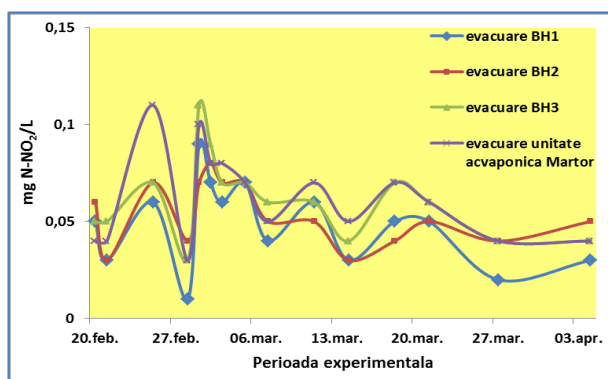


Fig. 3.7: Evoluția concentrației de $N-NO_2$ la nivelul unităților acvaponice

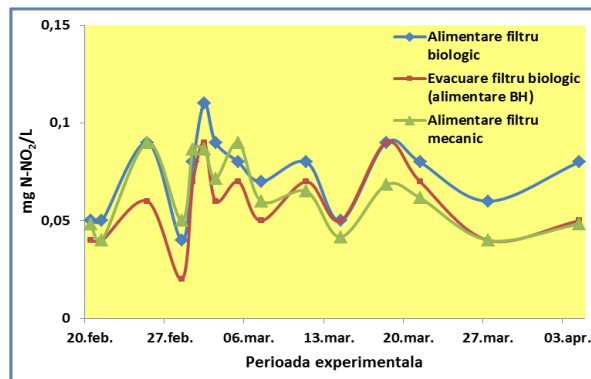


Fig. 3.8: Evoluția concentrației de $N-NO_2$ la nivelul unităților de filtrare

Astfel, în cazul unor valori ridicate ale pH-ului, echilibrul balanței anterior menționate se înclină semnificativ spre NO_2^- , generând creșterea valorii concentrației acestora. Se constată diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între grupul format din primele două variante experimentale (BH1+BH2) și cel format din BH3+varianta martor. Acest fapt se poate explica prin posibila apariție a comunităților de bacterii heterotrofe pe suprafața interioară a conductei de alimentare a modulului acvaponic, colaborată cu procesul biologic de nitrificare de la nivelul suprafeței rădăcinilor plantelor. Ca atare, în cadrul BH3, datorită aplicării celei mai mici densități de creștere a plantelor, procesul de nitrificare menționat anterior a fost mai slab în intensitate.

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) se înregistrează între grupul BH3+varianta martor și concentrația de nitriți consemnată la alimentarea modulului acvaponic (evacuarea unității de filtrare biologică), dar și între concentrațiile consemnate la evacuarea unității de îndepărtare a solidelor și alimentarea unității de filtrare biologică.

Drept consecință, se poate aprecia de asemenea, prezența comunităților de bacterii heterotrofe și la nivelul unității de îndepărtare a solidelor.

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: evacuare BH1+BH2+alimentare modul acvaponic (evacuare unității de filtrare biologică); BH3+varianta martor+alimentare unitate de îndepărtare a solidelor; unitate de filtrare biologică [214].

Villarroel și colab. (2011), în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraf pH), consemnează o valoare medie a nitriților de $0,39 \text{ mg/L}$, în timp ce Al-Hafedh și colab. (2008) în

condiții tehnologice prezentate anterior (paragraf azot amoniacal) consemnează următoarele valori medii ale nitriților: 0,8 mg/L; 0,5 mg/L și 0,2mg/L [78, 83]. Alte valori ale concentrației nitriților de 0,08mg/L sunt raportate de Sikawa și Yakupitiyage (2010) pentru un sistem acvaponic unde a fost utilizată combinația de specii hibrid de somn-salată verde [149], în timp ce Dediu și colab. (2010) consemnează valoarea de 0,002mg/L pentru creșterea în regim acvaponic a hibridului de boster și a salatei verzi [197].

Concentrații de nitrați ($N-NO_3$) a înregistrat o evoluție ușor fluctuantă, în special în prima jumătate a perioadei experimentale, cu o tendință puternic ascendentă, de acumulare, în ultima săptămână experimentală (fig. 3.9 și fig. 3.10). Valorile medii ale concentrației de $N-NO_3$ din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $21,2 \pm 1,11$ mg/L – BH1; $21,43 \pm 1,13$ mg/L – BH2; $21,65 \pm 1,24$ mg/L – BH3 și $22,51 \pm 1,94$ mg/L în cazul variantei martor [214].

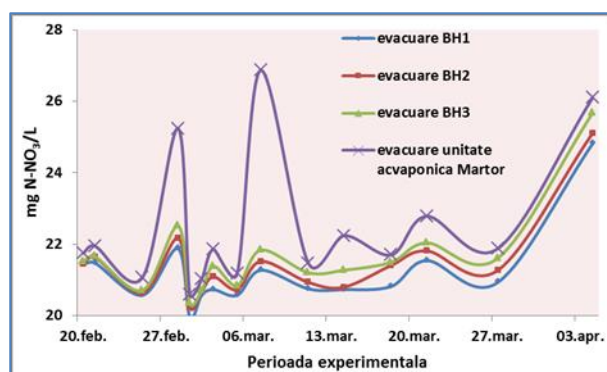


Fig. 3.9. Evoluția concentrației de $N-NO_3$ la nivelul unităților acvaponice

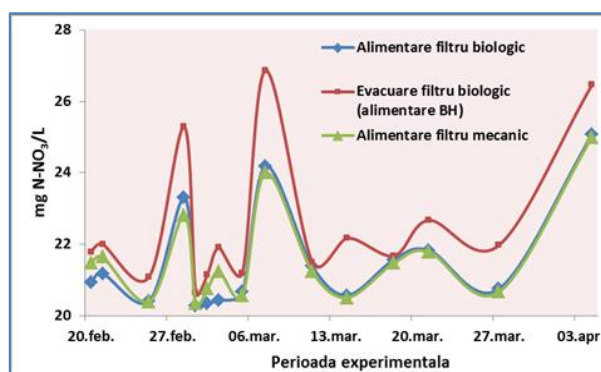


Fig. 3.10. Evoluția concentrației de $N-NO_3$ la nivelul unităților de filtrare

La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de $N-NO_3$ de $22,56 \pm 1,98$ mg/L, în timp ce la alimentarea unității de filtrare biologică s-a înregistrat o medie a concentrației de nitrați de $21,53 \pm 1,49$ mg/L [214]. Concentrația medie de $N-NO_3$ în valoare de $21,59 \pm 1,36$ mg/L a fost consemnată în cazul punctului de prelevare situat la alimentarea unității de îndepărtare a solidelor.

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între primele trei variante experimentale (BH1, BH2 și BH3) și varianta martor, dar și între concentrațiile de nitrați înregistrare la alimentarea unității de îndepărtare a solidelor și cele semnalate în cadrul punctului de prelevare situat la evacuarea unității de filtrare biologică (alimentarea modului acvaponic). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: evacuare BH1; evacuare BH2+evacuare BH3+alimentarea unitate de îndepărtare solide+alimentare unitate de filtrare biologică; evacuare unitate de filtrare biologică+evacuare varianta martor.

Evoluția fluctuantă a concentrației de nitrați din cadrul sistemului integrat poate fi justificată prin regimul de furajare, prin activitatea bacteriilor nitrificatoare din cadrul unității de filtrare biologică propriu-zisă, dar mai ales prin diferitele perioade de dezvoltare a biomasei vegetale. Astfel, pe parcursul perioadei lor de creștere, plantele manifestă necesități nutriționale variate, momentele de intensitate a absorbției nutriționale alternând cu cele dominate de absorbții scăzute de nutrienți sau chiar repaos nutrițional. Activitatea bacteriilor nitrificatoare din cadrul unității de filtrare biologică este dovedită din evoluția concentrației de nitrați în zonele de prelevare situate la alimentarea și la evacuarea acestora (fig. 3.10).

Licamele (2009), în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraful ce tratează evoluția pH-ului), înregistrează valori medii ale concentrației NO_3 de 70 mg/L, 100 mg/L și respectiv 170mg/L [195]. Villarroel și colab. (2011), în condiții tehnologice expuse anterior (paragraf pH), raportează rezultate medii ale concentrației de NO_3 de 144,5 mg/L, respectiv

197,4mg/L [78]. Al-Hafedh și colab. (2008) în condiții tehnologice prezentate anterior (paragraf azot amoniacal) consemnează o valoare medie a nitraților de 19,6mg/L [83]. Dediu și colab. (2012) consemnează valoarea de 34,52 mg/L $N-NO_3$ pentru creșterea în regim acvaponic a hibridului de boster și a salatei verzi [130]. Graber și Junge (2009) în condiții prezentate mai sus (paragraf nitriți) înregistrează valori medii ale concentrației de nitrați cuprinse între 1,9 – 42mg/L și respectiv 12,2 - 95mg/L [76].

Evoluția concentrației de fosfor, cuantificată drept P_2O_5 , a înregistrat o tendință ușor ascendentă, cu fluctuații puternice în cadrul primei săptămâni experimentale (fig.3.11). Valorile medii ale concentrației de P_2O_5 din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $8,11 \pm 3,18$ mg/L – BH1; $8,49 \pm 3,2$ mg/L – BH2; $8,91 \pm 3,2$ mg/L – BH3 și $9,9 \pm 3,46$ mg/L în cazul variantei martor [218]. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de P_2O_5 de $9,95 \pm 3,47$ mg/L [218].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între valorile concentrațiilor de P_2O_5 din cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea primelor trei variante experimentale (BH1, BH2 și BH3), comparativ cu varianta martor, precum și între BH1 și BH3. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1+BH2; BH2+BH3; varianta martor [218].

Evoluția fluctuantă a concentrației de P_2O_5 din cadrul primei săptămâni experimentale poate fi corelată cel mai probabil cu perioada de acomodare a biomasei vegetale. Răsadurile de spanac obținute în sol, au avut o acomodare treptată la condițiile acvaponice de creștere, acest lucru generând momente de apogeu sau declin în ceea ce privește absorbția P_2O_5 pe parcursul primelor zile de creștere (fig. 3.11).

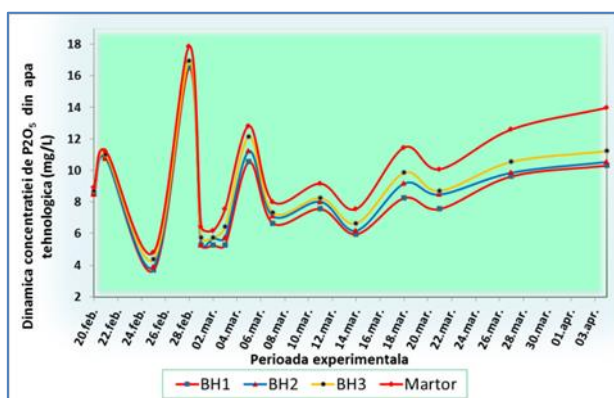


Fig. 3.11. Evoluția concentrației de P_2O_5 la nivelul unităților acvaponice

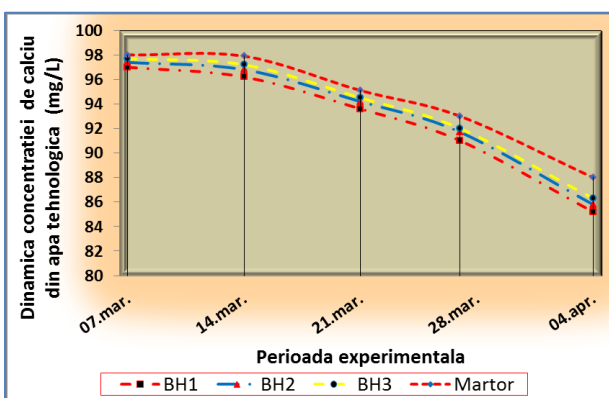


Fig. 3.12 Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice

Licamele (2009), în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraful pH-ului), consemnează valori medii ale concentrației de fosfat de 20 mg/L, 30 mg/L și respectiv 50mg/L [195]. Blidariu F. (2013) a consemnat valori ale fosforului cuprinse între 1,8 – 6,2 mg/L pentru un sistem recirculant integrat în cadrul căruia s-a utilizat combinația de specii șalău – salată verde [219]. Lan (1999) raportează valori ale fosforului din apa tehnologică cuprinse între 0,047 – 1.68mg/L, utilizând combinația de specii hibrid de somn – orez în cadrul unui sistem acvaponic [220], în timp ce Yi și colab (2003) raportează concentrații mari mari ale fosforului, cuprinse între 0,5-2,25mg/L, în cadrul efluentului provenit din creșterea hibridului de somn și a tilapieii într-un sistem integrat [221]. Sikawa și Yakupitiyage (2010), în condiții menționate anterior (paragraf nitriți), a obținut un ecart de valori cuprins între 0,2 – 0,95mg/L pentru concentrația de fosfor total din apa tehnologică folosită în procesele acvaponice [149]. Villarroel și colab. (2011), în condiții tehnologice expuse anterior (paragraf pH), raportează rezultate medii ale concentrației de H_2PO_4 de 16,9 mg/L, respectiv 23,5mg/L [78].

Evoluția concentrației de calciu a înregistrat o tendință puternic descendentă (fig. 3.12), confirmând cele relatate de Rakocy și colab (2006), care menționează insuficiența pe termen lung a cantităților de calciu prezente în cadrul unui sistem acvaponic [87]. Concentrații ridicate de calciu determină precipitarea fosforului [87]. Este necesar a fi precizat faptul că sodiul inhibă absorbția de calciu a plantelor [183].

Trebuie remarcată lipsa fluctuațiilor în procesul de absorbție a calciului (fig. 3.12), fapt ce arată predilecția manifestată de biomasa vegetală pentru acest macronutrient, în cursul întregii perioade experimentale.

Valorile medii ale concentrației de calciu din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $92,6 \pm 4,76 \text{ mg/L}$ – BH1; $93,18 \pm 4,7 \text{ mg/L}$ – BH2; $93,54 \pm 4,64 \text{ mg/L}$ – BH3 și $94,4 \pm 4,14 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor [218]. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de calciu de $94,48 \pm 4,12 \text{ mg/L}$ [218].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între valorile concentrațiilor de calciu din cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea primelor patru variante experimentale (BH1, BH2, BH3, varianta martor). Testul *post-hoc Duncan și Tukey's – B* împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; varianta martor [218]. Pentru a reflecta întinderea relației liniare dintre seturile de date referitoare la concentrațiile de P_2O_5 și calciu consemnate de-a lungul perioadei experimentale, s-a determinat indicele de corelație *Pearson*.

Valoarea indicelui *Pearson* s-a constatat a fi 0,916 [218], fapt ce relevă corelația directă, puternică, existentă între concentrația de calciu și cea de P_2O_5 din apa tehnologică, pe parcursul cercetării.

Licamele (2009) în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraful pH-ului), consemnează valori medii ale concentrației de calciu de 60 mg/L [195]. Blidariu (2013) a consemnat valori ale calciului cuprinse între $39,07 - 48,1 \text{ mg/L}$ în cadrul unui sistem recirculant integrat, utilizând combinația de specii șalău – salată verde [219]. Sikawa și Yakupitiyage (2010), în condiții menționate anterior (paragraf nutriție), a obținut un ecart de valori cuprins între $5,05 - 5,30 \text{ mg/L}$ pentru concentrația de calciu din apa tehnologică folosită în activitatea acvaponică [149]. Villarroel și colab. (2011), în condiții tehnologice expuse anterior (paragraf pH), raportează rezultate medii ale concentrației de calciu din apa tehnologică de $21,6 \text{ mg/L}$, respectiv $36,3 \text{ mg/L}$ [78].

Evoluția concentrației de magneziu a avut o tendință descendentă, exceptând ultima săptămână din cadrul perioadei experimentale, de-a lungul căreia s-a înregistrat o acumulare semnificativă a concentrației de magneziu din apa tehnologică a sistemului recirculant integrat (fig. 3.13).

Din analiza **evoluției ratei de retenție a magneziului** (fig. 3.14), se concluzionează o capacitate maximă de absorbție a plantelor, manifestată la începutul perioadei experimentale și de asemenea, la un interval de timp de patru săptămâni față de momentul menționat anterior.

Perioadele de concentrație maximă a magneziului în apa tehnologică corespund în mare măsură cu momentele de maximă retenție a acestuia de către biomasa vegetală (fig. 3.13 și fig. 3.14).

Excepția acestei afirmații se manifestă la începutul ultimei săptămâni experimentale, când concentrația de magneziu din cadrul sistemului recirculant integrat atinge valori minime, în timp ce rata de retenție se menține la niveluri ridicate (fig. 3.13 și fig. 3.14). Astfel, putem individualiza momentul menționat cu apogeul nutrițional al biomasei vegetale în ceea ce privește absorbția macronutrientului magneziu din apa tehnologică a sistemului recirculant integrat.

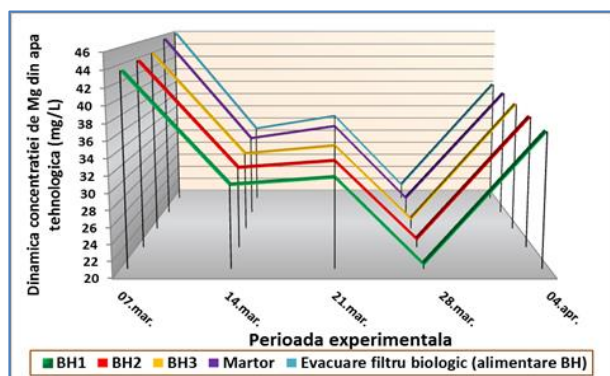


Fig. 3.13. Evoluția concentrației de magneziu la nivelul unităților acvaponice

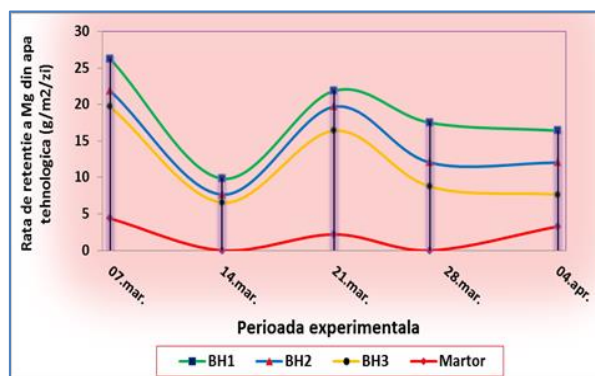


Fig. 3.14. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice

Este necesar a fi punctată evoluția relativ constantă a ratei de retenție a magneziului în cadrul ultimei săptămâni experimentale, colaborată cu evoluția puternic ascendentă a concentrației de magneziu din apa tehnologică a sistemului (fig. 3.13 și fig 3.14). Ca atare, se constată un declin al absorbției de magneziu, manifestat la nivelul biomasei vegetale, după momentul de absorbție maximă menționat anterior.

Valorile medii ale concentrației de magneziu din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $32,32 \pm 8,56 \text{ mg/L}$ – BH1; $32,66 \pm 8,55 \text{ mg/L}$ – BH2; $32,92 \pm 8,54 \text{ mg/L}$ – BH3 și $33,82 \pm 8,7 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de magneziu de $34 \pm 8,86 \text{ mg/L}$. Valorile medii ale ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $18,37 \pm 6,15 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH1; $14,65 \pm 5,91 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH2; $11,81 \pm 5,86 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH3 și $1,96 \pm 0,95 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între cele patru variante experimentale. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; varianta martor.

Licamele (2009) în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraful pH-ului), consemnează valori medii ale concentrației de magneziu de 30 mg/L [195]. Blidariu F. (2013) a consemnat valori ale magneziului cuprinse între $7,02 - 9,56 \text{ mg/L}$ în cadrul unui sistem recirculant integrat, utilizând combinația de specii șalău – salată verde [219]. Sikawa și Yakupitiyage (2010), în condițiile tehnologice menționate anterior (paragraf nutriți), a obținut un ecart de valori cuprins între $0,64 - 0,67 \text{ mg/L}$ pentru concentrația de magneziu din apa tehnologică folosită în activitatea acvaponică [149]. Villarroel și colab. (2011), în condițiile tehnologice expuse anterior (paragraf pH), raportează rezultate medii ale concentrației de magneziu din apa tehnologică de $3,89 \text{ mg/L}$, respectiv $6,11 \text{ mg/L}$ [78].

Evoluția concentrației de potasiu a avut o tendință descendentă (3.15), asemănătoare în mare parte cu cea a magneziului (fig. 3.13). În cursul ultimei săptămâni din cadrul perioadei experimentale s-a înregistrat o acumulare semnificativă a concentrației de potasiu din apa tehnologică (fig. 3.15). Din analiza **evoluției ratei de retenție a potasiului** (fig. 3.16), se concluzionează o capacitate maximă de absorbție a plantelor, manifestată la începutul ultimei săptămâni din cadrul perioadei experimentale.

O evoluție mai fluctuantă a absorbției de magneziu are loc în cadrul variantei experimentale BH3, unde a fost aplicată cea mai mică densitate de creștere a biomasei vegetale (fig. 3.15). Acest fapt poate fi explicat printr-o lipsă a concurenței în ceea ce privește absorbția de potasiu, manifestată la nivelul biomasei vegetale din cadrul BH3 și chiar BH2.

Astfel, în urma absorbției unor cantități mari de potasiu, în anumite perioade de activitate nutrițională intensă, plantele au de regulă o perioadă de declin. Concentrațiile mari de potasiu

contribuie la accelerarea procesului de creștere a plantelor [67], în literatura de specialitate fiind consemnate rate de retenție a acestuia cuprinse între 25-75%.

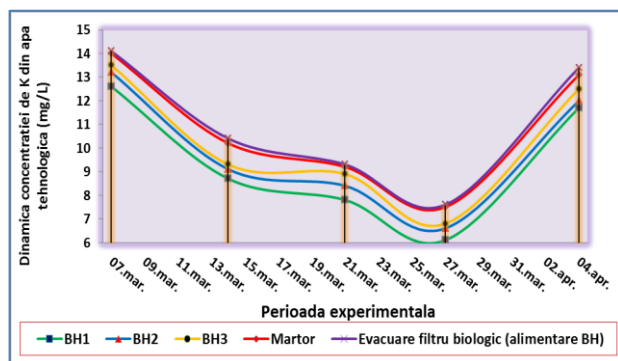


Fig. 3.15. Evoluția concentrației de potasiu la nivelul unităților acvaponice

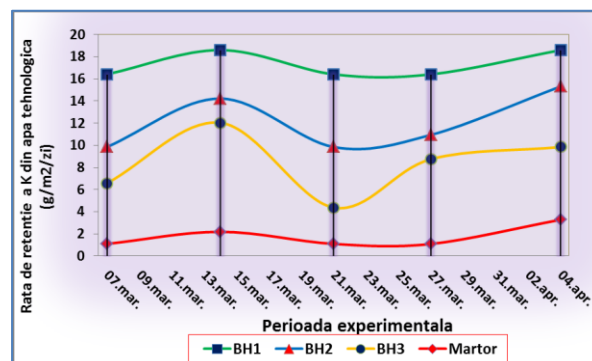


Fig. 3.16. Evoluția ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice

Valorile medii ale concentrației de potasiu din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $9,38 \pm 2,71 \text{ mg/L}$ – BH1; $9,86 \pm 2,69 \text{ mg/L}$ – BH2; $10,02 \pm 2,74 \text{ mg/L}$ – BH3 și $10,08 \pm 2,71 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de potasiu de $10,96 \pm 2,75 \text{ mg/L}$. Valorile medii ale ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $17,27 \pm 1,19 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH1; $12,03 \pm 2,56 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH2; $8,31 \pm 2,95 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH3 și $1,74 \pm 0,97 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între cele patru variante experimentale. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; varianta martor.

Licamele (2009) în condițiile tehnologice prezentate mai sus (paragraful pH-ului), consemnează valori medii ale concentrației de potasiu de 150 mg/L [195]. Blidariu F. (2013) a consemnat valori ale potasiului din apă cuprinse între $6,65 - 10,09 \text{ mg/L}$ în cadrul unui sistem recirculant integrat, utilizând combinația de specii șalău – salată verde [219]. Sikawa și Yakupitiyage (2010), în condiții menționate anterior (paragraf nutriție), a obținut un ecart de valori cuprins între $10,09 - 13,05 \text{ mg/L}$ pentru concentrația de magneziu din apa tehnologică folosită în activitatea acvaponică [149]. Villarroel și colab. (2011), în condiții tehnologice expuse anterior (paragraf pH), raportează rezultate medii ale concentrației de magneziu din apa tehnologică de $9,52 \text{ mg/L}$, respectiv $15,9 \text{ mg/L}$ [78].

3.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului

Micronutrienții sunt elemente esențiale creșterii biomasei vegetale, necesare în cantități foarte mici, în funcție de specia de plante folosită. Micronutrienții intervin în cadrul metabolismului general al plantelor, în procesele de creștere și dezvoltare și de asemenea, în caracterizarea imunității acestora.

Fierul este utilizat de plante sub formă de săruri feroase și ferice, carența acestuia determinând îngălbenirea frunzelor și încetinirea creșterii. De regulă, concentrația de fier din cadrul unui sistem recirculant integrat are tendință descendentă, fapt generat în special de procesul de depunere a oxidului feric hidratat pe suprafața interioară a componentelor sistemului [178]. Stabilitatea fierului dizolvat este crescută prin chelare [178].

În cazul prezentului experiment, întrucât concentrația de fier a apei tehnologice din cadrul sistemului recirculant integrat a fost insuficientă în vederea asigurării unei bune dezvoltări a biomasei de spanac, o cantitate totală de 40 g fier chelat s-a adăugat de-a lungul perioadei experimentale, proces aplicat de asemenea și în cadrul altor studii asemănătoare [130].

Adaosul de fier chelat a avut loc în cinci etape (8 g x 5 etape) și anume pe datele de: 28 februarie; 05 martie; 15 martie; 17 martie și 27 martie. Menționez că pH-ul apei a înregistrat valori de peste 7upH, condiție necesară pentru asigurarea stabilității compusului adăugat.

Astfel, **evoluția concentrației de fier** de-a lungul perioadei experimentale a consemnat o tendință fluctuantă, relativ descendentă, cu puncte de maxim generate în mare măsură de adaosul de fier chelat descris anterior (fig. 3.17).

Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice se află în relație de directă proporționalitate cu valoarea concentrației de fier prezentă în sistem, la un moment dat (fig. 3.18). Astfel, sunt consemnate valori maxime ale absorbției de fier de către biomasa vegetală la mijlocul perioadei experimentale, când se întregistrează și cea mai mare valoare a concentrației de fier în apa tehnologică din cadrul sistemului recirculant integrat (fig. 3.17 și fig. 3.18). La polul opus situației descrise anterior se încadrează perioada primelor două săptămâni experimentale, la sfârșitul căreia putem chiar menționa valori nule ale concentrației de fier din apa tehnologică (fig. 3.17).

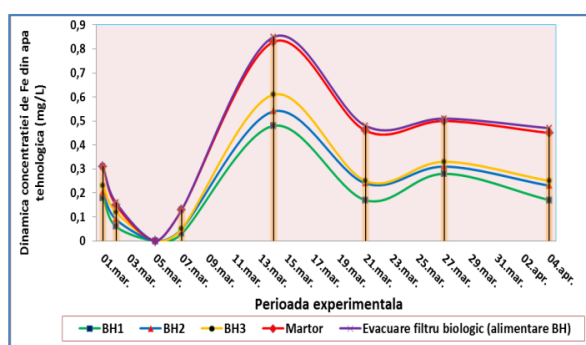


Fig. 3.17. Evoluția concentrației de fier la nivelul unităților acvaponice

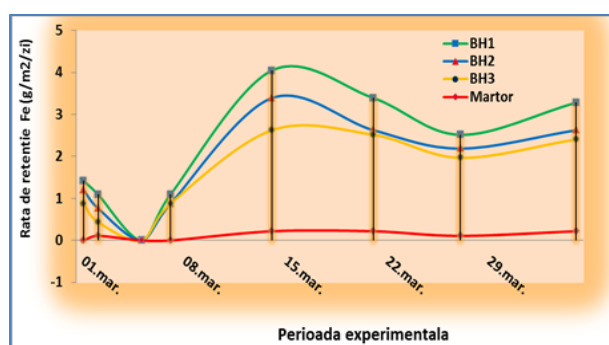


Fig. 3.18. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice

Valorile medii ale concentrației de fier din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $0,17 \pm 0,11 \text{ mg/L}$ – BH1; $0,21 \pm 0,16 \text{ mg/L}$ – BH2; $0,23 \pm 0,18 \text{ mg/L}$ – BH3 și $0,35 \pm 0,26 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de fier de $0,36 \pm 0,27 \text{ mg/L}$.

Valorile medii ale ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $2,1 \pm 1,4 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH1; $1,7 \pm 1,16 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH2; $1,46 \pm 1,03 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH3 și $0,11 \pm 0,09 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între cele patru variante experimentale.

Licamele (2009) în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraful pH-ului), consemnează valori medii ale concentrației de fier cuprinse între 0,1 – 0,13 mg/L [195]. Sikawa și Yakupitiyage (2010), în condiții menționate anterior (paragraf nutriție), a obținut un ecart de valori cuprins între 0,15 – 0,43 mg/L pentru concentrația de fier din apa tehnologică folosită în activitatea acvaponică [149].

Roosta și Hamidpour (2011) consemnează valori medii ale concentrației de fier de 0,21 mg/L în cazul unui sistem integrat unde a fost folosită combinația de specii crap, sânger, novac – roșii [222].

Concentrația de mangan din apa tehnologică, de-a lungul perioadei experimentale înregistrează o dinamică relativ constantă, cu o foarte mică fluctuație în cadrul primei jumătăți a perioadei experimentale (fig. 3.19). Studii de specialitate [178] punctează puternica corelație invers proporțională între evoluția pH și cea a concentrației de mangan din apa tehnologică. În cazul de față, valorile pH-ului s-au încadrat în ecartul optim (fig. 3.3), acest factor fiind astfel în imposibilitatea de a influența semnificativ concentrația de mangan din apă.

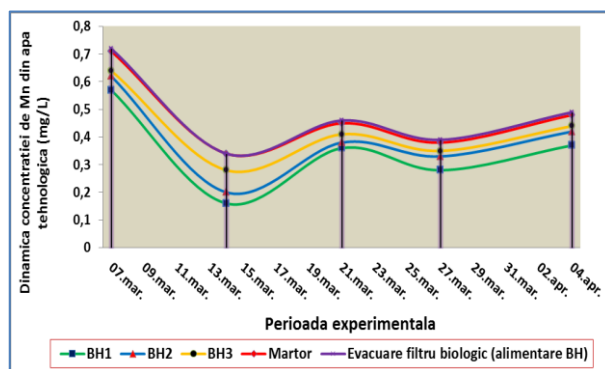


Fig. 3.19. Evoluția concentrației de mangan la nivelul unităților acvaponice

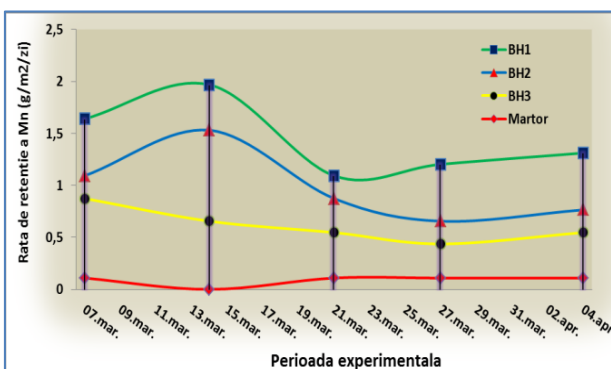


Fig. 3.20. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul unităților acvaponice

Rata de retenție a manganului înregistrează o evoluție constantă în cazul variantei experimentale BH3 (fig. 3.20), în timp ce în cadrul BH1 și BH2 aceasta consemnează un maxim în prima jumătate a perioadei experimentale, moment ce coincide cu punctul de minim al evoluției concentrației de mangan din apa tehnologică (fig. 3.19 și fig. 3.20). Astfel, se dovedește influența definitorie a intensității de absorbție a manganului, manifestată la nivelul biomasei vegetale, asupra evoluției concentrației acestui compus în cadrul sistemului recirculant integrat.

Valorile medii ale concentrației de mangan din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $0,35 \pm 0,14 \text{ mg/L}$ – BH1; $0,39 \pm 0,15 \text{ mg/L}$ – BH2; $0,42 \pm 0,14 \text{ mg/L}$ – BH3 și $0,47 \pm 0,15 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o concentrație medie de mangan de $0,48 \pm 0,15 \text{ mg/L}$. Valorile medii ale ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $1,44 \pm 0,35 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH1; $0,98 \pm 0,34 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH2; $0,61 \pm 0,17 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH3 și $0,08 \pm 0,05 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între cele patru variante experimentale. Testul *post-hoc Duncan* și *Tukey's – B* împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; varianta martor.

Licamele (2009) în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraful pH-ului), consemnează valori medii ale concentrației de mangan cuprinse între 0,02 – 0,25 mg/L [195].

Sikawa și Yakupitiyage (2010), în condiții menționate anterior (paragraf nitriți), a obținut un ecart de valori cuprins între 0,1 – 0,2 mg/L pentru concentrația de mangan din apa tehnologică folosită în activitatea acvaponică [149].

Seawright și colab. (1998) raportează o tendință fluctuantă a absorbției manganului de către biomasa vegetală de salată verde, în cadrul unui sistem acvaponic [178].

Evoluția concentrației de clor în cadrul sistemului recirculant integrat este fluctuantă (fig. 3.21), în mare măsură fiind influențată de procentul zilnic de schimb al apei tehnologice (până în 10%). Prezența unei concentrații optime de clor în apa tehnologică din cadrul unui sistem integrat are un efect pozitiv asupra metabolismului biomasei vegetale și totodată, asigură într-o oarecare măsură protecția acestora împotriva diverselor probleme legate de boli sau contaminanți. Efectele pozitive ale concentrațiilor optime de clor asupra creșterii plantelor au fost menționate în cadrul literaturii de specialitate [223], clorul fiind inclus ca atare în cadrul micronutrienților necesari unei bune dezvoltări a plantelor. Plantele ce au carențe de clor în nutriție prezintă o ondulare a marginilor frunzelor sau inhibarea creșterii rădăcinilor.

Media concentrației de clor în cadrul sistemului recirculant integrat a fost de $67,68 \pm 3,5 \text{ mg/L}$, fără diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) la nivelul unităților acvaponice. Villarroel și colab. (2011), în condiții tehnologice expuse anterior (paragraf

pH), raportează rezultate medii ale concentrației de clor din apa tehnologică de 23,8mg/L, respectiv 34,4mg/L [78].

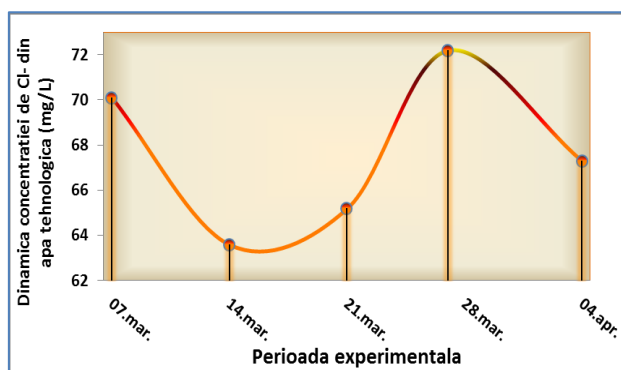


Fig. 3.21. Evoluția concentrației de clor la nivelul sistemului recirculant integrat

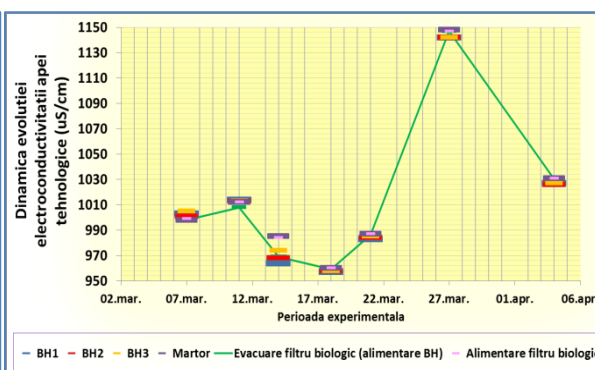


Fig. 3.22. Evoluția electroconductivității (EC) apei tehnologice la nivelul modulului acvaponic și al unității de filtrare biologică

Electroconductivitatea (EC) apei tehnologice a consemnat o evoluție fluctuantă, în special în ultimele două săptămâni ale perioadei experimentale (fig. 3.22), o posibilă cauză fiind reprezentată de alternarea perioadelor de maximă absorbție nutrițională, cu cele de repaos nutrițional, a biomasei vegetale de spanac. Electroconductivitatea este caracterizată drept cantitatea totală de ioni din apa tehnologică sau capacitatea apei de a conduce curentul electric [211]. Așadar, valoarea EC oferă o estimare relativă a concentrației de nutrienți din cadrul sistemului recirculant integrat, la un moment dat. Este necesar a fi precizat faptul că EC nu cuantifică nutrienții organici, pe termen scurt, valoarea acestora ajutând însă la verificarea și reglarea echilibrului nutrițional la nivelul sistemului recirculant integrat.

Valorile medii ale EC din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $1012,86 \pm 62,41 \mu\text{S/cm}$ – BH1; $1013,14 \pm 61,7 \mu\text{S/cm}$ – BH2; $1014,86 \pm 60,83 \mu\text{S/cm}$ – BH3 și $1017,29 \pm 61,8 \mu\text{S/cm}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o valoare medie a EC de $1013,86 \pm 63,33 \mu\text{S/cm}$, în timp ce la alimentarea unității de filtrare biologică s-a înregistrat valoarea medie de $1017,14 \pm 61,48 \mu\text{S/cm}$. Diferențele consemnate au fost nesemnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$).

Electroconductivitatea este în corelație directă cu concentrația totală de solide dizolvate (TDS). Astfel, pentru a transforma din punct de vedere matematic, EC în TDS se folosește un factor de conversie ce variază între 0,54 și 0,96, în funcție de compoziția chimică a solidelor dizolvate [211]. În prezenta cercetare, TDS a fost măsurată experimental, înregistrându-se următoarele valori medii în cadrul punctelor de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice: $698,87 \pm 43,06 \text{mg/L}$ – BH1; $699,06 \pm 42,57 \text{mg/L}$ – BH2; $700,25 \pm 41,98 \text{mg/L}$ – BH3 și $701,93 \pm 42,64 \text{mg/L}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o valoare medie a TDS de $699,56 \pm 43,7 \text{mg/L}$, în timp ce la alimentarea unității de filtrare biologică s-a înregistrat valoarea medie de $701,83 \pm 42,42 \text{mg/L}$. Diferențe consemnate au fost nesemnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$).

Licamele (2009) în condiții tehnologice prezentate mai sus (paragraful pH-ului), consemnează valori medii ale EC de $930 \mu\text{S/cm}$ [195]. Lennard și Leonard (2006) obțin valori medii ale EC cuprinse între $117,7 - 416,3 \mu\text{S/cm}$ pentru un sistem acvaponic în cadrul căruia a fost utilizată tehnica DWC [125]. Graber și Junge (2009) în condiții prezentate mai sus (paragraf nutriți) înregistrează valori medii ale EC cuprinse între $350 - 680 \mu\text{S/cm}$ și respectiv $400 - 1103 \mu\text{S/cm}$ [76]. Dediu și colab. (2012), în condiții tehnologice expuse anterior (paragraf nutriți) consemnează o valoare medie a EC de $573,5 \mu\text{S/cm}$ [130]. Alte studii [224] precizează valori optime ale EC în cadrul sistemelor acvaponice, cuprinse între $1500 - 2000 \mu\text{S/cm}$. Al-Hafedh și

colab. (2008) în condiții tehnologice prezentate anterior (paragraf azot amoniacal) consemnează o valoare medie a TDS de 1342 mg/L [83].

Duritatea totală a apei prezintă o evoluție descendentă până în ultima săptămână experimentală, când se observă o creștere moderată (fig. 3.23). Importanța valorii durității apei în cadrul unui sistem recirculant integrat este indubitabilă, aceasta reprezentând, din punct de vedere cantitativ, ionii divalenți precum cei de calciu, magneziu, mangan, fier sau zinc din apa tehnologică.

Valorile medii ale durității totale din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $22,24 \pm 1,86^\circ\text{dH}$ – BH1; $22,4 \pm 1,84^\circ\text{dH}$ – BH2; $22,5 \pm 1,83^\circ\text{dH}$ – BH3 și $22,82 \pm 1,82^\circ\text{dH}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o valoare medie a durității totale de $22,87 \pm 1,85^\circ\text{dH}$.

Valorile înregistrate au fost asemănătoare cu cele consemnate de literatura de specialitate [149]. Astfel, Sikawa și Yakupitiyage (2010) în condiții menționate anterior (paragraf nitriți), au obținut un ecart de valori cuprins între $3,5 - 32^\circ\text{dH}$ pentru duritatea totală a apei tehnologice folosite în activitatea acvaponică [149].

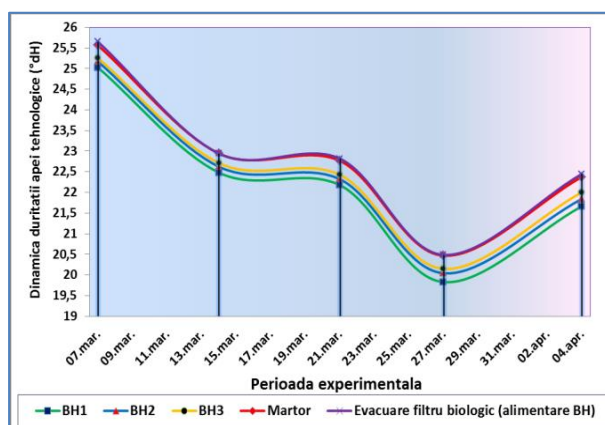


Fig. 3.23. Evoluția durității totale la nivelul unităților acvaponice

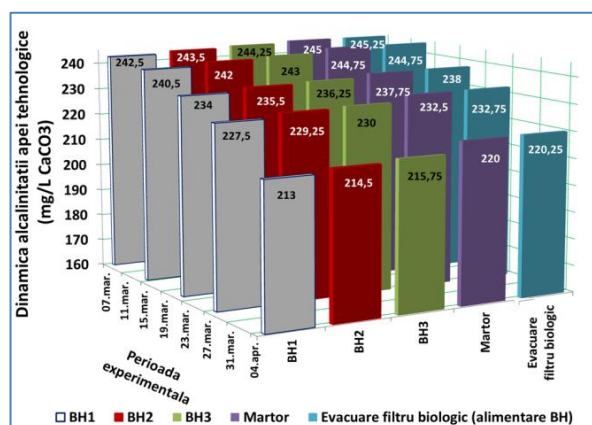


Fig. 3.24. Evoluția alcalinității la nivelul unităților acvaponice

Alcalinitatea apei tehnologice, pe parcursul perioadei experimentale, a înregistrat o evoluție relativ simetrică, descendentă, manifestată la nivelul modulului acvaponic (fig. 3.24). Alcalinitatea reprezintă capacitatea apei de a neutraliza acizii, fără creșterea valorii pH-ului. Drept urmare, apa căreia îi corespunde o valoare ridicată a alcalinității este capabilă să absoarbă mai mult acid. Ionii de bază incluși sunt cei de carbonat, bicarbonat și hidroxid.

Studiile de specialitate [176] atestă existența unei corelații directe între alcalinitate și concentrația de CO_2 . De asemenea, alcalinitatea este în relație directă de interdependență cu pH apei, creșterea acesteia generând la rândul ei o creștere a pH-ului și ca atare, o accentuare a toxicității amoniacului din apă. Valoarea alcalinității este importantă în cadrul sistemelor acvaponice pentru realizarea unui studiu predictiv legat de acumularea dioxidului de carbon, sursă pentru formarea acizilor. În ipoteza, conform căreia, valoarea alcalinității apei este optimă, excesul de acid este transformat de către ionii de carbonat, fapt ce determină o stabilitate a pH-ului.

Valorile medii ale alcalinității în punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $231,5 \pm 11,9 \text{ mg/L CaCO}_3$ – BH1; $232,95 \pm 11,77 \text{ mg/L CaCO}_3$ – BH2; $233,85 \pm 11,62 \text{ mg/L CaCO}_3$ – BH3 și $236 \pm 10,35 \text{ mg/L CaCO}_3$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o valoare medie a alcalinității de $236,2 \pm 10,3 \text{ mg/L CaCO}_3$.

Yi și colab. (2003) raportează valori ale alcalinității ce se încadrează în ecartul 108 – 513 mg/L (CaCO_3) [177], în timp ce Sikawa și Yakupitiyage (2010), în condiții menționate

anterior (paragraf nutriție), au obținut un ecart de valori cuprins între 99 – 469 mg/L (CaCO_3) pentru alcalinitatea apei tehnologice folosită în activitatea acvaponică [149]. Hargreaves și Steeby (1999) și de asemenea, Hargreaves și Tucker (2003) menționează o creștere a alcalinității explicată prin creșterea ratei de dizolvare a carbonatului de calciu indusă de surplusul de dioxid de carbon [176, 225]. Tyson și colab. (2007) menționează necesitatea menținerii valorii alcalinității peste 50mg/L (CaCO_3) pentru funcționarea optimă a unui sistem acvaponic ce folosește perlit drept mediu suport pentru creșterea plantelor [226].

Evoluția consumului chimic de oxigen (COD) înregistrează o tendință puternic ascendentă (fig. 3.25) după primele două săptămâni experimentale. Trebuie menționat faptul că COD-ul este un parametru de calitate important în vederea caracterizării apei tehnologice din cadrul unui sistem recirculant integrat, oferind informații despre gradul de încărcare a acesteia cu materie organică.

Acest parametru nu realizează o delimitare între materia organică inertă și cea prezentă din punct de vedere biologic, reprezentând o cuantificare a cantității totale de oxigen, necesară în vederea oxidării cantității totale de substanță organică în dioxid de carbon și apă. Comparativ cu necesarul biochimic de oxigen (BOD_5), valorile înregistrate pentru COD sunt inferioare, avantajul acestuia fiind în special reprezentat de rapiditatea de obținere a rezultatului.

În prezentul experiment, evoluția ascendentă a COD-ului este legată în mare măsură de performanțele unității de îndepărtare a solidelor, în contextul creșterii cantității de hrană administrată și a cuantumului de produși metabolici eliberați în cadrul sistemului, direct proporțional cu sporul de creștere a biomasei piscicole.

De asemenea, gradul de dezvoltare a rădăcinilor plantelor trebuie punctat drept un factor de influență a concentrației de COD la nivelul unităților acvaponice. O suprafață a rădăcinilor mai mare și un grad de ramificare superior al acestora asigură un procent mai mare de retenție a materiei organice. În momentul atingerii unui anumit nivel de acumulare, cazul concret al variantei BH3 în perioada de mijloc a experimentului, o parte din materia organică captată la nivelul rădăcinilor se desprinde în masa apei, generând scăderea în intensitate a evoluției puternic ascendente a concentrației de COD (fig. 3.25).

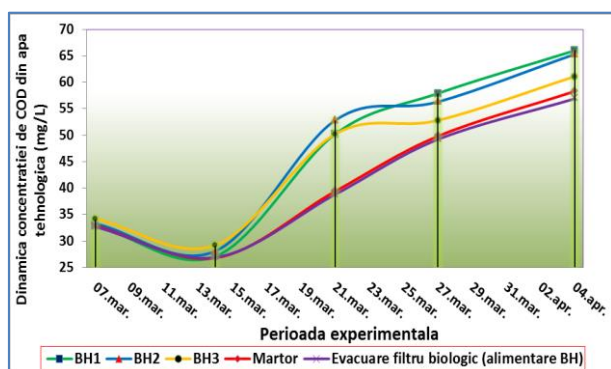


Fig. 3.25. Evoluția concentrației de COD la nivelul unităților acvaponice

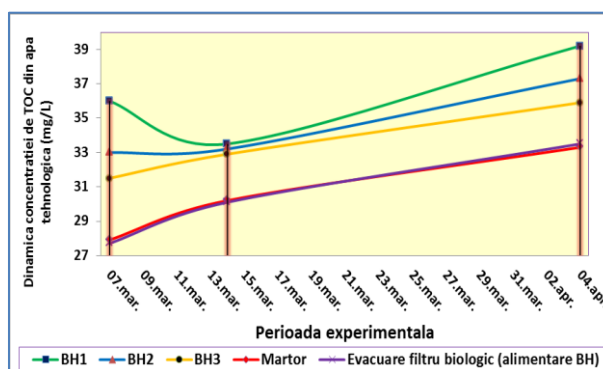


Fig. 3.26. Evoluția concentrației de TOC la nivelul unităților acvaponice

În urma sintezei celor relatate anterior, se poate consemna o creștere a concentrației de COD, direct proporțională cu gradul de dezvoltare a suprafeței radiculare. Acest proces este influențat în mare măsură de regimul hidraulic, fiind caracterizat prin cei doi indicatori sugestivi și anume: rata hidraulică de încărcare și timpul hidraulic de retenție.

Valorile medii ale concentrației de COD din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $46,84 \pm 16,45 \text{ mg/L}$ – BH1; $47,16 \pm 15,81 \text{ mg/L}$ – BH2; $45,5 \pm 13,34 \text{ mg/L}$ – BH3 și $41,44 \pm 12,7 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o valoare medie a concentrației de COD de $40,9 \pm 12,17 \text{ mg/L}$. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au

consemnat între primele trei variante experimentale (BH1, BH2, BH3) și varianta martor și de asemenea, între primele două variante experimentale (BH1, BH2) și BH3. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1+BH2; BH3; varianta martor+alimentare modul acvaponic (evacuare unitate de filtrare biologică).

Rakocy și colab. (2013) a înregistrat concentrații ale COD în ecartul 14,6 – 74,3mg/L la nivelul alimentării modulului acvaponic și de 14,6 – 132,1 la nivelul evacuării acestuia, în condițiile unui sistem acvaponic ce folosește combinația de specii tilapia de Nil – busuioc și bame [69]. De asemenea, Ghaly și colab. (2005) au obținut valori ale COD cuprinse în ecartul 390 – 1120 mg/L în cadrul unui studiu ce tratează capacitatea de fito-remediere a cerealelor [156].

Evoluția concentrației de TOC (carbon organic total) consemnează o tendință în general ascendentă (fig. 3.26). Prezența unei evoluții liniare de-a lungul perioadei experimentale poate fi consemnată în cazul BH3 (fig. 3.26). TOC-ul reprezintă totalitatea concentrațiilor atomilor de carbon organic, legați covalent în cadrul moleculelor organice din proba de apă analizată. Acesta este alcătuit dintr-o serie de compuși organici aflați în diverse stări de oxidare. O parte din acești compuși pot fi de asemenea, supuși ulterior unor procese biologice și chimice de oxidare, fiind caracterizați în acest context de COD și BOD5.

Se observă o valoare a TOC-ului mai mare în cadrul BH1, în faza incipientă a perioadei experimentale (fig. 3.26), comparativ cu celelalte două variante experimentale, cu plante (BH2 și BH3). Cel mai probabil, acest fapt poate fi datorat prezenței unor fragmente organice la nivelul suprafeței radiculare, în momentul transplantării biomasei vegetale din sol, în cadrul sistemului acvaponic. Analizând comparativ evoluția concentrația de TOC din cadrul variantelor experimentale cu plante (BH1, BH2 și BH3), se poate constata atingerea unui punct de echilibru după primele trei săptămâni ale perioadei experimentale (fig. 3.26). Evoluția descendentă a concentrației de TOC din cadrul BH1 pe durata primelor trei săptămâni experimentale (fig. 3.26), este consecință a desprinderii fragmentelor organice menționate anterior, ca urmare a regimului hidraulic existent în cadrul unității acvaponice.

Valorile medii ale concentrației de TOC din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: 26,23±2,86mg/L – BH1; 34,5±2,43mg/L – BH2; 33,43±2,25mg/L – BH3 și 30,47±2,71mg/L în cazul variantei martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o valoare medie a concentrației de TOC de 30,43±2,91mg/L. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între primele trei variante experimentale (BH1, BH2, BH3) și varianta martor și de asemenea, între prima variantă experimentală (BH1,) și grupul format din BH2 și BH3. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1; BH2+BH3; varianta martor+alimentare modul acvaponic (evacuare unitate de filtrare biologică).

Bergstrand și colab. (2011) au constatat existența unei corelații între gradul de dezvoltare a biomasei vegetale cultivată în condiții hidroponice și evoluția concentrației de TOC [227]. Lund (2014) raportează o valoare a TOC de 3,16 mmol/L la nivelul unităților hidroponice și 1,58 mmol/L la nivelul unităților de creștere [228].

Necesarul biochimic de oxigen (BOD5) a înregistrat o evoluție ascendentă în cadrul sistemului recirculant integrat, pe durata perioadei experimentale (fig. 3.27). În cadrul primei jumătăți a perioadei experimentale, BOD5 a avut o dinamică liniară în cazul celor patru variante experimentale (fig. 3.27). Tendința puternic ascendentă a BOD5, manifestată de la nivelul variantei BH3 (fig. 3.27) are drept consecință o acumulare treptată a materiei organice în cadrul unității acvaponice, în comparație cu primele două variante experimentale.

Astfel, în cadrul BH1 și BH2, procesul de acumulare a materiei organice a avut o dinamică puternic ascendentă imediat după prima jumătate a perioadei experimentale, urmată de o evoluție constantă până la sfârșitul perioadei experimentale (fig.2.7).

În mare măsură, evoluția prezentată anterior se datorează gradului de dezvoltare a rădăcinilor spanacului, o suprafață radiculară mai mare asigurând un grad superior în ceea ce privește posibilitatea de acumulare a materiei organice.

Evoluția constantă a BOD5, înregistrată în ultima parte a perioadei experimentale în cadrul BH1 și BH2 poate fi cauzată de procesul de eliminarea a unei părți a stratului de substanță organică, acumulat la nivelul rădăcinilor, sub acțiunea forței de frecare exercitată la nivelul zonei radiculare, indusă de valoarea debitului de alimentare a unităților acvaponice.

Acest proces nu se manifestă la nivelul BH3 datorită unei mai bune stabilități a materiei organice la nivelul suprafeței radiculare, rezultată dintr-o acumulare treptată a acesteia pe durata perioadei experimentale.

Valorile procentuale medii ale BOD5 din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $60,67 \pm 24,38\%$ – BH1; $55,45 \pm 20,54\%$ – BH2; $52,28 \pm 21,4\%$ – BH3 și $46,73 \pm 15,77\%$ în cazul variantei martor. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între primele trei variante experimentale (BH1, BH2, BH3) și varianta martor și de asemenea, între prima variantă experimentală (BH1,) și grupul format din BH2 și BH3. Testul *post-hoc Duncan și Tukey's – B* împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1; BH2+BH3; varianta martor.

Endut și colab. (2009) raportează o creștere a BOD5 în cadrul procesului de germinare, pentru spanacul de apă cultivat în condiții acvaponice, folosind cinci regimuri hidraulice diferite (0,8 L/min; 1,6 L/min; 2,4 L/min; 3,2 L/min și 4 L/min) [133]. Acest fapt este argumentat de eliberarea materiei organice dizolvate sau în suspensie și de procesul de descompunere a carbonului organic solubil de către comunitățile microbiene [133]. De asemenea, în cadrul aceluiași studiu [133], este punctat rolul major al densității și suprafeței radiculare în stabilirea valorilor procentuale ale BOD5. Filtrarea particulelor solide de către suprafața radiculară existentă în cadrul fiecărei unități acvaponice și gradul ridicat de absorbție a nutrienților determină o evoluție descendentă a BOD5. Astfel, în contextul menționat anterior. Endut și colab. (2009) înregistrează următoarele valori procentuale ale BOD5: 47,3%; 54,5%; 55,4%; 61,4% și 65,5% [133].

Totalul solidelor în suspensie (TSS) a înregistrat o evoluție relativ ascendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig.3. 28). Astfel, valori mari ale TSS se consemnează în faza incipientă a perioadei experimentale, cel mai probabil datorită procesului de transplantare, fapt explicat anterior, în cadrul paragrafului privind evoluția concentrației de TOC.

Spre sfârșitul perioadei experimentale, se înregistrează valori superioare ale TSS în cadrul variantei martor, fără plante (fig. 3.28). Acest lucru confirmă ipoteza expusă anterior, conform căreia valorile densității și a suprafeței radiculare din cadrul unei unități acvaponice influențează în mod direct concentrația de TSS. Ca atare, în cadrul unui sistem recirculant integrat, gradul de dezvoltare a suprafeței radiculare aferentă biomasei vegetale este într-un raport de inversă proporționalitate față de concentrația de TSS, aceasta funcționând ca un sistem de filtrare la nivelul unităților acvaponice.

Valorile medii ale concentrației de TSS din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $50,07 \pm 16,79 \text{ mg/L}$ – BH1; $44,72 \pm 16,33 \text{ mg/L}$ – BH2; $39,82 \pm 15,81 \text{ mg/L}$ – BH3 și $50,43 \pm 15,82 \text{ mg/L}$ în cazul variantei martor. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între grupul de variante experimentale

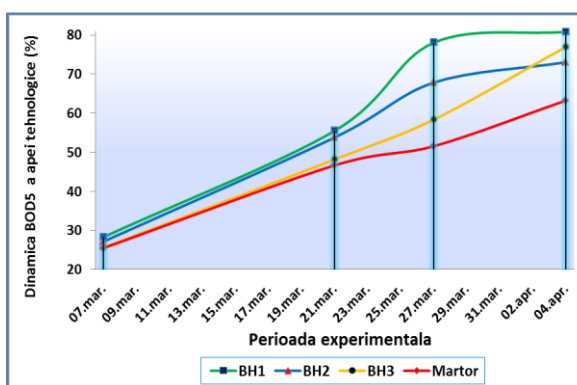


Fig. 3.27. Evoluția BOD5 la nivelul unităților acvaponice

format din (BH2, BH3) și cel format din BH1 și varianta martor. Testul *post-hoc Duncan* și *Tukey's – B* împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: BH2+BH3; BH1+varianta martor.

Endut și colab. (2009) în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf BOD5) consemnează următoarele rate de îndepărtare a TSS: 67%; 69,5%; 72,2%; 79% și 82,9% [133]. Lin și colab. (2005) raportează o rată de îndepărtare a TSS cuprinsă între 55 – 66% pentru folosirea zonelor umede în scopul tratării efluentului provenit din creșterea creveților, folosind un debit de alimentare suprimat între 42,7 și 53,9 m³/zi [169].

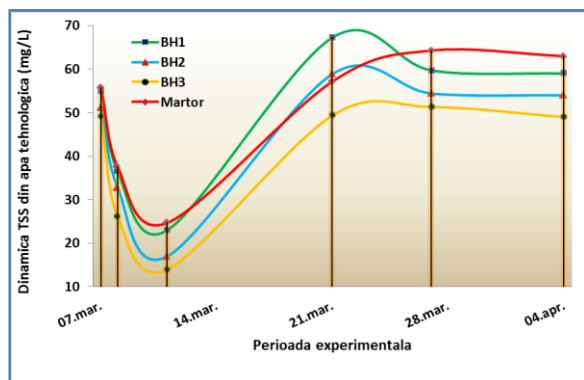


Fig. 3.28. Evoluția concentrației de TSS la nivelul unităților acvaponice

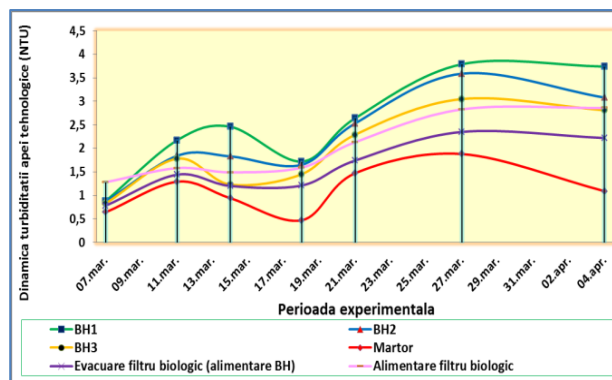


Fig. 3.29. Evoluția turbidității la nivelul unităților acvaponice

Turbiditatea apei tehnologice a înregistrat o dinamică ascendentă (fig. 3.29), indusă în mare măsură de densitatea rădăcinilor și suprafața radiculară, dar și de parametrii de regim hidraulic aplicați. Astfel, în cadrul variantei martor se consemnează cele mai mici valori ale turbidității (fig. 3.29), lipsa plantelor fiind principala cauză generatoare a acestei situații. Valori mai mici ale turbidității sunt consemnate în cadrul punctului de prelevare situat la evacuarea unității de filtrare biologică, comparativ cu cele consemnate la alimentarea acestei unități (fig. 3.29). Valorile medii ale turbidității din punctele de prelevare aflate la evacuarea unităților acvaponice sunt următoarele: $2,48 \pm 1,04$ NTU – BH1; $2,2 \pm 0,93$ NTU – BH2; $1,92 \pm 0,83$ NTU – BH3 și $1,11 \pm 0,48$ NTU în cazul variantei martor.

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între grupul de variante experimentale format din (BH2, BH3) și cel format din BH1 și varianta martor. La alimentarea unităților acvaponice (evacuarea filtrului biologic) s-a înregistrat o valoare medie a turbidității de $1,56 \pm 0,57$ NTU, în timp ce la alimentarea unității de filtrare biologică s-a înregistrat valoarea medie de $1,96 \pm 0,64$ NTU. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) au fost înregistrate între primele trei variante experimentale (BH1, BH2, BH3) și varianta martor, precum și între BH1 și BH3. Testul *post-hoc Duncan* și *Tukey's – B* împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1+BH2; BH2+BH3; varianta martor+alimentare modul acvaponic (evacuare unitate de filtrare biologică); alimentare unitate de filtrare biologică.

3.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului

Conceptul de sistem acvaponic implică un proces de echilibrare a diverselor concentrații de macro și micronutrienți, prezente la un moment în apa tehnologică [214]. Licamele (2009) menționează posibilitatea optimizării concentrației de nutrienți din cadrul apei tehnologice prin creșterea biomasei piscicole sau a celei vegetale și prin modificarea rației de furajare sau a compoziției chimice și biochimice aferentă tipului de furaj folosit [195]. Al-Hafedh și colab. (2008) evidențiază importanța cunoașterii bilanțului principalilor nutrienți din cadrul sistemelor recirculante integrate [83]. McMurtry și colab. (1990) punctează interesul strident manifestat de comunitatea academică internațională față de necesitatea normării rațiilor plante : pești : cantitatea de hrană administrată : tipul de hrană administrată, dar și a dimensionării optime a

unităților de filtrare biologică, în cadrul sistemelor recirculante integrate [121]. Graber și Junge (2009) remarcă limitarea procesului de fitoremediere la nivelul sistemelor integrate, fapt cauzat de o serie de variabile precum suprafața de cultură, intensitatea luminoasă sau fotoperiodicitatea [76].

Bilanțul azotului În analiza unui sistem recirculant integrat, ciclul azotului beneficiază de cea mai mare atenție, fapt confirmat și de Licamele (2009) care îl descrie drept proces critic în vederea menținerii vieții în cadrul sistemului [195]. Dediu (2011) caracteriza generarea de reziduri metabolice și tratarea apei drept principalele procese ce au loc în cadrul sistemelor recirculante integrate [216].

Procesul de reutilizarea a apei tehnologice în cadrul sistemelor recirculante integrate presupune, în principal, îndepărtarea metaboliților sau conversirea acestora în compuși mai puțin toxici. În scopul realizării unei imagini clare legate de ciclul azotului în cadrul sistemului integrat, un prim pas a fost reprezentat de determinarea ratei de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) și a ratei de îndepărtare a nitraților, la nivelul modulului acvaponic.

Rata de îndepărtare a TAN înregistrează o evoluție fluctuantă, cu tendință puternic ascendentă spre sfârșitul perioadei experimentale (fig. 3.30). Evoluția fluctuantă este dată atât de necesitățile nutriționale ale biomasei vegetale pe parcursul perioadei de creștere și dezvoltare, cât și de intensitatea proceselor de oxidare de la nivelul suprafeței radiculare.

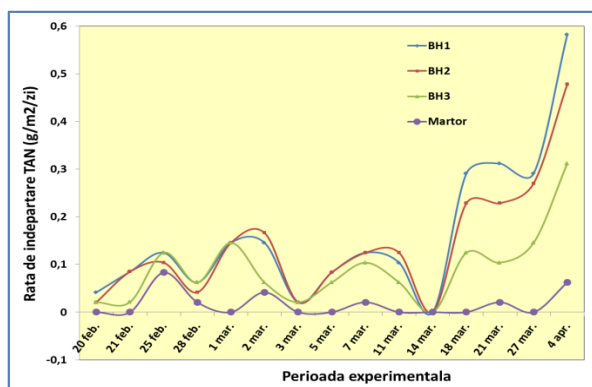


Fig. 3.30. Evoluția ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul unităților acvaponice

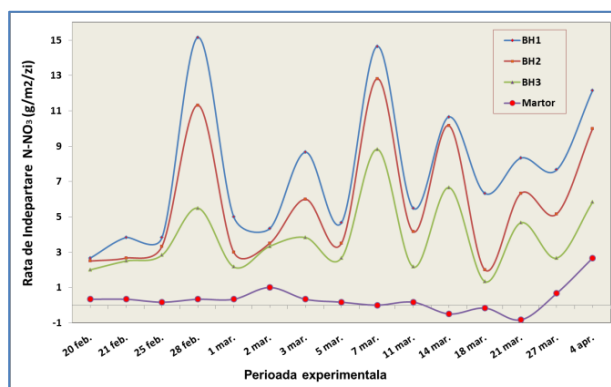


Fig. 3.31. Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul unităților acvaponice

Astfel, prima variantă experimentală (BH1) a înregistrat cea mai mare rată de îndepărtare a TAN-ului, urmare a aplicării a celei mai mari densități de creștere a spanacului, de 59 plante/m². Cel mai probabil, atât rata de absorbție a biomasei de spanac, cât și rata de oxidare a biofilmului de la nivelul suprafeței radiculare au înregistrat valori superioare în cazul BH1, comparativ cu celelalte două variante experimentale (BH2 și BH3).

Valorile medii ale ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $0,16 \pm 0,06 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH1; $0,14 \pm 0,07 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH2; $0,09 \pm 0,04 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH3 și $0,01 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor [214]. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între primele trei variante experimentale (BH1, BH2, BH3) și varianta martor și de asemenea, între prima variantă experimentală BH1 și BH3. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1+BH2; BH2+BH3; varianta martor.

Dediu (2009) raportează o rată de îndepărtare a azotului amoniacal total cuprinsă în ecartul 2,6 – 12,05 mg/L/zi, în condițiile unui sistem recirculant integrat, folosind tehnica acvaponică DWC și combinația de specii bester – salată verde [211]. Dediu (2011) consemnează o rată de îndepărtare a TAN de $0,28 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru biomasa de salată roșie, $0,29 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru biomasa de salată verde și $0,31 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru biomasa de busuioc, cultivate în condiții acvaponice în cadrul unui sistem recirculant integrat [216]. Endut și colab. (2010)

raportează o rată de îndepărtare a azotului amoniacal total cuprinsă în ecartul 4,45 – 12,12mg/L/zi, în condițiile testării a cinci regimuri hidraulice în cadrul unui sistem recirculant integrat [58].

Rata de îndepărtare a nitraților înregistrează o dinamică puternic fluctuantă (fig. 3.31), fapt ce confirmă cele afirmate anterior, în ceea ce privește alternarea perioadelor de maximă absorbție nutrițională cu cele de repaos nutrițional. Cercetări anterioare confirmă necesitatea absorbției de azot sub formă de nitrați ai biomasei de cultură [217]. În cazul în care amoniul este forma predominantă de azot, creșterea plantelor este încetinită [216, 217]. În dreptul variantei martor (fără plante) sunt înregistrate valori negative ale ratei de îndepărtare a nitraților la începutul celei de-a doua părți a perioadei experimentale (fig. 3.31). O posibilă cauză este legată de existența procesului de oxidare de-a lungul tronsonului dintre punctul de evacuare a unității de filtrare biologică și evacuarea unității acvaponice aferentă variantei martor. Biofilmului bacterian se dezvoltă de regula pe suprafața din interiorul conductelor sau pe pereții interiori ai unității acvaponice.

În cadrul ultimei săptămâni experimentale, acest fenomen a fost urmat de consemnarea unei serii de valori pozitive ale ratei de îndepărtare a nitraților în cazul variantei martor, valori superioare celor înregistrate în restul perioadei experimentale (fig. 3.31). Afirmatia anterioară poate fi corelată cu acumularea de substanță organică din cadrul sistemului recirculant integrat. Astfel, spre finalul perioadei experimentale comunitățile de bacterii autotrofe înregistrează cel mai probabil o tendință descendentă, cauzată de statutul dominant al bacteriilor heterotrofe.

Valorile medii ale ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: 2,66 g/m²/zi – BH1; 1,99 g/m²/zi – BH2; 1,33 g/m²/zi – BH3 și -0,83 g/m²/zi în cazul variantei martor [214]. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între toate cele patru variante experimentale (BH1, BH2, BH3 și varianta martor). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; varianta martor.

Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VTR), consemnată la nivelul unității de filtrare biologică, înregistrează o tendință ascendentă, cu fluctuații majore spre sfârșitul perioadei experimentale (fig. 3.32). Conform Diaz și colab. (2012), în evaluarea performanței unui biofiltru se ia în considerare fie suprafața specifică sau volumul acestuia [229]. Ratele de nitrificare în cadrul filtrelor de tip trickling sunt mai evidente în momentul raportării acestora la unitatea de volum, comparativ cu raportarea la suprafața specifică [229].

În cazul prezentului experiment, rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VTR), consemnată la nivelul unității de filtrare biologică, a înregistrat valori în ecartul 0,16 – 2,16 g/m³/zi, cu o medie a întregii perioade de 0,79g/m³/zi [214].

Conform Eding și colab. (2006) și Lyssenko și Wheaton (2006), valoarea ratei de îndepărtare a TAN-ului raportată la suprafața specifică, pentru filtrele biologice tip trickling, înregistrează valori optime în ecartul 0,24 – 0,64g/m²/zi [230, 231].

Evoluția cantității de azot introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a avut o tendință fluctuantă, relativ ascendentă, condiționată de regimul de furajare aplicat (figura 3.33). De-a lungul perioadei experimentale s-au administrat în total 12.363,3g furaj *Clasic Extra 1P* și 11.579,5g furaj *Nutra Pro MP-T*. Concentrația proteică a furajului administrat a fost verificată prin analize de laborator, aplicând metoda Kjeldahl.

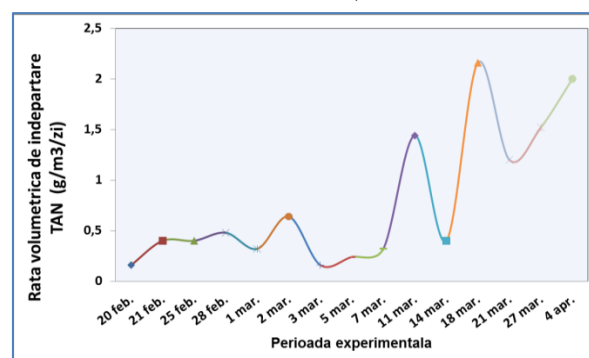


Fig. 3.32. Evoluția ratei volumetrice de îndepărtare a azotului amoniacal total (VTR)

Astfel, s-a constatat o concentrație în proteină de 42,1% aferentă furajului Clasic Extra 1P și 50,73% pentru Nutra Pro MP-T. Dat fiind aceste informații, s-a putut calcula cantitatea totală de azot (TKN) introdusă în cadrul sistemului integrat prin intermediul hranei administrate.

Ca atare, s-a consemnat o cantitate totală de TKN introdusă în sistem de-a lungul perioadei experimentale de 1772,68g, cu o medie zilnică de 118,18g [214]. Din această cantitate, 832,8g TKN au fost introduse prin intermediul furajului *Clasic Extra 1P* (41%PB), cu o medie zilnică de 55,52g și respectiv 939,89g TKN prin intermediul furajului *Nutra Pro MP-T* (50%PB), cu o medie zilnică de 62,66g [214].

De regula, în cazul peștilor, aproximativ 30-35% din hrana consumată este convertită în biomasă corporală, restul fiind regăsit în reziduurile fecale (20-30%) și nefecale (30-50%) [216].

Azotul (TKN) din carnea de pește a fost determinat prin metoda *Kjeldahl*, analiza fiind efectuată pe un lot de 5 exemplare, atât la începutul, cât și la finalul perioadei experimentale. A fost consemnată o valoare medie de 2,38 g% TKN pentru întreg lotul experimental, în perioada premergătoare celei experimentale (fig. 3.34). La finalul perioadei experimentale s-au înregistrat valori medii de 2,85 g% TKN pentru G1 (lotul de pești hrănit cu furaj *Clasic Extra 1P* - 41%PB) și 2,86g% TKN pentru G2 (lotul de pești hrănit cu furaj *Nutra Pro MP-T* - 50%PB) (fig. 3.34) [214].

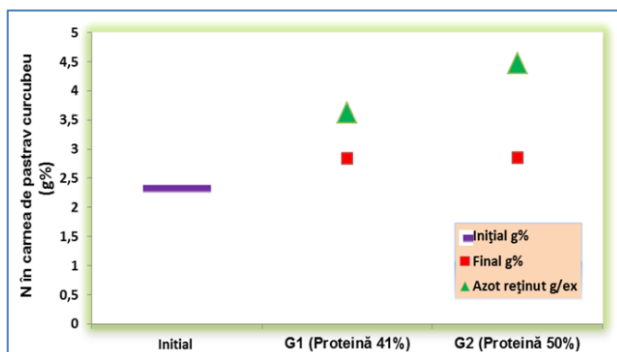


Fig. 3.34. Azotul (TKN) din țesutul muscular al păstrăvului curcubeu

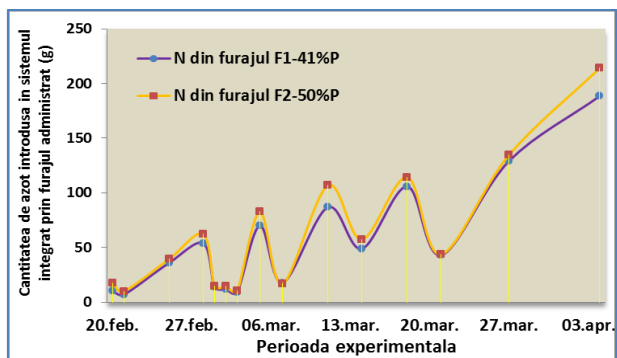


Fig. 3.33. Evoluția cantității de azot introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

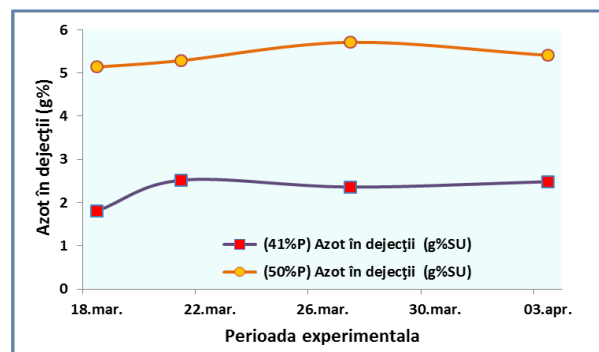


Fig. 3.35. Evoluția concentrației de azot din reziduurile fecale

Diferențele dintre concentrațiile finale de TKN ale celor două variante experimentale (G1 și G2) sunt nesemnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$), în timp ce diferențele dintre concentrația inițială de TKN și cea finală (G1+G2) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Rezultate asemănătoare (2,58 – 2,87g%) ale concentrației TKN din carnea de păstrăv curcubeu sunt consemnate și în cadrul altor studii experimentale [198].

În ceea ce privește azotul reținut în țesutul muscular al materialului piscicol pe durata perioadei experimentale, pentru G1 s-a înregistrat o valoare medie de 3,62 g/exemplar, în timp ce pentru G2 se consemnează 4,47 g/exemplar (fig. 3.34) [214]. Diferențele dintre cele două variante experimentale (G1 și G2), legate de cantitatea de azot reținută de biomasa piscicolă de-a lungul perioadei experimentale, sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Evoluția concentrației de azot (TKN) din reziduurile fecale înregistrează o tendință slab ascendentă în prima jumătate a perioadei experimentale, pentru grupul G1 (hrănit cu furaj 41%P) și la începutul penultimei săptămâni experimentale, în cazul grupului G2 (hrănit cu furaj 50%P) (fig. 3.35). Dediu (2011) confirmă valorile mici pentru pierderile de proteină prin

intermediul materiilor fecale, datorită digestibilității ridicate a proteinelor din hrana administrată biomasei piscicole [216].

Valoarea medie a azotului din cadrul reziduurilor fecale, înregistrată de-a lungul perioadei experimentale pentru biomasa piscicolă G1 este de $2,29 \pm 0,33\text{g\%}$, în timp ce pentru G2 se consemnează o valoare medie de $5,38 \pm 0,24\text{g\%}$. Diferențele dintre cele două variante experimentale (G1 și G2), legate de concentrația azotului din cadrul reziduurilor fecale, sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Astfel, se constată o utilizare mai eficientă a proteinei din furaj în cazul grupului G1 (hrănit cu furaj 41%P), comparativ cu G2 (hrănit cu furaj 50%P).

Concentrația de azot (TKN) din frunzele și rădăcinile spanacului, obținut în condiții acvaponice, utilizând cele trei densități de creștere (BH1 - 59 plante/ m^2 , BH2 - 48 plante/ m^2 și BH3 - 39 plante/ m^2), a fost determinată atât înainte de începerea perioadei experimentale (din răsadurile obținute), cât și la sfârșitul perioadei experimentale (fig. 3.36). Valorile obținute au fost comparate cu cele înregistrate din analiza spanacului din comerț, obținut convențional, prin cultură în sol (fig. 3.36). Analiza solului în ceea ce privește concentrația de azot a fost realizată pe un număr de cinci probe, obținându-se o valoare medie de 0,42% TKN [232].

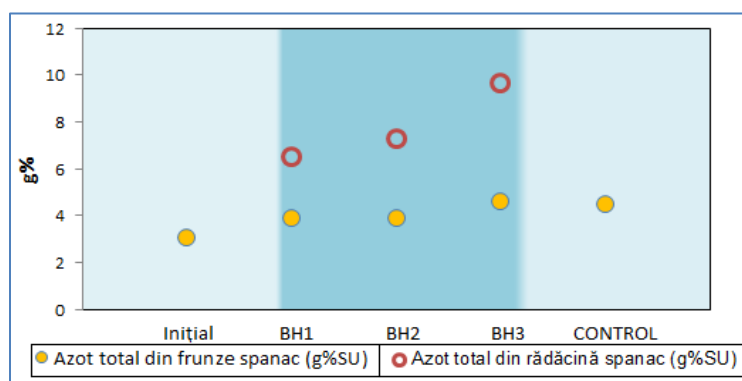


Fig. 3.36. Concentrația de azot (TKN) din biomasa foliară și cea radiculară a spanacului

Concentrația de azot (TKN) din biomasa foliară a răsadurilor de spanac, transplantate în sistemul recirculant integrat înainte de începerea perioadei experimentale, a înregistrat o valoare medie de $3,05 \pm 0,11\text{ g\%}$ substanță uscată (SU). La finalul perioadei experimentale s-a obținut o valoare medie a azotului din frunzele de spanac de $3,91 \pm 0,08\text{ g\%SU}$ în cazul variantelor BH1 și BH2, în timp ce pentru varianta BH3 s-a consemnat concentrația medie de $4,6 \pm 0,05\text{ g\%SU}$. Concentrația de azot (TKN) din frunzele spanacului cultivat convențional, în sol, a înregistrat valoarea de $4,49 \pm 0,13\text{ g\%SU}$ (CONTROL).

Diferențele dintre primele două variante experimentale (BH1 și BH2) și a treia variantă experimentală (BH3) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). De asemenea, diferențele dintre primele două variante experimentale (BH1 și BH2) și CONTROL (spanacului cultivat convențional, în sol) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), în timp ce diferențele dintre CONTROL și BH3 sunt nesemnificative statistic ($p > 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: BH1+BH2; BH3+CONTROL.

Concentrația de azot (TKN) din biomasa radiculară a spanacului, la finalul perioadei experimentale, a înregistrat o valoare medie de $6,5 \pm 0,19\text{ g\%SU}$ în cazul variantei BH1, $7,27 \pm 0,15\text{ g\%SU}$ la varianta BH2, în timp ce pentru varianta BH3 s-a consemnat concentrația medie de $9,69 \pm 0,11\text{ g\%SU}$. Diferențele înregistrate între cele trei variante experimentale (BH1, BH2 și BH3) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3.

Este necesar a fi punctată predilecția spanacului obținut în condiții acvaponice spre a acumula o cantitate însemnată de azot (TKN) la nivelul biomasei radiculare. Acest fapt generează diferențe semnificative între variantele experimentale, densitatea de cultură a biomasei vegetale fiind ca atare, o variabilă importantă ce trebuie luată în considerație în proiectarea sistemelor recirculante integrate.

Prin cumulara informațiilor prezentate anterior în acest subcapitol (3.3.3), a rezultat bilanțul azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat (tabel 3.2).

Tabelul 3.2. Bilanțul azotului total din sistemul recirculant integrat

Componenta		Conținut în N (g)	Pondere (%)
Input	Furaj	1772,68	100
Plante	BH1 (59 plante/m ²)	56,13	3,47
	BH2 (48 plante/m ²)	61,98	3,9
	BH3 (39 plante/m ²)	85,38	5,22
Pești	<i>Oncorhynchus mykiss</i> - G1 (furaj 41%P)	176,2	9,94
	<i>Oncorhynchus mykiss</i> - G2 (furaj 50%P)	194,99	10,1
Reziduuri grosiere		212,9	12,01
Furaj neconsumat + Azot transformat		985,1	55,36

Cantitatea de azot neregăsită la nivelul compartimentelor studiate ale sistemului este considerată fie ca parte a deșeurilor eliminate prin spălare la nivelul unității de îndepărtare a solidelor, fie eliminată sub formă de azot liber. Astfel, un procent de peste 12% din totalul cantității de azot introdus în sistemul recirculant integrat, de-a lungul perioadei experimentale, se regăsește la nivelul biomasei vegetale (fig. 3.37).

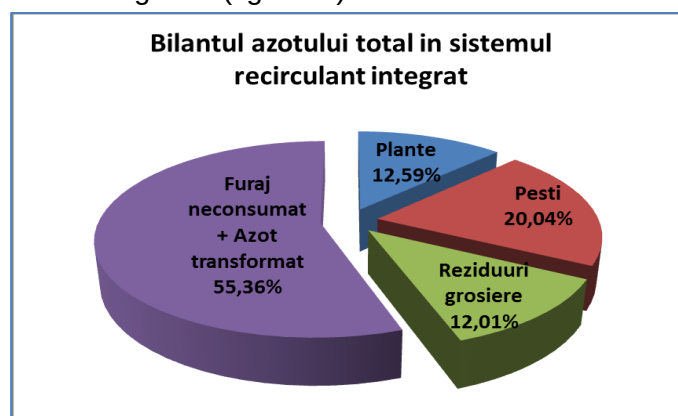


Fig. 3.37. Cuantificarea procentuală a azotului la nivelul compartimentelor studiate

Procentul obținut este mai bun în comparație cu cel raportat în cadrul altor cercetări asemănătoare (10,17%) [216]. La nivelul biomasei piscicole se regăsește un procent din azotul total introdus în sistem de aproximativ 20% (fig. 3.37), mai mic în comparație cu cel menționat în cadrul altor cercetări asemănătoare (26,7%) [216]. Reziduurile grosiere cuantifică aproximativ 12% din totalul azotului introdus în sistem (fig. 3.37). Dediu (2011) consemna un procent al reziduurilor grosiere de 16,94% din totalul azotului introdus de-a lungul perioadei experimentale în cadrul sistemului acvaponic experimental [216].

Bilanțul fosforului și al calciului

Schachtman și colab. (1998) caracterizează fosforul drept cel mai limitativ macronutrient, după azot, în ceea ce privește creșterea plantelor în condiții acvaponice [233]. Fosforul este un mineral important în cadrul acizilor nucleici și a membranelor celulare, principalele componente structurale ale țesutului plantelor, fiind implicat direct în cadrul proceselor de transformare a

energiei [234]. Suplimentarea concentrației de fosfor din apa tehnologică prin intermediul furajului administrat este absolut necesară în majoritatea cazurilor [235]. De regulă, absorbția de fosfor a biomasei vegetale este în relație directă cu performanța de creștere a biomasei piscicole, valori mari ale ratei de retenție înregistrându-se în condițiile unor performanțe de creștere notabile [236].

În contextul actual, evaluarea concentrațiilor microelementelor și macroelementelor secundare („*trace elements*”) din fructe și legume este o temă de studiu frecvent abordată la nivel mondial, în cadrul publicațiilor științifice de specialitate [218]. Macroelementele secundare precum calciu, nu asigură un număr mare de calorii, în schimb acestea joacă un rol esențial în reglarea proceselor metabolice ale organismului uman [237].

Rata de retenție a fosforului (P_2O_5) la nivelul unităților acvaponice a înregistrat o evoluție relativ ascendentă, cu fluctuații semnificative de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.38). Cel mai probabil, această evoluție este motivată de necesitățile nutriționale existente în cursul diverselor stadii de dezvoltare a spanacului și de cantitatea de fosfor introdusă în cadrul sistemului la un moment dat, prin intermediul hranei administrate. Punctele de maximă fluctuație a ratei de retenție a fosforului se întâlnesc la sfârșitul primelor zece zile și de asemenea, la începutul penultimei săptămâni din cadrul perioadei experimentale (fig. 3.38).

Valorile medii ale ratei de retenție a fosforului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $3,88 \pm 1,87$ g/m²/zi – BH1; $3,07 \pm 1,63$ g/m²/zi – BH2; $2,42 \pm 1,21$ g/m²/zi – BH3 și $0,09$ g/m²/zi în cazul variantei martor [218].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între toate cele patru variante experimentale (BH1, BH2, BH3 și varianta martor). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; varianta martor.

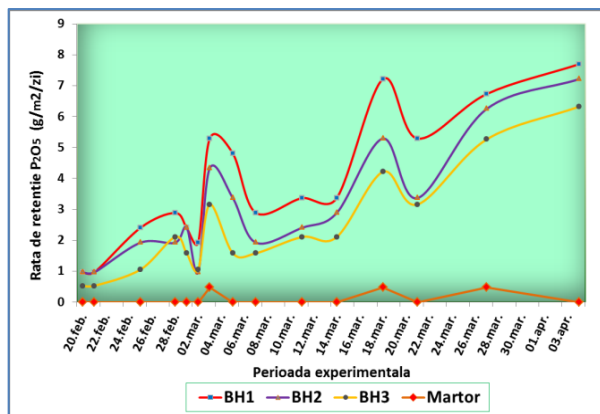


Fig. 3.38. Evoluția ratei de retenție a fosforului la nivelul unităților acvaponice

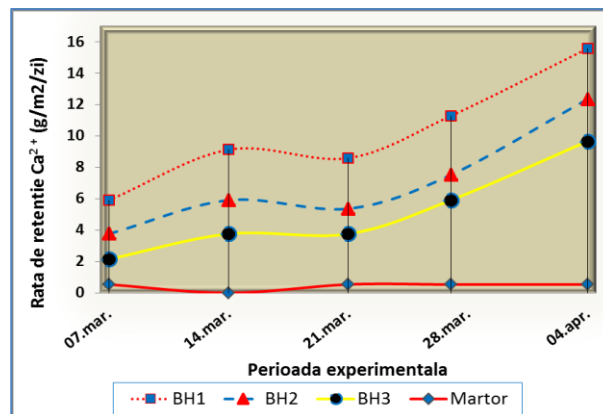


Fig. 3.39. Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice

Evoluția ratei de retenție a calciului consemnează o tendință ascendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.39). Comparativ cu evoluția ratei de retenție a fosforului, unde s-au înregistrat fluctuații semnificative, în cazul calciului rata de retenție a înregistrat o evoluție relativ liniară în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale (fig. 3.39). Acest lucru se datorează în mare măsură necesarului nutrițional a spanacului în diversele stadii de creștere și dezvoltare.

Se observă un punct de minim al ratei de retenție a calciului în cazul BH1, la sfârșitul primei jumătăți a perioadei experimentale (fig. 3.39), moment în care se înregistrează și un declin a ratei de retenție a fosforului (fig. 3.38). În condițiile în care concentrații ridicate de calciu determină precipitarea fosforului [87], situație neîntâlnită în cazul descris anterior, explicația se poate baza pe un declin nutrițional al biomasei de spanac. De asemenea, prezența

concentrațiilor mari de sodiu în apa tehnologică determină scăderea rate de retenție a calciului [183].

Valorile medii ale ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $10,09 \pm 3,61 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH1; $6,98 \pm 3,28 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH2; $5,05 \pm 2,9 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – BH3 și $0,04 \pm 0,02 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor [218]. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între toate cele patru variante experimentale (BH1, BH2, BH3 și varianta martor). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; varianta martor.

Evoluția cantității de fosfor și calciu introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a avut o tendință fluctuantă, relativ ascendentă, condiționată de regimul de furajare aplicat (figura 3.40).

De-a lungul perioadei experimentale s-au administrat în total 12.363,3g furaj *Clasic Extra 1P* și 11.579,5g furaj *Nutra Pro MP-T*. Astfel, s-a constatat o concentrație în fosfor de 0,9% aferentă furajului *Clasic Extra 1P* și 1,2% pentru *Nutra Pro MP-T*. În ceea ce privește concentrația de calciu, furajul *Clasic Extra 1P* nu conține calciu, în timp ce în cazul furajului *Nutra Pro MP-T* se consemnează o concentrație de calciu de 1%.

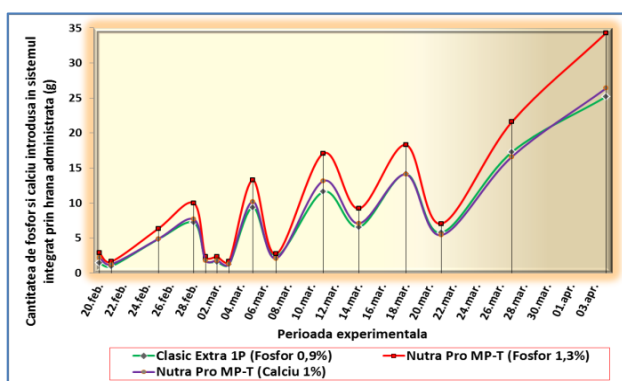


Fig. 3.40. Evoluția cantității de fosfor și calciu introduse în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

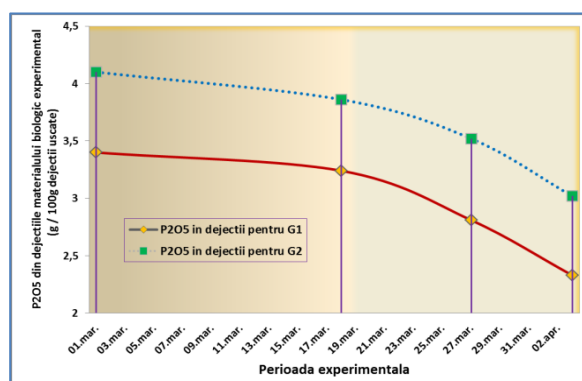


Fig. 3.41. Evoluția concentrației de fosfor din reziduurile fecale

În contextul informațiilor prezentate, a fost posibil calculul cantității totale de fosfor și calciu introdusă în cadrul sistemului integrat prin intermediul hranei administrate. Ca atare, s-a consemnat o cantitate totală de fosfor introdusă în sistem de-a lungul perioadei experimentale de 261,8g, cu o medie zilnică de 17,45g [218]. Din această cantitate, 111,27g fosfor au fost introduse prin intermediul furajului *Clasic Extra 1P* (41%PB), cu o medie zilnică de 7,41g și respectiv 150,53g fosfor prin intermediul furajului *Nutra Pro MP-T* (50%PB), cu o medie zilnică de 10,03g [218].

Cantitatea totală de calciu introdusă în sistemul integrat de-a lungul perioadei experimentale a fost de 115,8g, cu o medie zilnică de 7,72g.

Evoluția concentrației de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale înregistrează o tendință descendentă, în special în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale, manifestată atât la grupul G1, cât și în cadrul G2 (fig. 3.41). Valoarea medie a fosforului din cadrul reziduurilor fecale, înregistrată de-a lungul perioadei experimentale pentru biomasa piscicolă G1 este de $2,95 \pm 0,48\text{g}\%$, în timp ce pentru G2 se consemnează o valoare medie de $3,62 \pm 0,47\text{g}\%$ [218].

Diferențele dintre cele două variante experimentale (G1 și G2), legate de concentrația de fosfor din cadrul reziduurilor fecale, sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Reziduurile fecale ale peștilor înregistrează valori semnificativ diferite în ceea ce privește compoziția chimică a acestora [238, 239, 240]. Naylor și colab. (1999) punctează dificultatea în ceea ce privește compararea concentrațiilor de fosfor din reziduurile fecale, consemnate în

diversele lucrări științifice, datorită condițiilor diferite de generare, separare, stocare și colectare a acestora [238]. Aceștia raportează o concentrație medie de fosfor din reziduurile fecale ale păstrăvului curcubeu de 2,54g% [238].

Valori similare legate de concentrația de fosfor din reziduurile fecale ale păstrăvului curcubeu sunt raportate de Bergheim și colab. (1993) - 2,22g% [241] și Olson (1992) – 3,51g% [240]. Valori mai mici, comparativ cu cele înregistrate în prezentul experiment, au fost raportate de Westerman și colab. (1993) 0,35 – 1,85g% [239], Mudrak (1981) 1,79g% [242] și Axler și colab. (1997) 0,94g% [243].

Moccia și colab. (2007) au consemnat diverse valori ale fosforului din reziduurile fecale ale păstrăvului curcubeu prin administrarea unor furaje ce conțin concentrații diferite de fosfor astfel: 2,51±0,13g% pentru furaj cu 1,12% fosfor; 3,86±0,13 pentru furaj cu 1,2% fosfor, 2,25±0,07g% pentru furaj cu 0,9% fosfor și 2,87±0,86g% pentru furaj cu 1,08% fosfor [244].

Satoh și colab. (2003) consemnează concentrații mari de fosfor în reziduurile fecale ale păstrăvului curcubeu, direct proporționale cu mărimea acestuia, consecință directă a reducerii ratei de retenție a fosforului din furaj [245].

De asemenea, Bureau și Cho (1999) observă concentrații mari de fosfor în dejecțiile solubile și insolubile ale păstrăvului curcubeu ca urmare a scăderii ratei de retenție a fosforului în carcasă [246].

Concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrăv curcubeu a înregistrat, înainte de începerea perioadei experimentale, o valoare medie de 252,66±7,25mg/100g carne de pește (fig. 3.42) [218]. La sfârșitul perioadei experimentale, a fost obținută o valoare medie a fosforului din carnea de păstrăv curcubeu de 248,7±12,5mg/100g în cazul G1 și 249,9±13,62mg/100g pentru G2 (fig. 3.42) [218].

Diferențele înregistrate sunt nesemnificative din punct de vedere statistic ($p>0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: Inițial; G1; G2.

Valorile înregistrate sunt mai mici decât cele raportate de Satoh și colab. (2003), care au administrat două tipuri de furaje (cu 1,8% fosfor și cu 0,99% fosfor) unei biomase piscicole de păstrăv curcubeu cu o valoare inițială a fosforului de 500mg/100g carne de pește [245].

La finalul perioadei experimentale, aceștia au consemnat o concentrație medie de fosfor din carnea de păstrăv curcubeu de 370mg/100g, respectiv 430mg/100g [245].

Rodehutsord (2000) raportează o concentrație maximă de fosfor din carnea de păstrăv curcubeu de 520mg/100g, precizând faptul că odată cu atingerea acestei limite, cantitatea de fosfor administrată în continuare prin hrana consumată se regăsește în cadrul reziduurilor fecale [247].

Kim și colab. (1998) sesizează faptul că păstrăvul curcubeu hrănit cu furaj pe bază de făină de pește a înregistrat o rată de retenție a fosforului mai mare, comparativ cu cel hrănit cu furaj pe bază de proteine din soia [248].

În același context, Green și colab. (2002) consemnează o rată de retenție a fosforului mai mare în cazul păstrăvului curcubeu hrănit cu furaj de concentrație ridicată în lipide și concentrație scăzută a fosforului [249].

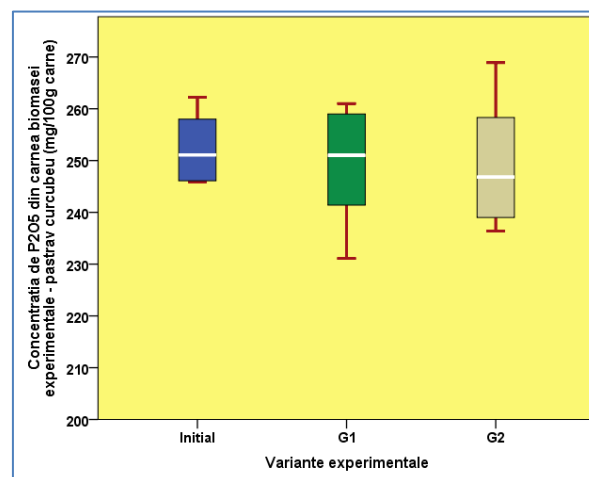


Fig. 3.42. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrăv curcubeu

Din analiza histogramelor de distribuție a datelor obținute pentru concentrația de fosfor din carnea de păstrăv curcubeu, în cazul momentului inițial (înainte de începerea experimentului) se poate observa o distribuție relativ simetrică, cu mai multe valori extreme concentrate în partea stângă (fig. 3.43).

Distribuția valorilor finale ale concentrației de fosfor din carnea de păstrăv curcubeu a variantei experimentale G1 este puțin înclinată spre stânga, având mai multe valori extreme în partea dreaptă. Astfel, valorile sunt dispersate pe un interval mai mare în jurul mediei, probabilitatea pentru valori extreme fiind mai mică (fig. 3.43).

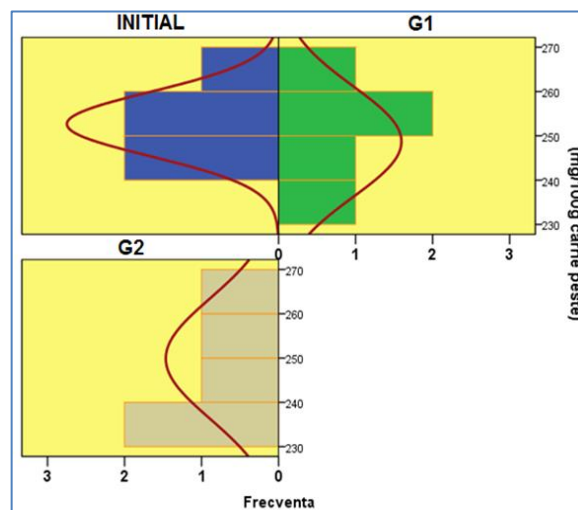


Fig. 3.43. Histograme distribuției valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrăv curcubeu

Distribuția valorilor finale ale concentrației de fosfor din carnea de păstrăv curcubeu a variantei experimentale G2 este ușor înclinată spre dreapta, având mai multe valori extreme spre stânga. În general, se constată o dispersare a valorilor pe un interval mai mare în jurul mediei (fig. 3.43).

Concentrația de calciu din carnea de păstrăv curcubeu a înregistrat înainte de începerea perioadei experimentale, o valoare medie de $31,11 \pm 0,96 \text{ mg/100g}$ carne de pește (fig. 3.44) [218].

La sfârșitul perioadei experimentale, a fost obținută o valoare medie a calciului din carnea de păstrăv curcubeu de $31,97 \pm 2,11 \text{ mg/100g}$ în cazul G1 și $37,84 \pm 1,96 \text{ mg/100g}$ pentru G2 (fig. 3.44) [218].

Diferențele înregistrate între G1 și G2, dar și între valorile inițiale (înregistrate înainte de începerea perioadei experimentale) și G2 sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: Inițial+G1; G2.

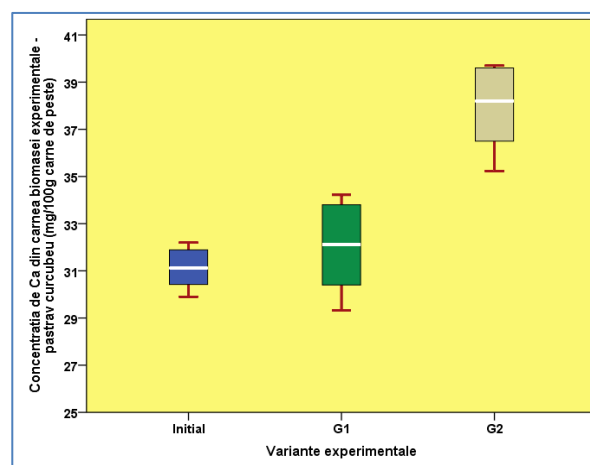


Fig. 3.44. Distribuția valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrăv curcubeu

În cadrul literaturii de specialitate s-au raportat concentrații de calciu din carnea păstrăvului curcubeu cuprinse între $42\text{--}58 \text{ mg/100g}$ [250], mai mari comparativ cu cele înregistrate în prezentul experiment, fiind menționată o rată de acumulare a calciului de $0,04 \text{ g}$ calciu la 10 g spor de biomasă [250].

Unele studii menționează o rată de acumulare mai mare în cazul concentrației de calciu din carnea de păstrăv curcubeu, în condițiile administrării furajelor fără fosfor, comparativ cu cele ce conțin fosfor și calciu în raport 1:1 [251].

Din analiza histogramelor de distribuție a datelor obținute pentru concentrația de calciu din carnea de păstrăv curcubeu, în cazul momentului inițial (înainte de începerea experimentului) se poate observa o distribuție simetrică, cu multe valori concentrate în jurul mediei și cozi mai groase, ceea ce înseamnă probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.45) [218].

Distribuția valorilor finale ale concentrației de calciu din carnea de păstrăv curcubeu a variantei experimentale G1 este înclinată spre stânga, având mai multe valori extreme în partea dreaptă. Astfel, valorile sunt dispersate pe un interval mai mare în jurul mediei, probabilitatea pentru valori extreme fiind mai mică (fig. 3.45).

Distribuția valorilor finale ale concentrației de calciu din carnea de păstrăv curcubeu a variantei experimentale G2 este înclinată spre dreapta, având mai multe valori concentrate în jurul mediei (fig. 3.45) [218].

Pentru a măsura intensitatea corelației, din punct de vedere statistic, între concentrația de fosfor (P_2O_5) și cea de calciu din carnea de păstrăvului curcubeu, s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*.

Astfel, s-a obținut o valoare a acestui coeficient de -0,329, fapt ce indică inexistența unei corelații indirecte semnificative între cele două seturi de variabile menționate anterior.

Concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a spanacului, a consemnat următoarele valori medii, la sfârșitul perioadei experimentale: 21,68±0,39mg/100g frunze proaspete (FW) – BH1; 26,88±0,63mg/100g FW – BH2; 32,23±1,32mg/100g FW – BH3 și 31,83±1,79mg/100g FW – CONTROL (spanac obținut prin metode convenționale, în sol) (fig. 3.46) [218].

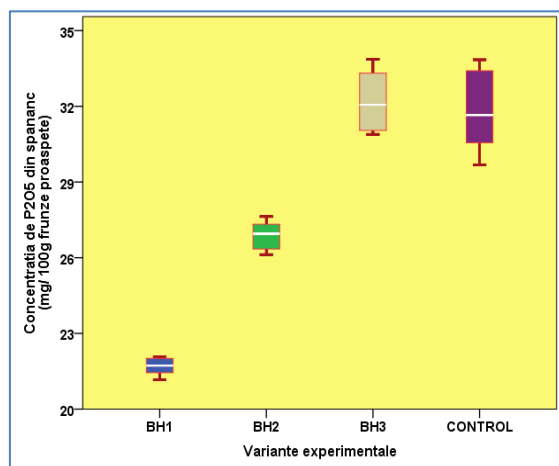


Fig. 3.46. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din frunzele proaspete de spanac

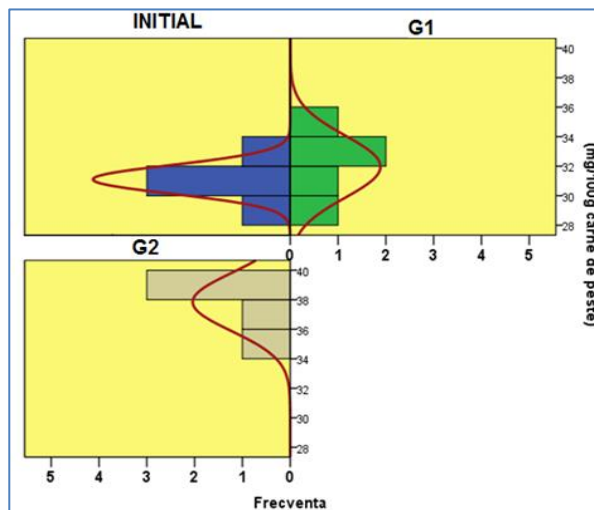


Fig. 3.45. Histogramele distribuției valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrăv curcubeu

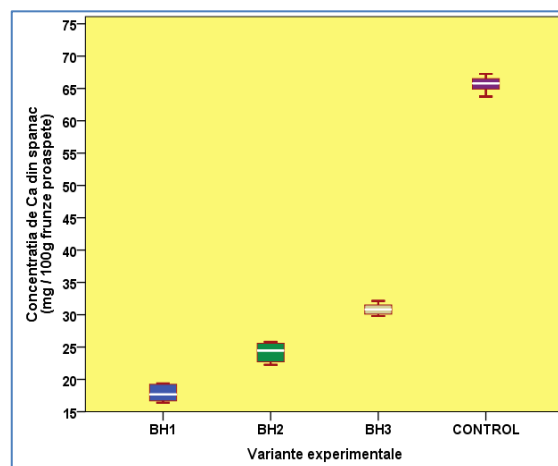


Fig. 3.47. Distribuția valorilor concentrației de calciu din frunzele proaspete de spanac

Diferențele înregistrate între variantele experimentale BH1, BH2 și BH3 sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), în timp ce diferențele înregistrate între BH3 și CONTROL sunt nesemnificative statistic ($p > 0,05$).

Testul *post-hoc Duncan și Tukey's – B* împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3+CONTROL.

Valorile obținute sunt apropiate de cele consemnate de Kaya și colab. (2001), care au raportat o concentrație de fosfor din frunzele de spanac cuprinsă între 29 – 37mg/100g FW [252]. De asemenea, Blidariu și colab. (2013) au consemnat concentrații mai mari de fosfor pentru frunzele salatei verzi cultivate în regim acvaponic (34,81 – 37,22mg/100g FW), utilizând

tehnica DWC, comparativ cu cele obținute în cazul salatei cultivate convențional, în sol (20,13mg/100g FW) [253].

Concentrația de calciu din biomasa foliară a spanacului, a consemnat următoarele valori medii, la sfârșitul perioadei experimentale: 17,88±1,39mg/100g frunze proaspete (FW) – BH1; 24,17±1,62mg/100g FW – BH2; 30,87±0,97mg/100g FW – BH3 și 65,64±1,37mg/100g FW – CONTROL (spanac obținut prin metode convenționale, în sol) (fig. 3.47) [218]. Diferențele înregistrate între variantele experimentale BH1, BH2, BH3 și CONTROL sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: BH1; BH2; BH3; CONTROL.

Diferențele foarte mari între concentrația de calciu a biomasei foliare, dintre spanacul obținut în condiții acvaponice și cel obținut în mod convențional în sol, evidențiază existența unui factor inhibitor în ceea ce privește procesul de absorbție a calciului de către biomasa de spanac existentă în cele trei variante experimentale (BH1, BH2 și BH3).

Vizual, carențele de calciu s-au manifestat în cadrul variantei experimentale BH1, unde a fost aplicată cea mai mare densitate de creștere a spanacului, prin răsucirea frunzelor nou formate și uscarea acestora la extremități (fig. 3.48). Pentru a măsura intensitatea corelației, din punct de vedere statistic, între concentrația de fosfor (P_2O_5) și cea de calciu din frunzele proaspete de spanac, s-a folosit coeficientul de corelație Pearson.



Fig. 3.48. Semne ale carenței de calciu în rândul biomasei de spanac din BH1 (foto original)

Astfel, s-a obținut o valoare a acestui coeficient de 0,675, fapt ce indică existența unei corelații directe semnificative între cele două seturi de variabile menționate anterior.

3.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale

Studiile recente au demonstrat eficiența superioară în ceea ce privește producția de biomasă vegetală folosind tehnici acvaponice, comparativ cu folosirea tehnicilor convenționale de cultură în sol [151]. Rakocy și colab. (1992) argumentează afirmația anterioară prin densitățile mari de cultură a biomasei vegetale, practicate la nivelul sistemelor recirculante integrate [151]. Astfel, în vederea menținerii unei eficiențe și profitabilități ridicate, este necesar ca un sistem recirculant integrat să funcționeze la capacitate maximă de producție piscicolă și vegetală, tot timpul anului. Acest fapt este posibil în condițiile aplicării unui management operațional menit să maximizeze atât producția piscicolă, cât și cea vegetală, prin aplicarea unui raport optim de creștere pești:plante.

Astfel, în cadrul prezentului experiment s-au folosit trei densități de creștere a biomasei de spanac, în condiții tehnologice de creștere a biomasei de păstrăv curcubeu expuse anterior (subcapitolul 3.2.). Monitorizarea creșterii biomasei vegetale experimentale asigură posibilitatea calculului unor parametri tehnologici sugestivi, în scopul evaluării și comparării performanței de creștere a spanacului din cadrul celor trei variante experimentale.

Diversi autori caracterizează analiza procesului de creștere a plantelor drept o abordare explicativă, holistică și integratoare, menită să interpreteze forma și funcțiile acestora [254, 255, 256]. Creșterea și dezvoltarea plantelor sunt funcții ale unui larg număr de procese metabolice, influențate de factori mediali și genetici [207]. Studiile legate de obținerea modelelor de creștere și înțelegerea mecanismului de funcționare al acestora nu se rezumă numai la procesele de

acumulare de substanță uscată, ci tratează de asemenea, evenimentele și procesele care determină fluctuații ale productivității plantelor, atât la nivel individual, cât și la nivelul întregii populații vegetale [257].

Rezultatele ce urmează a fi redată, în ceea ce privește performanța creșterii biomasei de spanac, s-au consemnat în condițiile de performanță tehnologică a păstrăvului curcubeu prezentate în cadrul tabelului 3.3.

Tabel 3.3. Performanța creșterii biomasei de păstrăv curcubeu de-a lungul perioadei experimentale

INDICATOR	G1 - hrănit cu furaj <i>Clasic Extra 1P: 41%PB</i>	G2 - hrănit cu furaj <i>Nutra Pro MP-T: 50%PB</i>
Sporul total de creștere (g)	12.440	14.939
Biomasa finală totală (g)	25.208	27.684
Supraviețuirea (%)	100	100

Evoluția înălțimii spanacului a fost monitorizată atât la începutul și finalul perioadei experimentale, cât și în cadrul acesteia, în patru momente diferite. Astfel, în cazul primei variante experimentale (BH1) a fost consemnată o înălțime medie inițială a biomasei vegetale de $5,79 \pm 1,15$ cm (fig. 3.49) [258]. Variația înălțimii spanacului în cadrul BH1, de-a lungul perioadei experimentale, a înregistrat următoarele valori medii: $7,55 \pm 1,25$ cm după 20 de zile de la inițierea experimentului; $9,52 \pm 1,1$ cm după 26 de zile; $10,91 \pm 1,35$ cm după 33 de zile; $12,1 \pm 1,66$ cm după 40 de zile și $14,45 \pm 2,6$ cm la finalul perioadei experimentale (fig. 3.49) [258].

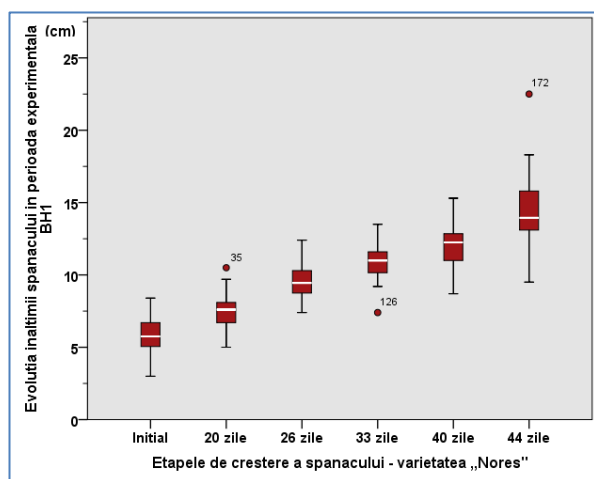


Fig. 3.49. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH1, de-a lungul perioadei experimentale

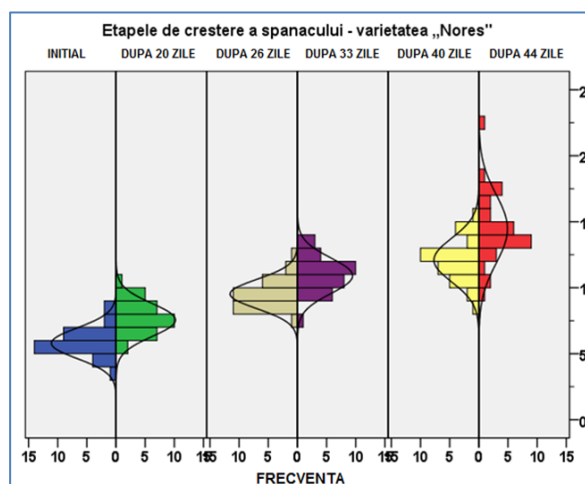


Fig. 3.50. Histogramele distribuției valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH1, de-a lungul perioadei experimentale

Distribuția valorilor consemnate în prima jumătate a perioadei experimentale este puțin boltită, cu multe valori concentrate în jurul mediei și cozi mai groase, ceea ce înseamnă probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.50). În a doua jumătate a perioadei experimentale se observă histogramme de distribuție mai aplatizate, având valorile disipate pe un interval mai mare în jurul mediei (fig. 3.50).

În cazul variantei experimentale BH2 a fost consemnată o înălțime medie inițială a biomasei vegetale de $5,58 \pm 0,99$ cm (fig. 3.51) [258]. Variația înălțimii spanacului în cadrul BH2, de-a lungul perioadei experimentale, a înregistrat următoarele valori medii: $8,12 \pm 1,1$ cm după 20 de zile de la inițierea experimentului; $12,4 \pm 1,79$ cm după 26 de zile; $13,79 \pm 1,98$ cm după 33 de zile; $14,76 \pm 2,01$ cm după 40 de zile și $17,27 \pm 3,64$ cm la finalul perioadei experimentale (fig. 3.51) [258]. Distribuția valorilor consemnate în prima jumătate a perioadei experimentale este boltită, cu multe valori concentrate în jurul mediei și cozi mai groase, ceea ce înseamnă probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.52). În a doua jumătate a perioadei experimentale se

observă histograme de distribuție mai aplatizate comparativ cu cele consemnate în cazul BH1, ceea ce denotă o uniformitate mai mare a distribuției în cadrul BH2 (fig. 3.52).

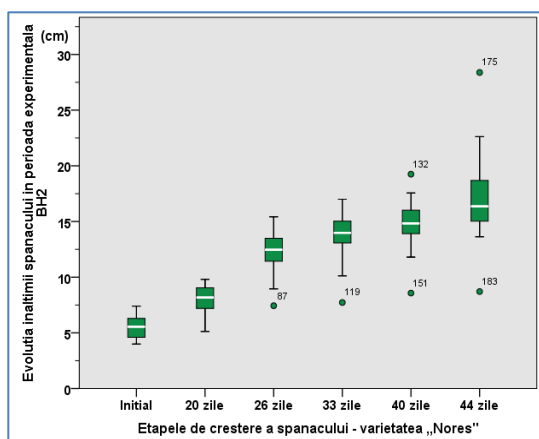


Fig. 3.51. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH2, de-a lungul perioadei experimentale

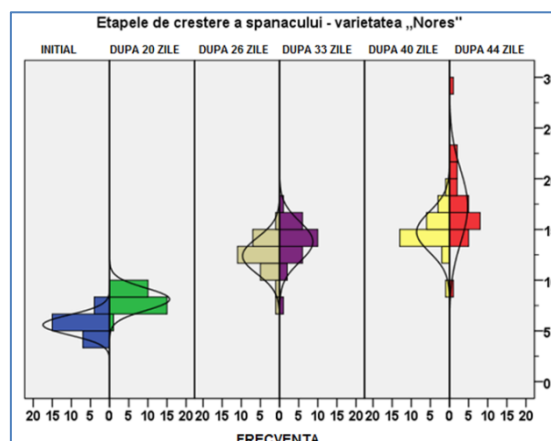


Fig. 3.52. Histogramele distribuției valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH2, de-a lungul perioadei experimentale

În cazul variantei experimentale BH3 a fost consemnată o înălțime medie inițială a biomasei vegetale de $5,68 \pm 1,33$ cm (fig. 3.53) [258].

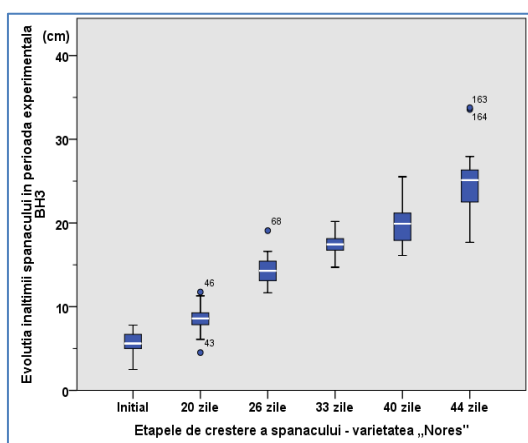


Fig. 3.53. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH3, de-a lungul perioadei experimentale

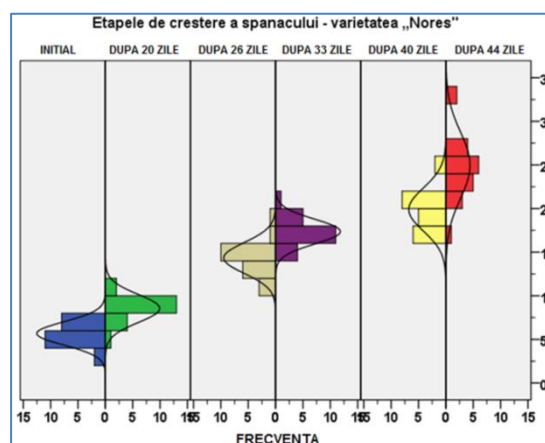


Fig. 3.54. Histogramele distribuției valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH3, de-a lungul perioadei experimentale

Variația înălțimii spanacului în cadrul BH3, de-a lungul perioadei experimentale, a înregistrat următoarele valori medii: $8,55 \pm 1,56$ cm după 20 de zile de la inițierea experimentului; $14,33 \pm 1,77$ cm după 26 de zile; $17,36 \pm 1,42$ cm după 33 de zile; $19,89 \pm 2,47$ cm după 40 de zile și $24,97 \pm 3,81$ cm la finalul perioadei experimentale (fig. 3.53) [258].

Distribuția valorilor consemnate în prima jumătate a perioadei experimentale este mai boltită comparativ cu cea observată în cazul variantelor experimentale expuse anterior (BH1 și BH2), cu foarte multe valori concentrate în jurul mediei și cozi foarte groase, ceea ce înseamnă probabilități foarte ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.54).

În a doua jumătate a perioadei experimentale se observă histograme de distribuție mai aplatizate comparativ cu cele observate în cazul variantelor experimentale expuse anterior (BH1 și BH2), fapt ce consemnează în cazul BH3, cea mai mare uniformitate a distribuției dintre cele trei variante experimentale (fig. 3.54).

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între cele trei variante experimentale (BH1, BH2 și BH3), în ceea ce privește valorile înălțimii spanacului, s-au

consemnat după 26, 33 și 40 de zile de la începutul perioadei experimentale și de asemenea, la finalul perioadei experimentale.

Masa inițială totală a spanacului a înregistrat următoarele valori: 23,74g cu o medie de $0,74 \pm 0,3g/\text{plantă}$ în cazul BH1; 16,52g cu o medie de $0,63 \pm 0,2g/\text{plantă}$ în cazul BH2 și 15,59g cu o medie de $0,74 \pm 0,32g/\text{plantă}$ în cazul BH3 (fig. 3.55) [258]. Nu au fost înregistrate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) între variantele experimentale.

Distribuția valorilor masei inițiale este boltită, cu multe valori concentrate în jurul mediei, în special în cazul BH1 și BH2, unde se observă de asemenea, probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.56). În ceea ce privește BH3, se constată un grad de dispărare a valorilor mai mare, comparativ cu precedentele două variante experimentale menționate (fig. 3.56).

Masa finală totală a spanacului a înregistrat următoarele valori: 112,88g cu o medie de $3,53 \pm 1,79g/\text{plantă}$ în cazul BH1; 101,32g cu o medie de $3,9 \pm 1,63g/\text{plantă}$ în cazul BH2 și 89,47g cu o medie de $4,26 \pm 1,63g/\text{plantă}$ în cazul BH3 (fig. 3.57) [258].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) au fost consemnate între cele trei variantele experimentale. În cazul BH1 și BH3, distribuția valorilor masei finale este mai boltită, comparativ cu momentul inițial și de asemenea, raportat la BH3 (fig. 3.58).

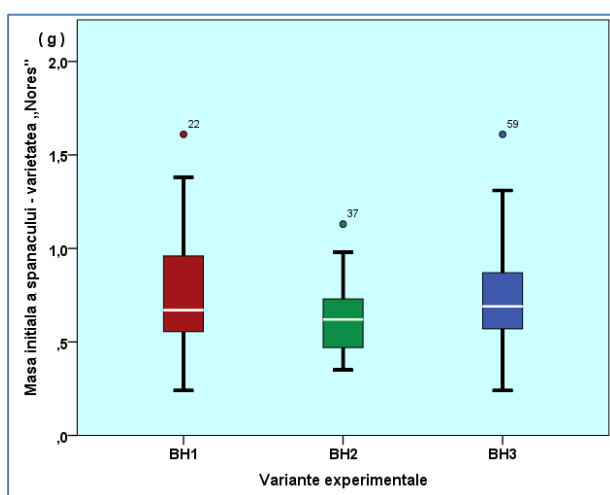


Fig. 3.55. Distribuția valorilor masei inițiale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

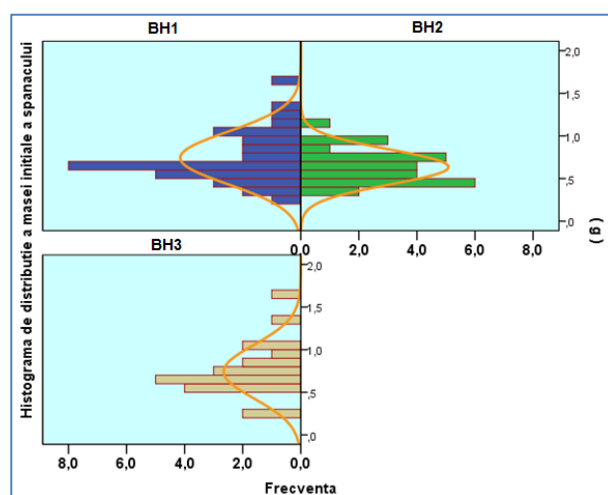


Fig. 3.56. Histogramele distribuției valorilor masei inițiale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

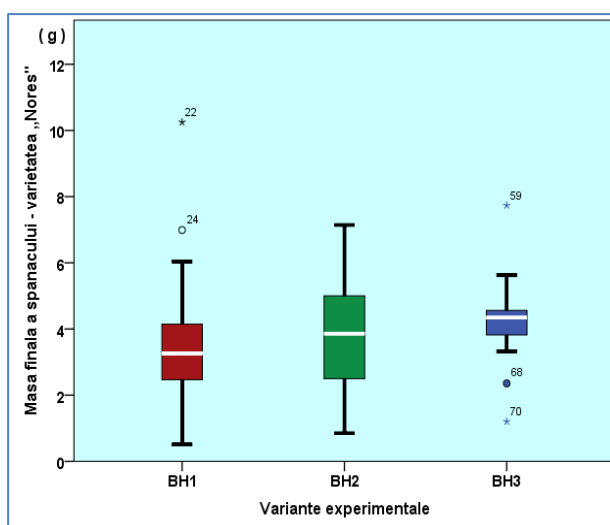


Fig. 3.57. Distribuția valorilor masei finale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

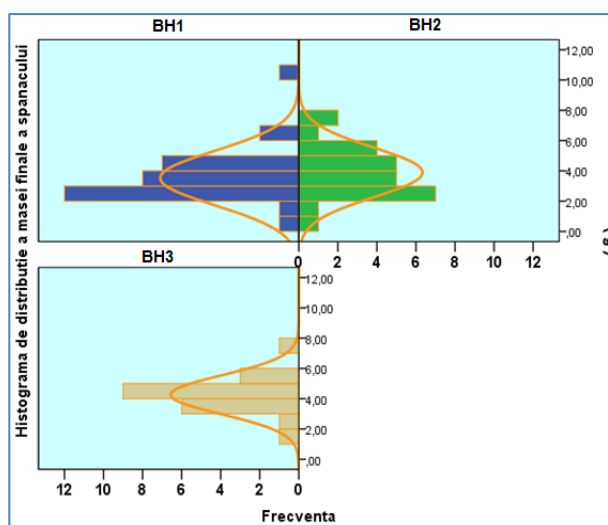


Fig. 3.58. Histogramele distribuției valorilor masei finale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

Se observă multe valori concentrate în jurul mediei și probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.58). În ceea ce privește BH2, se constată un grad de disipare a valorilor mai mare, dat fiind gradul de aplatizare evident, fapt ce determină o uniformitate mai mare în cadrul variantei (fig. 3.56).

Evoluția înregistrată în cazul BH1 poate fi o consecință directă a competiției pentru absorbția de nutrienți, manifestată la nivelul populației vegetale. În ceea ce privește BH3, cel mai probabil concentrațiile ridicate ale unor macro și microelemente au inhibat creșterea și dezvoltarea unui anumit procent din indivizii populației vegetale.

Suprafața foliară inițială a înregistrat următoarele valori: $647,58\text{cm}^2$ cu o medie de $20,24 \pm 7,89\text{cm}^2/\text{plantă}$ în cazul BH1; $506,16\text{cm}^2$ cu o medie de $19,47 \pm 5,28\text{cm}^2/\text{plantă}$ în cazul BH2 și $448,86\text{cm}^2$ cu o medie de $21,37 \pm 5,6\text{cm}^2/\text{plantă}$ în cazul BH3 (fig. 3.59) [258]. Nu au fost înregistrate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) între variantele experimentale. Distribuția valorilor suprafeței foliare inițiale în cazul BH2 este puțin boltită, cu multe valori concentrate în jurul mediei și cozi mai groase, ceea ce înseamnă probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.60). În cazul BH1, distribuția valorilor este înclinată spre stânga, având mai multe valori extreme în partea dreaptă (fig. 3.60). O distribuție relativ simetrică se întâlnește în cazul BH3, unde se pot consemna valori extreme în partea stângă a histogramei (fig. 3.60).

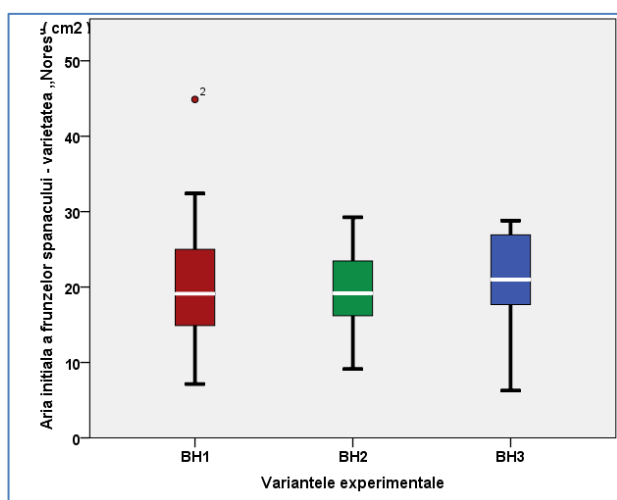


Fig. 3.59. Distribuția valorilor suprafeței foliare inițiale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

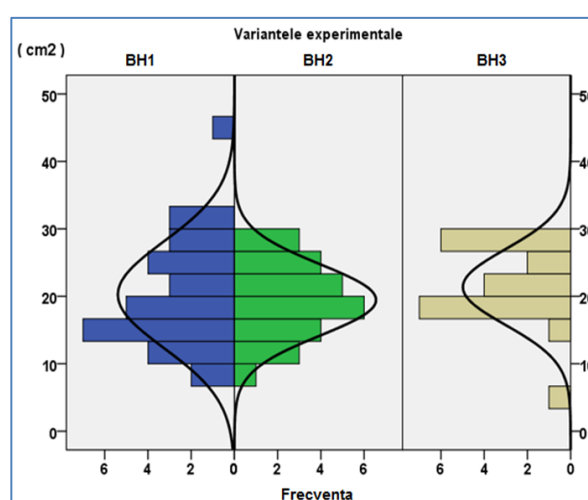


Fig. 3.60. Histogramele distribuției valorilor suprafeței foliare inițiale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

Suprafața foliară finală a înregistrat următoarele valori: $8098,52\text{cm}^2$ cu o medie de $253,01 \pm 95,85\text{cm}^2/\text{plantă}$ în cazul BH1; $11401,3\text{cm}^2$ cu o medie de $438,51 \pm 101,75\text{cm}^2/\text{plantă}$ în cazul BH2 și $11952,2\text{cm}^2$ cu o medie de $569,15 \pm 121,8\text{cm}^2/\text{plantă}$ în cazul BH3 (fig. 3.61) [258]. Au fost consemnate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale.

Distribuția valorilor suprafeței foliare finale în cazul BH1 este puțin boltită, cu multe valori concentrate în jurul mediei și cozi mai groase, ceea ce înseamnă probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 3.62). În cazul BH2, distribuția valorilor este simetrică, acestea fiind disipate uniform în jurul mediei (fig. 3.62).

O distribuție relativ simetrică se întâlnește în cazul BH3, unde o bună parte din valorile setului sunt concentrate în jurul mediei, existând însă și foarte multe extremități în ambele părți ale acesteia (fig. 3.62).

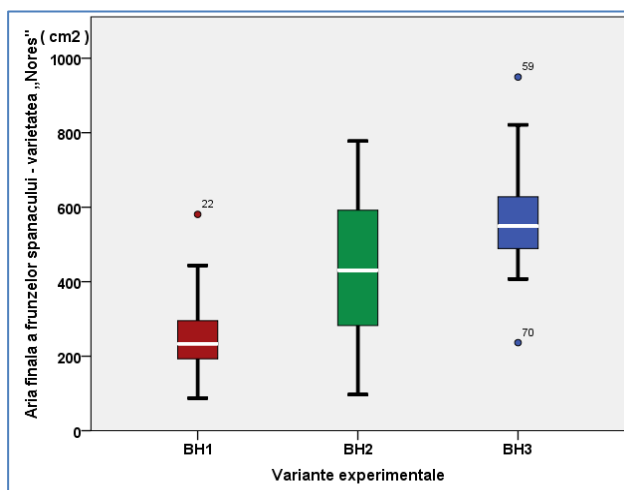


Fig. 3.61. Distribuția valorilor suprafeței foliare finale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

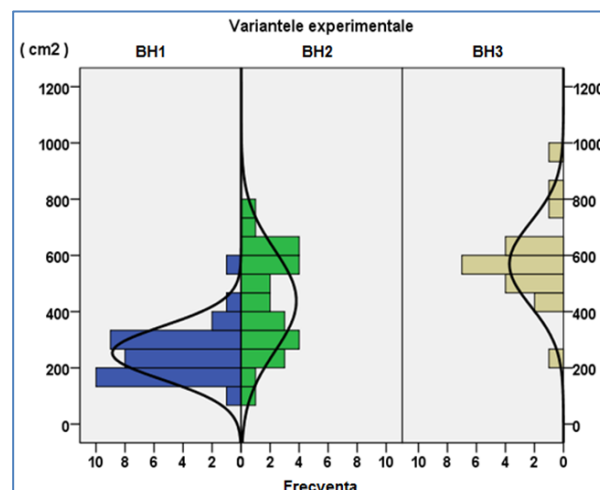


Fig. 3.62. Histogramele distribuției valorilor suprafeței foliare finale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

Rezultatele obținute în ceea ce privește distribuția valorilor suprafeței foliare în cadrul variantelor experimentale sunt influențate în mare măsură și de genetica fiecărei plante în parte, fapt extrem de important în vederea conturării caracteristicilor morfo- biometrice ale acestora.

În cazul plantelor, **rata relativă de creștere (RGR)** este un indicator esențial, atât supraviețuirea cât și reproducerea acestora fiind influențate direct de indicii de mărime și ca atare, de rata de creștere consemnată [259]. Evoluția ratei relative de creștere (RGR) a plantelor este într-o corelație directă cu rata netă de asimilare (NAR) și ponderea suprafeței foliare (LAR). Analiza RGR a spanacului oferă posibilitatea realizării unui studiu comparativ just, pe tema diferențelor de creștere consemnate între cele trei variante experimentale [258]. Această metodă de analiză a performanței de creștere a plantelor este de actualitate, fiind considerată cea mai semnificativă atât din punct de vedere ecologic, cât și din punct de vedere al utilității și aplicabilității [260].

Rata relativă de creștere (RGR) a spanacului a înregistrat următoarele valori: 0,89 g/g/zi cu o medie de $0,028 \pm 0,007$ g/g/zi în cazul BH1; 0,78 g/g/zi cu o medie de $0,03 \pm 0,006$ g/g/zi în cazul BH2 și 0,64 g/g/zi cu o medie de $0,031 \pm 0,004$ g/g/zi în cazul BH3 (fig. 3.63) [258]

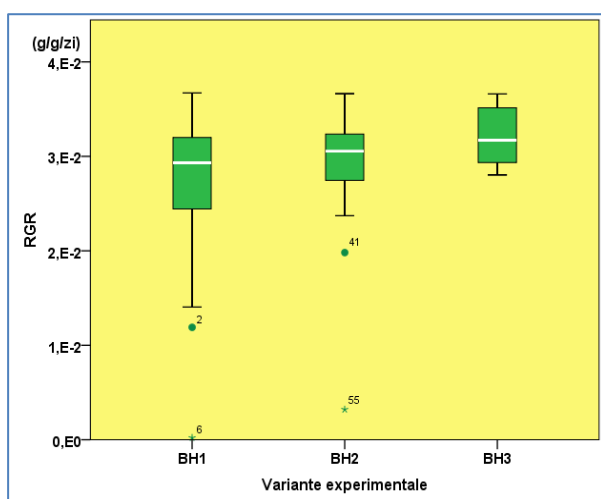


Fig. 3.63. Distribuția valorilor ratei relative de creștere (RGR) a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

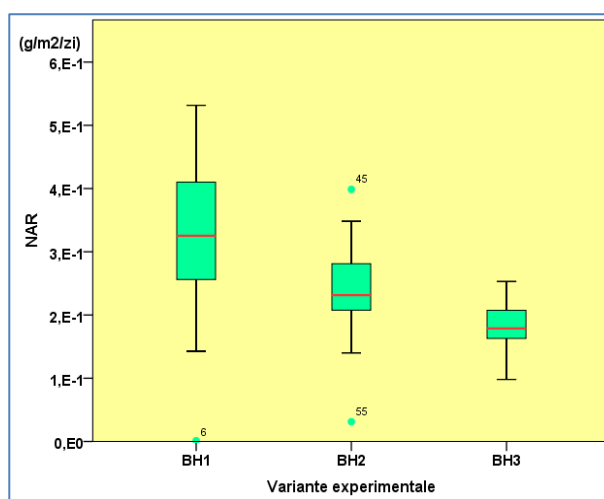


Fig. 3.64. Distribuția valorilor ratei nete de asimilare (NAR) a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

Diferențele dintre variantele experimentale BH1 și BH3 sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). În ceea ce privește distribuția valorilor RGR, se poate observa un ecart de variație semnificativ mai mic în cazul BH3, comparativ cu BH2 și BH1 (fig. 3.63).

De asemenea, se concluzionează o uniformizare a RGR în cadrul BH2 și BH3, comparativ cu BH1, unde valorile înregistrează un grad mare de disipare (fig. 3.63). Cel mai probabil, acest lucru este cauzat de concurența mult mai mare în vederea absorbției de nutrienți, manifestată mai strident la nivelul BH1, varianta în cadrul căreia s-a aplicat cea mai mare densitate de creștere a spanacului.

Rata netă de asimilare (NAR) a spanacului este în corelație directă cu RGR și LAR. Principalul rol al NAR este acela de apreciere a eficienței fotosintetice a plantelor [258]. Valorile consemnate pentru NAR au fost următoarele: 10,35 g/m² suprafață foliară (SF)/zi cu o medie de 0,32±0,11 g/m² SF/zi în cazul BH1; 6,2 g/m² SF/zi cu o medie de 0,24±0,07 g/m² SF/zi în cazul BH2 și 3,86 g/m² SF/zi cu o medie de 0,18±0,04 g/m² SF/zi în cazul BH3 (fig. 3.64) [258]. Diferențele dintre cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

O creștere treptată a ratei nete de asimilare (NAR) a spanacului, coroborată cu o scădere a valorilor ponderii suprafeței foliare (LAR), indică o acumulare de substanță uscată în cadrul frunzelor și a tulpinii. În ceea ce privește distribuția valorilor NAR, se poate observa un ecart de variație mai mic și un grad de uniformizare mai accentuat în cazul BH3, comparativ cu BH2 și BH1 (fig. 3.64).

Ponderea medie a suprafeței foliare (LAR mediu) este caracterizată drept o măsură de echilibru între output-uri și input-uri, fiind în corelație cu potențialul de fotosinteză și, de asemenea, cu potențialul componentelor ce asigură procesul de respirație al plantelor [256].

Valorile consemnate pentru LAR mediu au fost următoarele: 17811,1 cm² SF/g cu o medie de 556,59 cm² SF/g în cazul BH1; 20061,26 cm² SF/g cu o medie de 771,59 cm² SF/g în cazul BH2 și 21261,75 cm² SF/g cu o medie de 1012,46 cm² SF/g în cazul BH3 (fig. 3.65) [258].

Diferențele dintre cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Se constată o distribuție simetrică a valorilor în cazul celor trei variante experimentale, cu un ecart de variație mai mic în cazul BH1, comparativ cu BH2 și BH3 (fig. 3.65).

Din valorile înregistrate în cazul suprafeței foliare și a ponderii medii a acesteia (LAR mediu), se poate concluziona faptul că frunzele de spanac din cadrul BH2 sunt mai subțiri, în comparație cu cele din celelalte variante experimentale (BH1 și BH3).

Acest fapt este un indicator de calitate sugestiv, ce denotă un grad de sensibilitate ridicat al biomasei de spanac din cadrul BH2 și cel mai probabil, o acumulare neuniformă a nutrienților reținuți din apa tehnologică.

Rata de creștere a spanacului (CGR) este un indicator sugestiv în vederea evaluării eficienței de producție, acesta raportând sporul zilnic de biomasă vegetală la suprafața acvaponică.

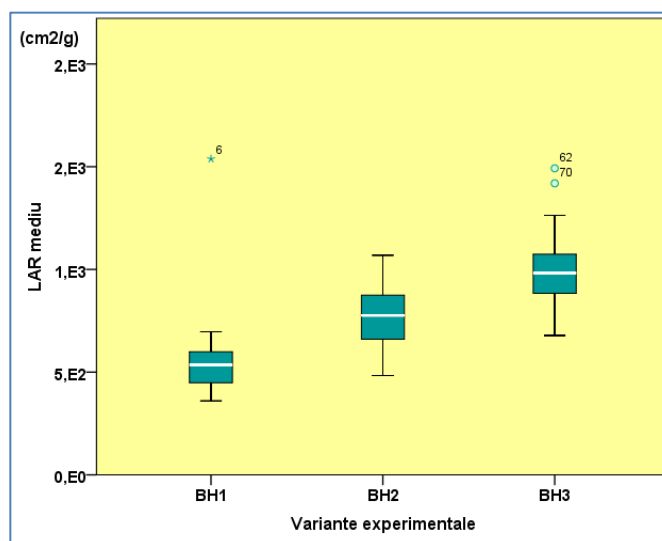


Fig. 3.65. Distribuția valorilor ponderii medii a suprafeței foliare a spanacului (LAR mediu), în cadrul celor trei variante experimentale

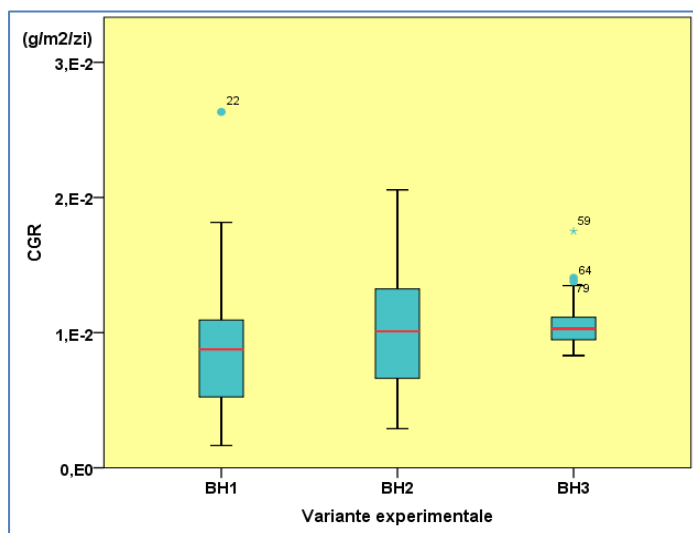


Fig. 3.66. Distribuția valorilor ratei de creștere a spanacului (CGR), în cadrul celor trei variante experimentale

Valorile consemnate pentru CGR au fost următoarele: 0,29 g/m²/zi cu o medie de 0,9*E-2 g/m²/zi în cazul BH1; 0,27 g/m²/zi cu o medie de 0,11E-1 g/m²/zi în cazul BH2 și 0,21 g/m²/zi cu o medie de 0,1E-1 g/m²/zi în cazul BH3 (fig. 3.66) [258].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic sunt consemnate între BH1 și BH3 ($p < 0,05$). Legat de distribuția valorilor consemnate pentru CGR, în varianta BH2 se observă o simetrie a valorilor în jurul mediei, în timp ce în cazul BH3 se observă un ecart mic de variație și o slabă dispersie a valorilor obținute (fig. 3.66).

Indicele suprafeței foliare (LAI) raportează suprafața foliară totală la suprafața unității acvaponice. Diverse studii au demonstrat faptul că plantele cu un nivel optim de LAI și NAR pot consemna un ritm de creștere mai accelerat [261]. S-au consemnat următoarele valori finale ale LAI: 1,5 m² suprafață foliară (SF)/m² cu o medie de 0,05±0,01 m² SF/m² în cazul BH1; 2,11 m²SF/m² cu o medie de 0,08±0,03 m² SF/m² în cazul BH2 și 2,21 g/m²/zi cu o medie de 0,11±0,02 m² SF/m² în cazul BH3 (fig. 3.67 și fig. 3.68) [258]. Diferențele dintre cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

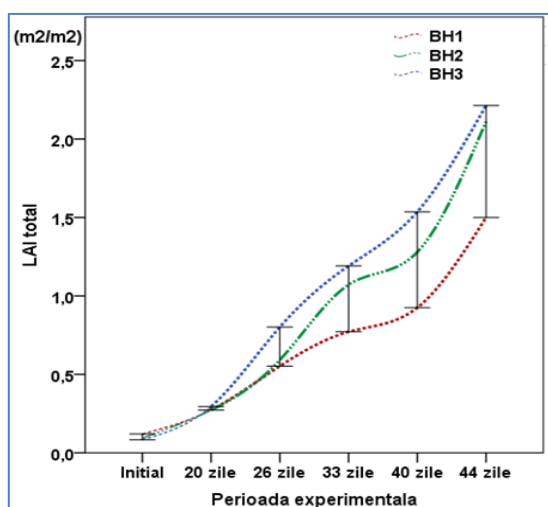


Fig. 3.67. Evoluția indicelui total al suprafeței foliare (LAI) de-a lungul perioadei experimentale

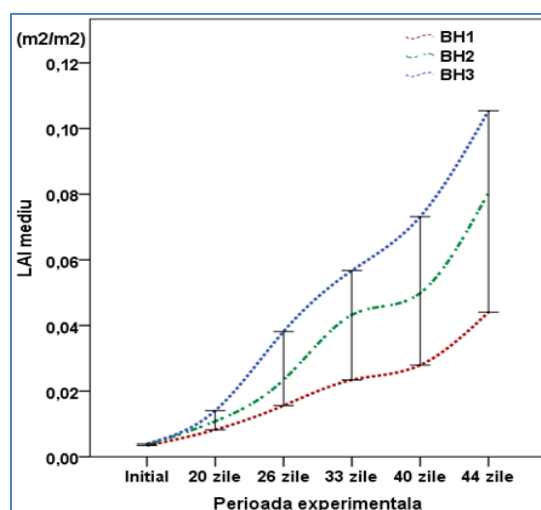


Fig. 3.68. Evoluția indicelui mediu al suprafeței foliare (LAI mediu) de-a lungul perioadei experimentale

De asemenea, se observă un ritm de creștere accentuat al LAI de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.67 și fig. 3.68). În cazul BH1 și BH3, tendința de creștere este relativ liniară, în timp ce în cazul BH2 se înregistrează o ușoară fluctuație la mijlocul perioadei experimentale (fig. 3.68).

Raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S) reprezintă un indicator al gradului de sănătate a plantei [258]. La sfârșitul perioadei experimentale a avut loc separarea rădăcinii de restul plantei (fig. 3.69) pentru a consemna masa individuală a fiecăreia, având drept scop calculul raportului de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S).



Fig. 3.69. Separarea suprafeței radiculare de suprafața foliară, în vederea calculului raportului de masă R/S (foto original)

Astfel, s-au obținut următoarele valori medii ale raportului R/S: $0,24 \pm 0,08$ în cazul BH1; $0,22 \pm 0,1$ în cazul BH2 și $0,25 \pm 0,12$ aferent BH3 (fig. 3.70) [258].

Diferențele consemnate între BH2 și BH3 sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Testul *post-hoc Duncan și Tukey's – B* împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: BH1+BH2; BH1+BH3. În ceea ce privește distribuția valorilor raportului R/S, în cadrul BH1 se observă o distribuție simetrică, în timp ce la variantele experimentale BH2 și BH3 distribuția este înclinată spre stânga, având mai multe valori extreme în partea dreaptă (fig. 3.70).

Valorile ridicate ale raportului R/S, înregistrate pentru BH1 și BH3, relevă o stare bună de sănătate a spanacului obținut în cadrul celor două variante experimentale.

Aceast fapt este evident, ținând cont de cauza generatoare și anume valoarea superioară înregistrată în dreptul masei rădăcinii și nu valoare inferioară a masei foliare.

De asemenea, în cazul BH1 se înregistrează o dispersie a valorilor pe un interval mai mare în jurul mediei, probabilitatea pentru valori extreme fiind mai mică (fig. 3.70).

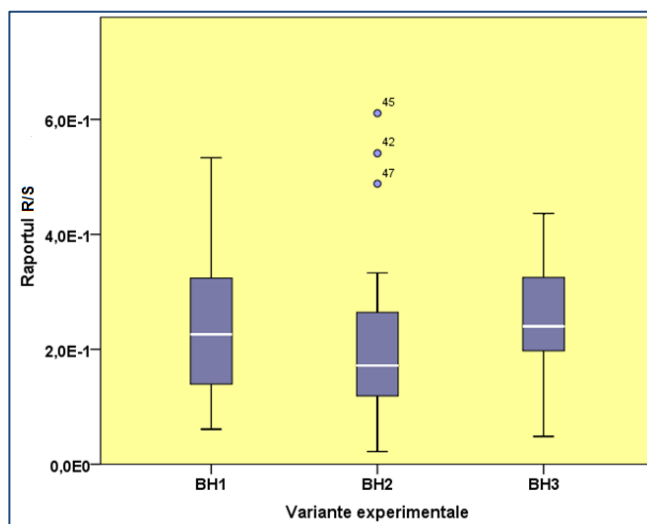


Fig. 3.70. Distribuția valorilor raportului masic rădăcină/suprafață foliară (R/S), în cadrul celor trei variante experimentale

3.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole

Posibilitatea obținerii de biomasă vegetală fără a genera un impact negativ asupra mediului înconjurător este esențială în vederea satisfacerii într-o manieră sustenabilă, pe termen lung, a nevoilor alimentare ale populației [195].

Folosirea tehnicilor acvaponice de cultură satisface acest deziderat și de asemenea, generează o productivitate vegetală superioară, de până la zece ori, comparativ cu sistemele

convenționale de producție, în sol [262, 263]. În cadrul sistemelor recirculante integrate, plantele folosesc nitrații și amoniul drept surse de azot [264].

Nitrații înregistrează rate de retenție mai mari la nivelul biomasei vegetale, comparativ cu amoniul, putând fi toxici pentru plante în unele circumstanțe [265]. O cantitate semnificativă de azot este reținută la nivelul suprafeței radiculare a biomasei vegetale, fiind folosită pentru sinteza proteinelor și a altor compuși azoici [232].

Nitrații și nitriții sunt prezenți drept contaminanți sau aditivi utilizați la nivel internațional, în cadrul diverselor alimente [266]. Este cunoscut faptul că vegetalele, în special cele cu suprafață foliară mare, sunt o sursă majoră de nitrți în cadrul alimentației, fapt generat de capacitatea semnificativă de acumulare a acestora [267].

Așadar, concentrațiile mari de nitrați din vegetale reprezintă o problemă actuală, la nivel global [232]. În comparație cu nitrații, concentrația de nitriți este semnificativ mai mică [232]. Morcovii, mazărea, sau cartofii au rate mici de retenție a nitraților, în timp ce salata verde sau spanacul au tendințe semnificative de acumulare a nitraților [268].

În cadrul prezentului experiment s-au evaluat concentrațiile de nitriți și nitrați ale biomasei de spanac, obținută prin utilizarea tehnicilor acvaponice de tip DWC. Concentrațiile obținute au fost comparate cu cele aferente spanacului cultivat convențional, în sol.

De asemenea, concentrațiile de nitriți și nitrați din carnea de păstrăv curcubeu, folosit în cadrul sistemului recirculant integrat, au fost evaluate în vederea constatării gradului de conformitate al acestora pentru consumul uman.

Concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară a spanacului au consemnat următoarele valori medii: $0,55 \pm 0,032 \text{ mg/kg}$ rădăcină proaspătă (FW) în cazul BH1; $0,35 \pm 0,044 \text{ mg/kg}$ FW pentru BH2; $0,7 \pm 0,062 \text{ mg/kg}$ FW în cazul BH3 și $0,53 \pm 0,073 \text{ mg/kg}$ FW pentru varianta CONTROL (spanacul cultivat în condiții convenționale, în sol) (fig. 3.71) [232]. Diferențele semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au înregistrat între toate variantele experimentale, exceptând BH2 și CONTROL, între care s-au consemnat diferențe nesemnificative statistic ($p > 0,05$).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1; BH2+ CONTROL; BH3. În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate în cadru variantelor experimentale, în cazul BH1 se observă o distribuție simetrică în jurul mediei, în timp ce pentru BH3 distribuția este ușor înclinată spre dreapta, având mai multe valori extreme în extremitatea stângă (fig. 3.71).

Un grad mai mare de disipare a valorilor în jurul mediei se consemnează în cazul variantei CONTROL (fig. 3.71).

Concentrațiile de nitriți din biomasa foliară a spanacului au consemnat următoarele valori medii: $0,61 \pm 0,074 \text{ mg/kg}$ frunze proaspete (FW), înainte de începerea perioadei experimentale (Inițial); $1,21 \pm 0,071 \text{ mg/kg}$ FW în cazul BH1; $2,26 \pm 0,098 \text{ mg/kg}$ FW pentru BH2; $2,24 \pm 0,085 \text{ mg/kg}$ FW în cazul BH3 și $0,93 \pm 0,11 \text{ mg/kg}$ FW pentru varianta CONTROL (spanacul cultivat în condiții convenționale, în sol) (fig. 3.72) [232].

Diferențele semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au înregistrat între toate variantele experimentale, exceptând BH2 și BH3, între care s-au consemnat diferențe nesemnificative statistic ($p > 0,05$).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's – B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: Inițial; CONTROL; BH1; BH2+BH3.

În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate în cadru variantelor experimentale, în cazul variantelor Inițial și BH1 se observă o distribuție simetrică în jurul mediei, în timp ce pentru BH2 și CONTROL distribuția este ușor înclinată spre dreapta, având mai multe valori extreme în extremitatea stângă (fig. 3.72).

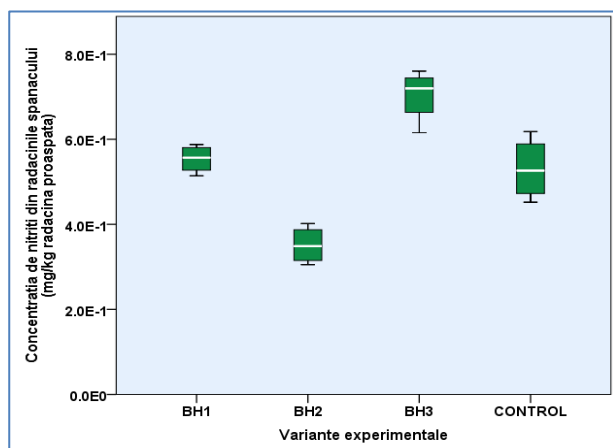


Fig. 3.71. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului

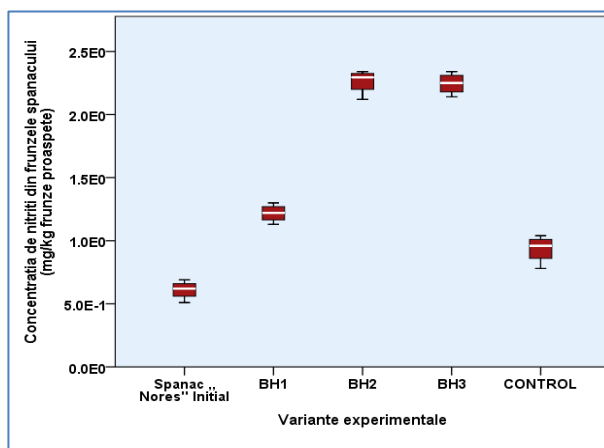


Fig. 3.72. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a spanacului

Pentru a reflecta întinderea relației liniare dintre seturile de date referitoare la concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară, consemnate de-a lungul perioadei experimentale, s-a determinat indicele de corelație *Pearson*.

Valori notabile ale indicelui *Pearson* au fost consemnate între: BH1 și BH3 (0,94); BH1 și CONTROL (0,985); BH3 și CONTROL (0,901). Acest fapt relevă o corelație directă, puternică, existentă între concentrația de nitriți din biomasa radiculară aferentă variantelor experimentale precizate anterior.

În ceea ce privește concentrația de nitriți din biomasa foliară, valori notabile ale indicelui *Pearson* au fost consemnate între BH1 și BH3 (-0,763) și BH2 și CONTROL (0,936).

Astfel, putem constata existența unei corelații indirecte semnificative, între BH1 și BH3, în timp ce între BH3 și CONTROL se confirmă cele constatate anterior, în cazul concentrației de nitriți din biomasa radiculară. În cadrul literaturii de specialitate au fost consemnate o serie de ecarturi de variație și ca atare, valori medii, ale concentrațiilor de nitriți din biomasa foliară a spanacului.

Valorile obținute în cadrul prezentului experiment sunt apropiate de cele raportate de Jaworska (2005) [269], Chung și colab. (2003) [270] și Muresan și colab. (2012) [271], dar în general se poate caracteriza drept mai mici, în raport cu celelalte studii asemănătoare (tabel 3.4).

Tabel 3.4. Tabel sintetic privind concentrațiile de nitriți din spanac, raportate în cadrul publicațiilor științifice de specialitate

Nr. crt.	Date de identificare a cercetării științifice	Ecartul de variație a concentrației de nitriți din spanac (mg/kg FW)	Valoarea medie a concentrației de nitriți din spanac (mg/kg FW)
1.	Muresan și colab., (2012); [271]	1,54 – 8,09	-
2.	Mor și colab., (2010); [268]	-	7,19
3.	Uwah și colab., (2009); [272]	-	4,85
4.	Ayaz și colab., (2007); [273]	ND – 12,11	2,31
5.	Jaworska, (2005); [269]	0,09-0,77	-
6.	Chung și colab., (2003); [270]	-	1
7.	Jaworska și colab., (1999); [274]	-	0,86
8.	Petersen și colab., (1999); [275]	-	11
9.	MAFF, (1998); [276]	-	3,8
10.	Sumiko și colab., (1993); [277]	-	7

Concentrațiile de nitrați din biomasa radicală a spanacului au consemnat următoarele valori medii: $377 \pm 47,87 \text{ mg/kg}$ rădăcină proaspătă (FW) în cazul BH1; $418,68 \pm 61,51 \text{ mg/kg}$ FW pentru BH2; $511,51 \pm 99,4 \text{ mg/kg}$ FW în cazul BH3 și $131,72 \pm 39,44 \text{ mg/kg}$ FW pentru varianta CONTROL (spanacul cultivat în condiții convenționale, în sol) (fig. 3.73) [232].

Diferențele semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au înregistrat între toate variantele experimentale, exceptând BH1 - BH2 și de asemenea, BH2 - BH3, între care s-au consemnat diferențe nesemnificative statistic ($p > 0,05$).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's - B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: BH1+BH2; BH2+BH3; CONTROL. În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate în cadru variantelor experimentale, în cazul BH1 se observă o distribuție simetrică în jurul mediei, în timp ce pentru BH2 distribuția este ușor înclinată spre stânga, având mai multe valori extreme în extremitatea dreaptă (fig. 3.73).

Un grad foarte mare de disipare a valorilor în jurul mediei se consemnează în cazul variantei BH3 (fig. 3.73), în timp ce varianta CONTROL se află la polul opus în ceea ce privește acest lucru (fig. 3.73).

Concentrațiile de nitrați din biomasa foliară a spanacului au consemnat următoarele valori medii: $86,28 \pm 12,71 \text{ mg/kg}$ frunze proaspete (FW), înainte de începerea perioadei experimentale (Inițial); $412,47 \pm 66,76 \text{ mg/kg}$ FW în cazul BH1; $540,29 \pm 2,4 \text{ mg/kg}$ FW pentru BH2; $716,31 \pm 59,98 \text{ mg/kg}$ FW în cazul BH3 și $157,08 \pm 45,34 \text{ mg/kg}$ FW pentru varianta CONTROL (spanacul cultivat în condiții convenționale, în sol) (fig. 3.74) [232].

Diferențele semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au înregistrat între toate variantele experimentale (Inițial, BH1, BH2, BH3 și CONTROL).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's - B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: Inițial + CONTROL; BH1; BH2; BH3. În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate în cadru variantelor experimentale, în cazul variantei Inițial se observă o distribuție simetrică, puternic definită în jurul mediei, în timp ce pentru BH1 și CONTROL distribuția este ușor înclinată spre dreapta, având mai multe valori extreme în extremitatea stângă (fig. 3.74). Trebuie remarcat intervalul mare de disipare a valorilor, observabil în cazul variantelor BH1, BH2 și BH3 (fig. 3.74).

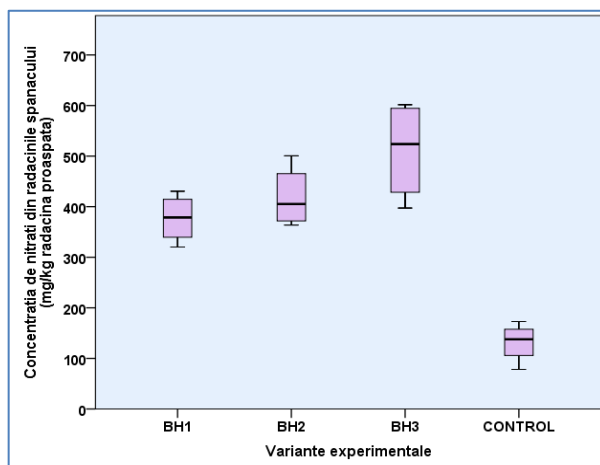


Fig. 3.73. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa radicală a spanacului

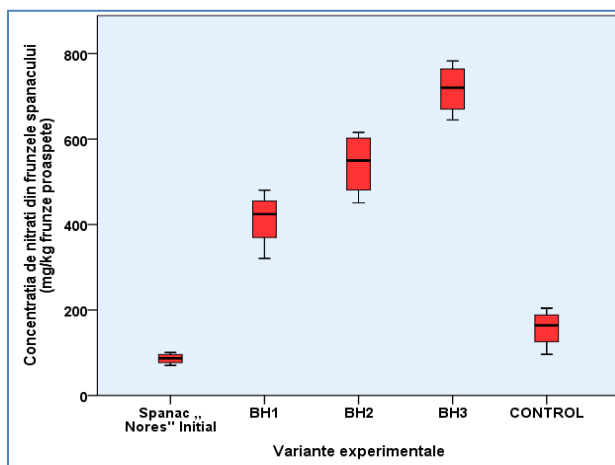


Fig. 3.74. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a spanacului

Întinderea relației liniare dintre seturile de date referitoare la concentrațiile de nitrați din biomasa radicală s-a determinat folosind indicele de corelație *Pearson*. Astfel, valori notabile ale indicelui *Pearson* au fost consemnate între: BH1 și BH2 (0,957); BH1 și BH3 (0,616); BH1 și CONTROL (-0,882), BH2 și CONTROL (-0,905), BH3 și CONTROL (-0,844). Acest fapt relevă

o corelația directă, puternică, existentă între concentrația de nitrați din biomasa radiculară aferentă BH1 și BH2 și de asemenea, corelații indirecte puternice între grupul format din variantele experimentale BH1, BH2 și BH3 și varianta CONTROL.

În ceea ce privește concentrația de nitrați din biomasa foliară, valori notabile ale indicelui Pearson au fost consemnate între BH1 și BH3 (-0,551) și BH2, BH3 și CONTROL (0,79; 0,65). Astfel, putem constata existența unei corelații indirecte slab semnificative, între BH1 și BH3, în timp ce între BH2, BH3 și CONTROL se constată corelații directe de intensitate medie.

În urma studiului amănunțit al literaturii de specialitate se constată, în general, valori superioare în ceea ce privește concentrația de nitrați din spanac, în comparație cu valorile concentrației de nitrați obținute în cadrul prezentului studiu (tabel 3.5). Totuși, valori apropiate de cele expuse anterior, în cadrul acestui capitol, au fost raportate de Shokrzadeh (2007) [278] și Mureșan și colab. (2012) [271].

Tabel 3.5. Tabel sintetic privind concentrațiile de nitrați din spanac, raportate în cadrul publicațiilor științifice de specialitate

Nr. crt.	Date de identificare a cercetării științifice	Ecartul de variație a concentrației de nitrați din spanac (mg/kg FW)	Valoarea medie a concentrației de nitrați din spanac (mg/kg FW)
1.	Muresan și colab., (2012); [271]	49,19 -399,5	-
2.	Mor și colab., (2010); [268]	-	1132
3.	Centre for Food Safety Hong Kong, (2010); [279]	3700 – 6300	3100; 4800
4.	Korus și colab., (2009); [280]	2500 – 3000	-
5.	EFSA, (2008); [281]	-	1066
6.	Ayaz și colab., (2007); [273]	29,32 – 2478,26	1456,04
7.	Shokrzadeh, (2007); [278]	24 – 457	223
8.	Feng și colab., (2006); [282]	-	3177
9.	Thomson, (2004); [283]	-	824
10.	Chung și colab., (2003); [270]	-	4259
11.	WHO, (2003); [284]	-	2824
12.	Malmauret și colab., (2002); [285]	-	1135
13.	Jaworska și colab., (2005); [269]	1000– 3472	-
14.	Ministry of Agriculture, Fisheries and Food UK, (2001); [286]	25 - 4600	-
15.	van der Schee și colab., (2000); [287]	30 - 6000	-
16.	Muramoto, (1999); [267]	419 - 1420	2400
17.	Jaworska și colab., (1999); [274]	-	1650
18.	Petersen și colab., (1999); [275]	-	1743
19.	Santamaria și colab., (1999); [288]	-	1845
20.	Ysart și colab., (1999); [289]	-	1900
21.	MAFF, (1998); [276]	-	2470
22.	Sumiko și colab., (1993); [277]	-	3560
23.	Dutt și colab., (1987); [290]	-	4570

Trebuie menționat că valorile concentrațiilor de nitriți și nitrați din biomasa foliară și radiculară a spanacului cultivat utilizând tehnici acvaponice de tip DWC sunt semnificativ mai ridicate comparativ cu cele consemnate pentru spanacul cultivat convențional, în sol.

Cu toate acestea, concentrațiile de nitrați ai spanacului cultivat în regim acvaponic nu depășesc nivelurile maxime admise, prevăzute în Ord. 611/03.04.1995 [291],

Ord. 293/640/2001-1/2002 [292] privind condițiile de securitate și calitate pentru legume și fructe destinate consumului uman și Regulamentul Comisiei Europene Nr. 563/2002 [293] (tabel 3.6).

De asemenea, potrivit Ordinului 438/202 – Ord. MAPAM438, valorile maxim admise ale concentrațiilor de nitrați din spanac, în vederea consumului acestuia, în diverse forme, de către copiii de până în 12 ani este de 250mg/kg FW [294].

Ca atare, trebuie precizat că spanacul obținut în regim acvaponic, în prezentul experiment, nu îndeplinește aceste rigori.

Tabel 3.6. Nivelurile maxim admise de legislația în vigoare, pentru concentrațiilor de nitrați din spanacul destinat consumului uman

Actul normativ	Produsul	Concentrațiile maxim admise al nitraților (mg/kg)
Ord. 611/03.04.1995; [291] Ord. 293/640/2001-1/2002; [292]	Spanac cultivat în regim de seră	2000
Ord. 293/640/2001-1/2002; [292]	Spanac cultivat pe câmp	3000
Regulamentul Comisiei Europene Nr. 563/2002; [293]	Spanac proaspăt 1 noiembrie – 31 martie; 1 aprilie – 31 octombrie	2500; 3000
Regulamentul Comisiei Europene Nr. 563/2002; [293]	Spanac conservat, congelat	2000

Concentrațiile de nitriți și nitrați din carnea păstrăvului curcubeu au fost consemnate atât în momentul inițial, înainte de începerea perioadei experimentale, cât și la finalul acesteia. Astfel, valorile medii ale concentrației de nitriți din carnea de păstrăv au fost următoarele: $0,12 \pm 0,01$ mg/kg carne de pește în momentul inițial (înainte de începerea perioadei experimentale); $0,16 \pm 0,011$ mg/kg carne de pește în cadrul G1 (41%P) final; $0,22 \pm 0,03$ mg/kg carne de pește în cadrul G2 (50%P) final (fig. 3.75).

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) au fost consemnate între valorile inițiale și valorile finale ale variantelor experimentale și, de asemenea, între cele două variante experimentale (G1 și G2).

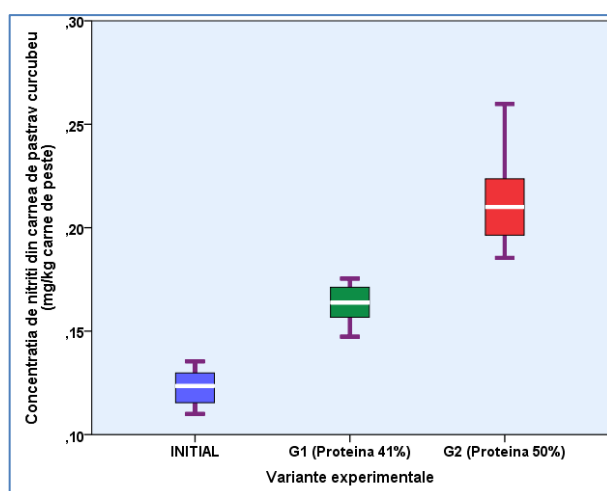


Fig. 3.75. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din carnea păstrăvului curcubeu

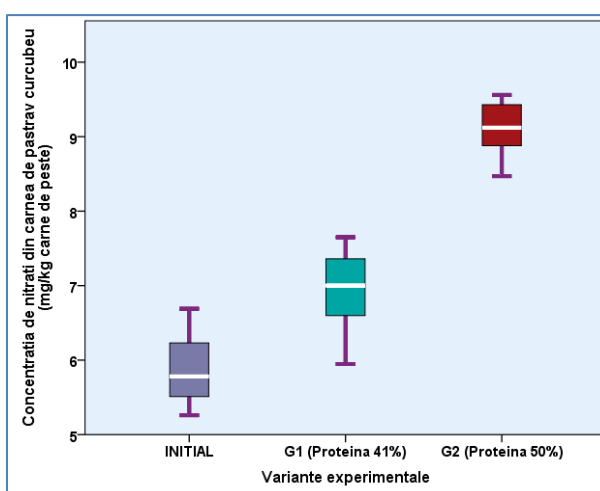


Fig. 3.76. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din carnea păstrăvului curcubeu

În ceea ce privește valorile medii ale concentrației de nitrați din carnea de pește, s-au consemnat următoarele rezultate: $5,89 \pm 0,57$ mg/kg carne de pește în momentul inițial (înainte de începerea perioadei experimentale); $6,91 \pm 0,67$ mg/kg carne de pește în cadrul G1 (41%P)

final; $9,09 \pm 0,44$ mg/kg carne de pește în cadrul G2 (50%P) final (fig. 3.76). Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) au fost consemnate între cele două variante experimentale (G1 și G2) și de asemenea, între valorile din momentul inițial și cele finale ale variantei G2.

Trebuie menționat că în urma analizei coeficienților *Pearson* nu au fost găsite corelații semnificative între cele două variante experimentale, atât în ceea ce privește concentrația de nitriți, cât și cea de nitrați a carnii de păstrăv curcubeu supus experimentărilor.

Conținutul de cenușă și substanță uscată a spanacului a fost evaluat la sfârșitul perioadei experimentale în scopul unei mai bune caracterizări calitative a biomasei obținute în cadrul celor trei variante testate (fig. 3.79A). Cenușa reprezintă totalitatea cantității de minerale din spanac, în timp ce substanța uscată reflectă cantitatea de lipide, proteine, vitamine, minerale și antioxidanți a acestuia [258]. Substanța uscată a spanacului a fost determinată atât din biomasa foliară, cât și din cea radiculară.

Astfel, în ceea ce privește **biomasa foliară a spanacului**, s-au consemnat următoarele rezultate medii ale **substanței uscate** la sfârșitul perioadei experimentale: $7,1 \pm 0,1\%$ - BH1; $7,57 \pm 0,09\%$ - BH2; $7,82 \pm 0,07\%$ - BH3 și $7,31 \pm 0,15\%$ pentru spanacul cultivat convențional, în sol (fig. 3.77) [258].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au observat între cele trei variante experimentale în cadrul cărora s-au utilizat tehnicile acvaponice de cultură (BH1, BH2 și BH3). De asemenea, diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) sunt înregistrate între BH3 și CONTROL (spanacul cultivat convențional, în sol).

Testul *post-hoc Duncan* și *Tukey's - B* împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: BH1+BH2+BH3; BH1+BH2+CONTROL. Ca atare, un conținut mai mare de substanță uscată a suprafeței foliare a fost înregistrat în cazul spanacului obținut prin aplicarea tehnicilor acvaponice, din varianta BH3, comparativ cu cel obținut convențional, în sol.

Conținutul de substanță uscată din biomasa radiculară a spanacului a înregistrat următoarele valori medii, la sfârșitul perioadei experimentale: $5,43 \pm 0,35\%$ - BH1; $8,99 \pm 0,33\%$ - BH2; $9,57 \pm 0,18\%$ - BH3 și respectiv, $7,8 \pm 0,24\%$ pentru spanacul cultivat convențional, în sol (fig. 3.77) [258]. Diferențele dintre BH1 și restul variantelor experimentale (BH2, BH3, CONTROL) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). De asemenea, diferențele dintre BH3 și CONTROL (spanacul cultivat convențional, în sol) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Valorile înregistrate sunt mai mari în comparație cu cele raportate de Roe și colab. (2013) [295], care au observat un procent de substanță uscată din biomasa foliară a spanacului cultivat convențional, pe sol, de 6,5%. Hannatu și colab. (2011) [296] menționează valori mai mari în ceea ce privește procentul de substanță uscată din biomasa foliară a spanacului, de 18,25%, în condițiile tehnologice menționate anterior.

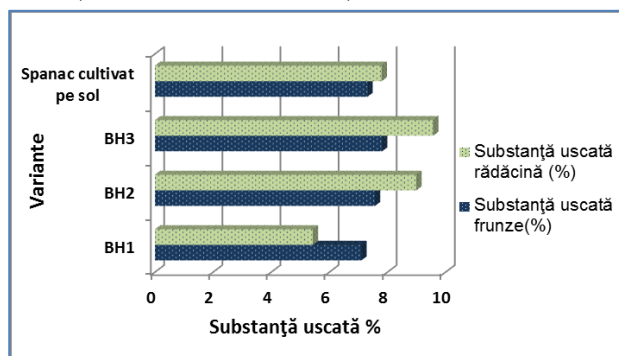


Fig. 3.77. Procentul de substanță uscată din biomasa foliară și cea radiculară a spanacului

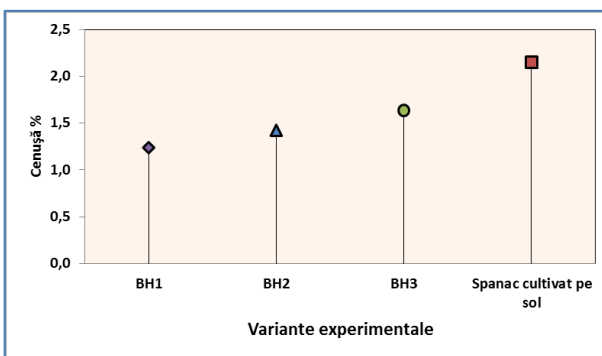


Fig. 3.78. Procentul de cenușă din biomasa foliară a spanacului

Conținutul de cenușă din biomasa foliară a spanacului a înregistrat următoarele valori procentuale medii, la sfârșitul perioadei experimentale: $1,24 \pm 0,07\%$ - BH1; $1,42 \pm 0,05\%$ - BH2; $1,63 \pm 0,04\%$ - BH3 și $2,15 \pm 0,09\%$ pentru spanacul cultivat convențional, în sol (fig. 3.78) [258].

Diferențele înregistrate între cele patru variante experimentale (BH1, BH2, BH3 și CONTROL – spanac cultivat convențional, în sol) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Valorile consemnate au fost asemănătoare cu cele raportate de Akhter și colab. (2013) [297] $1,26\%$ și Hannatu și colab. (2011) [296] $1,62\%$, pentru procentul de cenușă a suprafeței foliare a spanacului cultivat convențional, în sol. Valori mai mici au fost raportate de Umar și colab. (2007) [298] $1,08\%$ cenușă, în timp ce Roe și colab. (2013) [295] au obținut un procent de cenușă din frunzele de spanac de 2% .

Conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii) a fost determinat atât raportat la suprafața, cât și la masa foliară, acesta fiind un indicator important în vederea caracterizării calitative a plantelor (fig. 3.79B) [258].



Fig. 3.79. A. Determinarea substanței uscate; B. Determinarea pigmentilor verzi clorofilieni și galbeni carotenoizi (foto original)

Astfel, au fost consemnate următoarele valori medii ale clorofilei a: $0,2 \pm 0,003 \text{ mg/dm}^2$ și $0,35 \pm 0,05 \text{ mg/g}$ – BH1; $0,18 \pm 0,002 \text{ mg/dm}^2$ și $1,04 \pm 0,04 \text{ mg/g}$ – BH2; $0,19 \pm 0,002 \text{ mg/dm}^2$ și $0,5 \pm 0,04 \text{ mg/g}$ – BH3 (fig. 3.80 și fig. 3.81) [258]. Clorofila b a înregistrat valori medii de: $0,12 \pm 0,002 \text{ mg/dm}^2$ și $0,17 \pm 0,05 \text{ mg/g}$ – BH1; $0,13 \pm 0,002 \text{ mg/dm}^2$ și $0,5 \pm 0,02 \text{ mg/g}$ – BH2; $0,21 \pm 0,001 \text{ mg/dm}^2$ și $0,54 \pm 0,04 \text{ mg/g}$ – BH3 (fig. 3.80 și fig. 3.81) [258]. Valorile medii ale carotenoizilor au fost de $0,11 \pm 0,01 \text{ mg/dm}^2$ – BH1; $0,09 \pm 0,007 \text{ mg/dm}^2$ – BH2 și $0,14 \pm 0,005 \text{ mg/dm}^2$ – BH3 (fig. 3.80) [258]. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au înregistrat între valorile BH2 și cele consemnate în cadrul celorlalte două variante experimentale (BH1 și BH3). În ceea ce privește spanacul cultivat convențional, în sol, acesta a consemnat valori mai scăzute ale clorofilei ($0,98 \pm 0,06 \text{ mg/g}$ clorofila a și $0,39 \pm 0,03 \text{ mg/g}$ clorofila b), comparativ cu cel cultivat în regim acvaponic (fig. 3.81).

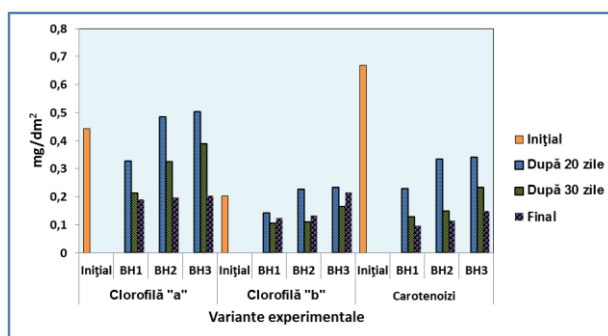


Fig. 3.80. Evoluția pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii), raportați la suprafața foliară

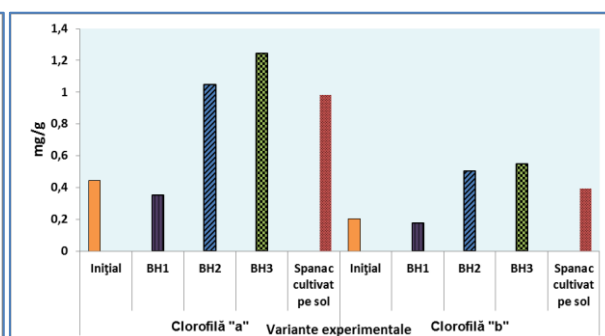


Fig. 3.81. Conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b), raportați la masa foliară

Legat de evoluția conținutului de pigmenți verzi clorofilieni și a celor galbeni carotenoizi, se observă o tendință descendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.80), fapt ce caracterizează intensitatea reacțiilor fotochimice de la nivelul spanacului.

3.4. CONCLUZII

Datele consemnate în prezentul experiment oferă o imagine clară a influenței raportului plante (spanac) : pești (păstrăv curcubeu), generat de variația densității de creștere a biomasei de spanac, asupra dinamicii nutrienților și a capacității de fitoremediere a apei tehnologice folosită într-un sistem recirculant integrat, în cadrul căruia s-a aplicat tehnica acvaponică pe substrat flotabil (DWC). De asemenea, atât randamentului producției de spanac, precum și compoziția chimică și calitativă a acestuia, în condițiile celor trei densități de creștere aplicate (BH1-59 plante/m², BH2-48 plante/m² și BH3-39 plante/m²), au fost evaluate. Compoziția chimică și calitativă aferentă biomasei de spanac cultivat în regim acvaponic a fost comparată cu cea obținută în cazul spanacului cultivat în mod convențional, în sol. Astfel, prin studiul comparativ anterior menționat, colaborat cu o analiză punctuală a legislației privind securitatea consumatorului, a fost posibilă precizarea gradul de conformitate a spanacului obținut în regim acvaponic, în vederea comercializării acestuia în scopul consumului uman.

Astfel, drept concluzii finale ale studiului realizat, se pot enunța următoarele aspecte:

- Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrația de oxigen dizolvat consemnate la evacuarea celor patru variante experimentale (BH1, BH2, BH3 și Martor), manifestate mai strident spre sfârșitul perioadei experimentale, sunt corelate în mare măsură cu conținutul de substanță organică din cadrul sistemului recirculant integrat. De asemenea, diferențele consemnate între concentrația de oxigen dizolvat din cadrul variantei Martor și cea înregistrată la alimentarea unităților acvaponice (evacuarea unității de filtrare biologică) sunt consecințe directe ale dezvoltării comunităților microbiene pe suprafața interioară a conductelor și a pereților unităților acvaponice.
- Concentrația de azot amoniacal are tendința certă de acumulare, evoluția puternic ascendentă din ultima parte a perioadei experimentale corelându-se în mod direct cu cea a ratei de îndepărtare a acesteia. Diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) dintre cele trei variante experimentale (BH1, BH2, BH3) semnifică influența certă a densității de creștere a plantelor asupra ratei de îndepărtare a azotului amoniacal. Totuși, trebuie evidențiat ritmul accelerat de acumulare a concentrației de azot amoniacal în cadrul apei tehnologice, comparativ cu creșterea mai slabă în intensitate a ratei de îndepărtare a acestui, consemnată la nivelul biomasei de spanac. Ca atare, spanacul se apropie de un grad de saturație în ceea ce privește absorbția azotului amoniacal spre sfârșitul perioadei experimentale.
- Concentrația de nitriți a apei tehnologice înregistrează diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între primele două variante experimentale (BH1, BH2) și grupul format din BH3 și Martor. Luând în considerare că spanacul consumă cu precădere azot sub formă de nitrați, acest fapt nu poate fi pus pe seama ratei de îndepărtare generată de biomasa vegetală existentă la nivelul fiecărei unități acvaponice. Prin urmare, diferențele observate sunt consecința directă a proceselor de oxidare ce au loc la nivelul suprafeței radiculare a spanacului.
- Fluctuațiile concentrației de nitrați din perioada de început a experimentului evidențiat exigențele nutriționale manifestate la nivelul biomasei vegetale din cadrul fiecărei unități acvaponice. O intensitate mai accentuată a creșterii se consemnează de-a lungul ultimei săptămâni a perioadei experimentale în ceea ce privește evoluția concentrației de nitrați, comparativ cu rata de îndepărtare a acestora, prezentă la nivelul unităților acvaponice. Acest fapt este corelat cu existența unor concentrații mari de azot amoniacal în apa tehnologică. În cazul BH1 s-au înregistrat valori superioare ale ratei de îndepărtare a nitraților, comparativ cu celelalte variante experimentale. În cadrul variantelor experimentale cu spanac (BH1, BH2, BH3) s-au înregistrat rate de îndepărtare a nitraților puternic

- superioare celor consemnate în cazul variantei Martor, fapt ce evidențiază capacitatea de fitoremediere a culturilor acvaponice de spanac.
- Rata de retenție a fosforului (P_2O_5) înregistrează o creștere mai accentuată comparativ cu evoluția concentrației acestuia în apa tehnologică, de-a lungul ultimei părți a perioadei experimentale. Acest fapt asigură o tendință constantă de variație a concentrației de fosfor în cadrul sistemului integrat, spre sfârșitul perioadei experimentale. Diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește rata de retenție a fosforului, consemnate în cadrul celor patru variante experimentale (BH1, BH2, BH3, Martor), evidențiază un raport de directă proporționalitate între aceasta și densitatea de cultivare a spanacului.
 - Tendința descendentă a evoluției concentrației de calciu, coroborată cu o rata de retenție ascendentă sunt semne ale unui posibil dezechilibru al acestui element, pe termen lung, în cadrul sistemului recirculant integrat. Varianta experimentală BH1 înregistrează cea mai mare valoare a ratei de retenție a calciului. Cu toate acestea, sunt necesare a fi punctate fluctuațiile apărute în evoluția ratei de retenție a calciului din cadrul acestei variante. Acestea reprezintă un semn al eventualelor disfuncționalități legate de absorbția acestui macroelement secundar.
 - O corelație direct proporțională se înregistrează între rata de retenție a magneziului și densitatea de cultură a spanacului. Scăderea valorii ratei de retenție a magneziului, manifestată în finalul perioadei experimentale, induce o creștere normală a concentrației acestui macroelement secundar în cadrul apei tehnologice.
 - Predilecția biomasei vegetale de spanac pentru absorbția de potasiu este evidentă, dat fiind evoluțiile ascendente, direct proporționale, ale concentrației de potasiu din apa tehnologică și a ratei de absorbție a acestuia, manifestate în cazul BH1 și BH2. Dat fiind concurența scăzută manifestată la nivelul populației de spanac din cadrul BH3, spre sfârșitul perioadei experimentale, rata de retenție a potasiului înregistrează o dinamică constantă.
 - Fierul a reprezentat singurul element al cărui concentrație din apa tehnologică nu a fost suficientă în vederea asigurării unei creșteri optime a biomasei vegetale de spanac. Rata de retenție a fierului a înregistrat o evoluție puternic ascendentă, direct proporțională cu densitatea de cultură a biomasei de spanac.
 - Concentrația de mangan a înregistrat fluctuații de-a lungul perioadei experimentale doar în cazul BH1, unde cea mai mare densitate de cultură a spanacului a fost aplicată. Ca atare, se recomandă densități mai mici de 59 plante/m² pentru evitarea fluctuațiilor legate de evoluția ratei de retenție a manganului.
 - Valorile consumului chimic de oxigen (COD) cresc în raport cu nivelul de dezvoltare a suprafeței radiculare a spanacului. Se recomandă utilizarea unor debite de alimentare mai scăzute, comparativ cu cele utilizare în prezentul experiment, cu scopul limitării fenomenului ce constă în desprinderea materiei organice acumulate la nivelul suprafeței radiculare a plantelor, de-a lungul perioadei experimentale. Acest fenomen este cu atât mai intens cu cât densitatea suprafeței radiculare la nivelul unității acvaponice este mai mare. Astfel, valorile superioare ale COD din cadrul BH1, comparativ cu celelalte variante experimentale, sunt pe deplin justificate.
 - Concentrația TOC înregistrează valori ridicate la începutul variantei experimentale, în cazul variantelor BH1 și BH2. În vederea evitării acestui fapt se recomandă o curățire sub jet de apă a suprafețelor radiculare ale răsadurilor obținute în sol, înainte de transplantarea acestora în regim acvaponic de cultură.
 - Evoluția puternic ascendentă a BOD5 este în corelație directă cu valorile concentrației solidelor totale în suspensie (TSS). Astfel o evoluție slab ascendentă a fost consemnată la BH3, comparativ cu BH1 și BH2, fapt determinat în mare parte de acumularea treptată a

substanței organice. În cazul BH1 și BH2, capacitatea de filtrare a solidelor a fost mai mare datorită unei aglomerări superioare a suprafeței radiculare a spanacului, generate de densitățile de cultură aplicate. Acest fapt a determinat evoluții puternic ascendente ale BOD5 în cadrul celor două variante experimentale menționate anterior.

- Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total la nivelul unității de filtrare biologică, a înregistrat o valoare optimă pentru filtrele tip trickling, pe toată perioada experimentală. Acest fapt denotă atât funcționarea corespunzătoare a unității de filtrare a solidelor, cât și corectitudinea procesului aplicat în vederea activării filtrului trickling.
- Cantitatea de azot reținută la nivelul G2 (variante de biomasă piscicolă hrănită cu furaj 50% proteină) este mai mare comparativ cu cea consemnată la nivelul G1 (furaj 41% proteină), în mare parte datorită valorii superioare a sporului de creștere și nu datorită diferențelor de concentrație ale azotului (TKN) înregistrate la nivelul celor două variante.
- Concentrația de azot (TKN) din biomasa foliară a spanacului obținut în cadrul variantei BH3 este apropiată de cea înregistrată pentru spanacul obținut prin metode convenționale, în sol.
- Concentrația de azot (TKN) din biomasa radiculară a spanacului este superioară celei înregistrate în cazul suprafeței foliare. Varianta BH3 consemnează o concentrație de azot (TKN) din rădăcini, net superioară comparativ cu BH1 și BH2.
- Bilanțul final al azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat a consemnat o valoare procentuală foarte bună în dreptul biomasei totale de spanac (12,59%) și valori optime în dreptul biomasei piscicole (peste 20%) și a reziduurilor grosiere (peste 12%). Acest fapt demonstrează gradul sporit de eficiență a fitoremedierii, consemnat în dreptul biomasei de spanac din cadrul sistemului recirculant integrat.
- Concentrația de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale are o tendință descendentă, acest fapt fiind corelat cu creșterea concentrației de fosfor din carne. Surplusul de fosfor din cadrul furajului *Nutra Pro MP-T* (1,2% fosfor), față de cel din furajul *Clasic Extra 1P* (0,9% fosfor), nu a fost materializat în diferențe semnificative statistice ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrația de fosfor din carne de la finalul experimentului. Biomasa piscicolă hrănită cu furaj *Nutra Pro MP-T* (1% calciu) a înregistrat o valoare mai mare a concentrației de calciu din carne.
- Diferențe semnificative statistice ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrațiile de fosfor (P_2O_5) și calciu din biomasa foliară a spanacului s-au consemnat între cele trei variante experimentale. Concentrația de fosfor din frunzele spanacului obținută în cadrul variantei BH3 este apropiată de cea obținută în cazul spanacului cultivat convențional, în sol. În ceea ce privește concentrația de calciu, valori mult superioare au fost consemnate în cazul spanacului cultivat convențional, comparativ cu cel obținut în regim acvaponic. Dovada evidentă a carențelor de calciu pentru spanacul obținut utilizând tehnici acvaponice de cultură este reprezentată de răsucirea frunzelor nou formate și uscarea acestora la extremități, fenomen întâlnit în cadrul BH1.
- O creștere superioară a biomasei vegetale este consemnată în cadrul variantei BH3, unde cea mai mică densitate de creștere a fost aplicată. Afirmația este confirmată de valorile ratei relative de creștere (RGR) net superioare în cazul BH3.
- Luând în considerare valoarea scăzută a ratei nete de asimilare (NAR), corelată cu suprafața foliară și de asemenea, cu valoare indicatorului LAR (ponderea suprafeței foliare), în cazul variantei BH2 se consemnează cea mai mică grosime a frunzelor, fapt ce indică o calitate precară a spanacului obținut. Acest fapt poate fi influențat și de caracteristicile morfo-biometrice generate de factorii genetici.
- Valorile ridicate ale indicelui suprafeței foliare și ale raportului de masă R/S din cadrul BH1 și BH3 confirmă o stare de sănătate bună a spanacului obținut în aceste variante.

- Valorile mai mici ale concentrației de nitriți din biomasa radiculară, raportate la varianta BH2, pot fi corelate cu o calitate mai precară a spanacului din cadrul acestei variante, fapt confirmat și în constatările anterioare. Valorile consemnate pentru varianta BH1 sunt apropiate de cele înregistrate în cazul spanacului cultivat convențional, în timp ce valorile BH3 sunt net superioare.
- În cazul concentrației de nitriți din biomasa foliară, valori mult superioare sunt înregistrate în cazul BH2 și BH3 comparativ cu BH1 și CONTROL (spanacul cultivat convențional).
- Concentrațiile de nitrați din biomasa foliară și cea radiculară a spanacului obținut în regim acvaponic sunt net superioare celor corespunzătoare spanacului cultivat convențional în sol. După consultarea în prealabil a legislației în vigoare, legată de condițiile de securitate și calitate a legumelor și fructelor proaspete, se constată că spanacul obținut în regim acvaponic îndeplinește exigențele necesare în vederea comercializării. Trebuie menționat faptul că acesta depășește însă, cu mult, limita maximă admisă pentru consumul de către copiii de până la 12 ani.
- Concentrațiile finale de nitrați și nitriți din carnea de pește, raportate în cadrul celor două variante experimentale (G1 și G2) înregistrează diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$). Astfel, se poate afirma că furajele cu diferite concentrații proteice influențează în mod semnificativ cantitatea de nitriți și nitrați din carnea de pește.
- Concentrația de substanță uscată este superioară în cazul BH3, comparativ cu celelalte variante experimentale (BH1, BH2, CONTROL – spanac cultivat convențional, în sol).
- Concentrația de cenușă înregistrează valori net inferioare în cazul spanacului obținut în regim acvaponic, comparativ cu cel cultivat convențional, în sol. De asemenea, valorile înregistrate în varianta BH3 sunt superioare celor din BH1 și BH2.
- Cantitatea de pigmenți verzi, (clorofilieni) și pigmenți galbeni (carotenoizi), a înregistrat valori superioare în cazul BH3, comparativ cu celelalte variante experimentale (BH1, BH2, CONTROL – spanac cultivat convențional, în sol). De asemenea, valorile înregistrate în cadrul BH2 sunt apropiate de cele consemnate în cazul spanacului cultivat convențional.



CAPITOLUL IV

POTENȚIALUL DE BIOREMEDIERE ȘI RANDAMENTUL PRODUCȚIEI CULTURII DE SPANAC (*Spinacia oleracea*) ÎNTR-UN SISTEM RECIRCULANT INTEGRAT, FOLOSIND TEHNICA DE CULTURĂ ÎN SUBSTRAT DE ARGILĂ STRUCTURATĂ (LECA), ÎN REGIM PERMANENT DE SUBMERSIE



4.1. IPOTEZA ASUMATĂ

Cercetările recente la nivel mondial [299] au semnalat necesitatea sporirii eficienței economice a sistemelor recirculante integrate. Astfel, o analiza structurală a indicatorilor economici consemnați la nivelul sistemelor intensive de producție a indicat ponderea foarte mare a cheltuielilor cu electricitatea în totalul cheltuielilor variabile înregistrate pe parcursul unui ciclu de producție [4, 14, 77, 81, 219, 198, 299, 300].

Nichols (2008) și Blidariu și Grozea (2011) susțin posibilitatea îmbunătățirii eficienței economice a sistemelor recirculante prin aplicarea tehnicilor acvaponice [77, 219, 301]. În afară de beneficiul financiar cert, generat de comercializarea biomasei vegetale obținute, integrarea modulelor acvaponice în cadrul sistemelor recirculante contribuie la optimizarea calității apei tehnologice din cadrul sistemului, prin procesele de fitoremediere [125, 126, 130, 160, 163, 214, 218, 219].

Pornind de la premisa integrării la nivelul modulului acvaponic a unităților de tratare a apei, prezente în cadrul configurației unui sistem recirculant, tehnica acvaponică de cultură în substrat a devenit consacrată în rândul studiilor experimentale legate de controlul calității apei în cadrul sistemelor recirculante integrate. Diverse tipuri de substraturi de creștere a plantelor și totodată, de tratare a apei, au fost testate în cadrul cercetărilor întreprinse până în prezent [67, 116, 303]. Principalul deziderat este legat de posibilitatea folosirii substratului acvaponic de cultură a plantelor, drept mediu filtrant și de asemenea, suprafață propice în vederea dezvoltării comunităților de bacterii autotrofe. Astfel, procesele de oxidare existente la nivelul acestui substrat ar fi similare cu cele din cadrul unităților trickling de filtrare biologică, fapt ce induce eficiență din punct de vedere economic datorită scăderii consumului de energie electrică și a valorii investiției inițiale. Acest lucru este un real suport acordat investitorilor a căror activitate de producție acvacolă implică creșterea speciilor de sturioni.

În mare măsură, alegerea tehnicii acvaponice ce urmează a fi utilizată în cadrul unui sistem recirculant integrat este bazată, în mare măsură, pe obiectivele urmărite de fiecare investitor. Astfel, după cum afirma Lennard și Leonard (2006) [125], prin aplicarea tehnicii acvaponice în substrat de pietriș sau nisip, nevoia unității de filtrare biologică din cadrul sistemului recirculant integrat poate fi exclusă. Alte studii confirmă folosirea tehnicii acvaponice amintite anterior și în scopul îndepărtării solidelor grosiere din cadrul sistemului integrat [178, 210]. Acest concept inovativ de integrare a unităților de tratare a apei din configurația unui sistem recirculant în cadrul modulului acvaponic aferent acestuia a aparținut într-o primă etapă producătorilor, care au testat această tehnică la nivel industrial [74, 150]. Diversele probleme întâmpinate de către aceștia, legate în special de intensitatea proceselor de oxidare de la nivelul substratelor de creștere și ca atare, de rata de acumulare a substanței organice și asigurarea unei aerări corespunzătoare la nivelul filmurilor de bacterii autotrofe, au generat preocupări la nivelul comunității academice în vederea elucidării acestora.

Astfel, Rafiee și Saad (2006) au evaluat utilizarea zeolitului drept substrat de creștere a salatei verzi, obținând rezultate pozitive atât în ceea ce privește tratarea apei tehnologice provenite din creșterea exemplarelor de tilapia, cât și pentru creșterea biomasei vegetale [134]. Tyson și colab. (2001) confirmă popularitatea perlitului spre a fi folosit drept substrat de creștere în cadrul sistemelor acvaponice din Florida – SUA [303], în timp ce Graber și Junge (2009) folosesc substrat LECA (hidroton) în cadrul sistemului acvaponic din Waedenswil – Zürich, eliminând astfel necesitatea unei unități de filtrare biologică separate [76].

Utilizarea tehnicii acvaponice de cultură în substrat ridică o serie de probleme legate de regimul de submersie potrivit a fi aplicat la nivelul modulului acvaponic. Astfel, din studiul literaturii de specialitate s-au distins două regimuri de submersie, pliabile spre a fi utilizate în

cazul aplicării tehnicii acvaponice menționate anterior și anume: regimul permanent de submersie și regimul intermitent de submersie. Rezultatele raportate în cadrul studiilor de specialitate, privind utilizarea celor două regimuri de submersie, sunt foarte diferite [126, 127, 128, 210].

Teoretic, un regim intermitent de submersie ar asigura un grad ridicat de aerare la nivelul substratului de creștere și ca atare, o intensitate ridicată a proceselor de oxidare din cadrul acestuia. În cadrul unui studiu comparativ între cele două regimuri de submersie menționate anterior, Lennard și Leonard (2004) au înregistrat, contrar celor raportate anterior, performanțe mai bune atât în ceea ce privește randamentul producției, cât și legate de capacitatea de tratare a apei, în dreptul regimului permanent [126].

În cadrul prezentului experiment a fost folosită **tehnica de cultură pe substrat LECA, în regim permanent de submersie. Din cercetări bibliografice efectuate, combinația de specii plante – pești utilizată (spanac „*Spinacia oleracea*” – păstrugă „*Acipenser stellatus*”) nu a fost regăsită ca fiind testată până în prezent.**

Obiectivul principal al prezentului experiment constă în **identificarea capacității de bioremediere a celor patru variante experimentale testate (B1H - 59 plante/m² + LECA, B2H - 48 plante/m² + LECA, B3H - 39 plante/m² + LECA și B4H - LECA).** De asemenea, în acest context, **randamentul creșterii biomasei vegetale și compoziția chimică și calitativă a acesteia** au fost analizate.

Ca atare, în urma acestui studiu se urmărește **identificarea variantei optime ce trebuie a fi aplicată în scopul obținerii unui raport maxim privind capacitatea de tratare a apei tehnologice - randamentul de creștere a biomasei vegetale - compoziția chimică și calitativă a acesteia (corespunzătoare normelor în vigoare, în vederea comercializării producției obținute).**

4.2. DESIGN EXPERIMENTAL

Cercetările experimentale din prezentul capitol au avut loc pe durata a 44 de zile calendaristice și au fost desfășurate în cadrul sistemului recirculant integrat al Departamentului de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru – Facultatea de Știința și Ingineria Alimentelor – Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați. Descrierea detaliată a sistemului de producție a fost realizată în CAPITOLUL II, secțiunea 2.1.3. din prezenta lucrare.

Înainte de începerea experimentului, s-a inițiat operațiunea de formare a peliculei biologice, atât la nivelul filtrului biologic tip trickling, cât și la nivelul substratului LECA. Activarea biofiltrului și a substratului de cultură LECA din cadrul unităților acvaponice s-a realizat prin adăos zilnic de clorură de amoniu (25 mg/L), conform [130, 211].

Materialul piscicol a fost reprezentat de un număr de 184 exemplare de păstrugă „*Acipenser stellatus*”, cu o biomasă medie inițială de 169,75g, descris în detaliu în CAPITOLUL II, secțiunea 2.2 din prezenta lucrare. Exemplarele de păstrugă au fost repartizate în mod egal în cadrul fiecăreia dintre cele patru unități de creștere din componența sistemului recirculant integrat (46 exemplare / unitate de creștere). În ceea ce privește regimul de hrănire, s-au aplicat patru rații zilnice de furajare: F1 (G1) – 2,21% BW/zi; F2 (G2) – 1,85% BW/zi; F3 (G3) – 1,64%BW/zi și F4 (G4) – 1,28% BW/zi.

O cantitate totală de 25 877g furaj *Clasic Extra 1P (41%PB)* a fost distribuită de-a lungul perioadei experimentale. Compoziția biochimică a furajului folosit a fost expusă în prezenta lucrare, în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2., tabel 3.1.

Materialul vegetal a fost reprezentat de un număr de 90 răsaduri de spanac, obținute în cadrul Complexului Muzeal de Științele Naturii - Galați, descris în detaliu în CAPITOLUL II, secțiunea 2.2 din prezenta lucrare. Răsadurile de spanac au fost împărțite în trei grupuri, în

triplicat (grupul 1 – 12 răsaduri, grupul 2 – 10 răsaduri, grupul 3 - 8 răsaduri) și transplantate în cadrul unităților acvaponice existente. Astfel, s-au creat următoarele variante experimentale: B1H (B1H1, B1H2, B1H3) - 59 plante/m², B2H (B2H1, B2H2, B2H3) – 48 plante/m², B3H (B3H1, B3H2, B3H3) – 39 plante/m² și B4H (B4H1, B4H2, B4H3) – varianta MARTOR (FĂRĂ plante, doar substrat de creștere LECA) (fig. 4.1).

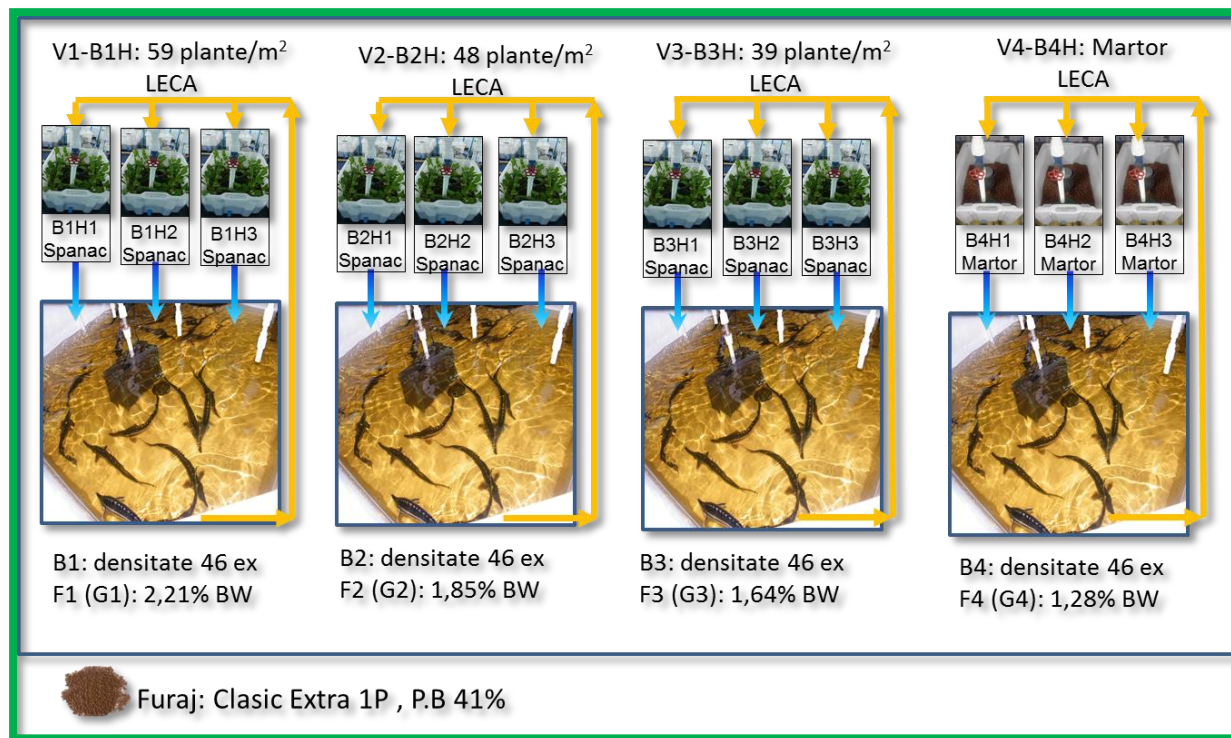


Fig. 4.1. Schema experimentală

Măsurarea parametrilor fizico-chimici au fost realizate de două ori pe săptămână, prin prelevarea de probe de apă dimineața, înaintea administrării hranei. Următorii parametri fizico-chimici ai apei tehnologice au fost monitorizați: azotul amoniacal ($N - NH_4^+$), nitriții ($N - NO_2^-$), nitrații ($N - NO_3^-$), peroxidul de fosfor (P_2O_5), fierul (Fe_3^+), duritatea totală, calciul (Ca_2^+), magneziul (Mg_2^+), alcalinitatea, manganul (Mn_2^+), potasiul (K^+), clorul (Cl^-), consumul chimic de oxigen (COD), carbonul organic total (TOC), consumului biologic de oxigen (BOD5), oxigenul dizolvat, temperatura, pH-ul, turbiditatea și materiile în suspensie (TSS). Metodele de analiză au fost descrise în CAPITOLUL II, secțiunea 2.3 al prezentei lucrări. Locurile de prelevare a probelor de apă au fost următoarele:

- ⊗ alimentarea fiecărei din cele 12 unități acvaponice;
- ⊗ evacuarea fiecărei din cele 12 unități acvaponice;
- ⊗ evacuarea unității de îndepărtare a solidelor (filtru cu tambur rotativ);
- ⊗ alimentarea unității de filtrare biologică (filtru tip trickling);
- ⊗ evacuarea unității de filtrare biologică (filtru tip trickling);

În baza rezultatelor obținute din cadrul etapei de monitorizare a concentrației parametrilor chimici ai apei tehnologice, a fost determinată rata de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) și ratele de retenție pentru: nitrați ($N - NO_3^-$), peroxid de fosfor (P_2O_5), fier (Fe_3^+), calciu (Ca_2^+), magneziu (Mg_2^+), mangan (Mn_2^+) și potasiu (K^+). În acest scop, s-a aplicat ecuația (1.) exemplificată în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2, ce cuantifică rata de retenție/îndepărtare a nutrienților din cadrul unui sistem, raportată la suprafața unităților acvaponice.

Măsurători biometrice amănunțite asupra materialului biologic vegetal au fost realizate atât la inițierea experimentului, cât și la finalul acestuia, conform celor prezentate în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2. Evoluția biometrică a înălțimii plantelor, precum și suprafața foliară a acestora au fost monitorizate aproape săptămânal, de-a lungul perioadei experimentale. Astfel, în baza ecuațiilor prezentate în CAPITOLUL II, secțiunea 2.4 al prezentei lucrări, s-au determinat următorii indicatori ai randamentului creșterii biomasei vegetale: sporul de creștere [W_p], indicele suprafeței foliare [LAR], rata relativă de creștere [RGR], rata netă de asimilare [NAR], rata de creștere a biomasei vegetale [CGR] și ponderea medie a suprafeței foliare [Avg.LAR].

Probe de țesut muscular și țesut vegetal (frunze și rădăcină) au fost prelevate la inițierea experimentului și la finalul acestuia, de la un număr de 5 exemplare din cadrul fiecărei variante experimentale, cu scopul de a determina concentrațiile de: nitriți, nitrați, azot (TKN), peroxid de fosfor și calciu, idem CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2. În scopul unei aprecieri juste din punct de vedere calitativ, din probele de țesut vegetal foliar au fost determinate concentrațiile de pigmenți verzi clorofilieni și galbeni carotenoizi, precum și concentrația de substanță uscată și cea a substanțelor minerale totale, idem CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2.

Prezentul experiment a fost realizat în triplicat, asigurând astfel un grad mare de încredere asupra datelor obținute și îndeplinind criteriile de exigență impuse de publicații științifice acreditate la nivel internațional.

4.3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

4.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului

În cadrul managementului operațional al sistemelor recirculante integrate, este absolut esențială o evaluare a dinamicii concentrațiilor de macronutrienți din apa tehnologică, cu scopul menținerii unui echilibru nutrițional care să faciliteze maximizarea producției vegetale și piscicole. Astfel, în paragraful de început al CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.3, este prezentat rolul fiecăruia dintre acești macronutrienți, în creșterea și dezvoltarea biomasei vegetale, cultivată în condiții acvaponice.

Spanacul „*Spinacia oleracea*” este o specie ce manifestă cerințe ridicate din punct de vedere nutrițional, în ceea ce privește absorbția de fier, potasiu și calciu. Condițiile mediale optime pentru creșterea spanacului presupun existența unui ecart al valorilor temperaturii atmosferice cuprins între 7 - 24°C. Astfel, de-a lungul perioadei experimentale a prezentului studiu, s-a asigura un ecart de variație a temperaturii atmosferice cuprins între 19,3 – 23,8°C. În cazul cultivării biomasei vegetale prin utilizarea tehnicilor acvaponice, în afara temperaturii atmosferice, temperatura apei tehnologice este de o importanță deosebită.

Dinamica valorilor medii ale temperaturii, consemnate la nivelul punctele de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice (B1H, B2H, B3H, B4H) și la alimentarea acestora (B), a înregistrat o evoluție fluctuantă, în special în prima jumătate a perioadei experimentale (fig. 4.2). Astfel, valorile medii ale temperaturii pe toată durata experimentală au fost de 19,64±1,22°C – B1H; 19,48±1,24°C – B2H; 19,5±1,2°C – B3H; 19,43±1,22°C – B4H; 19,37±1,23°C – B; 20,25±1,43°C – alimentare unitate de filtrare biologică (AFB); 20,31±1,45°C – evacuarea unității de filtrare biologică (EFB) și 19,98±1,42°C – evacuare unității de îndepărtare a solidelor grosiere (EFM) [304]. Nu s-au evidențiat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p>0,05$) între valorilor temperaturii înregistrate la evacuarea unităților acvaponice din cadrul celor patru variante experimentale.

Totuși, trebuie precizat faptul că diferențele înregistrate între valorile consemnate la evacuarea unităților acvaponice (fig. 4.2) și cele aferente alimentării acestora sunt atât rezultatul sistemului de iluminat folosit, cât și a prezenței stratului de cultură LECA, ce capătă rol de izolator termic în acest caz. Ca atare, sistemul de iluminat format din cele patru lămpi Metal-halide degajă căldură ce se transferă la nivelul substratului acvaponic LECA, aflat în permanență inundat aproape în totalitate.

Valorile temperaturii apei de-a lungul întregii perioade experimentale se încadrează în ecartul optim atât pentru creșterea păstrugii [28, 29, 32, 139, 146, 200], cât și pentru cea a spanacului [215]. Implicații ale varianței temperaturii asupra proceselor chimice și biologice din cadrul sistemelor recirculante integrate au fost menționate în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 33, paragraf „dinamica valorilor temperaturii”.

Lennard și Leonard (2004, 2006) raportează o valoare medie a temperaturii apei tehnologice de 22°C, în condițiile folosirii unui substrat de cultură format din pietriș și a unui regim permanent de submersie, pentru producția de salată verde [125, 126]. De asemenea, în cadrul studiului menționat anterior, se consemnează o valoare medie a temperaturii atmosferice de 24°C [125]. Trang și colab. (2010) au înregistrat un ecart de variație a temperaturii apei tehnologice de 27 - 30°C, în condițiile folosirii tehnicii acvaponice în substrat de pietriș pentru cultura salatei verzi și a spanacului de apă [73].

Tyson și colab. (2007) au raportat un ecart de valori ale temperaturii apei, cuprins între 29,1 - 30°C, în condițiile unui sistem acvaponic ce utilizează perlitul drept substrat de creștere [226]. Un studiu de caz realizat la Tropenhaus Ruswil – Elveția (2006) a raportat un ecart de variație a valorilor medii ale temperaturii între 18 - 23°C, în condițiile folosirii LECA drept substrat de creștere pentru diverse tipuri de plante [306].

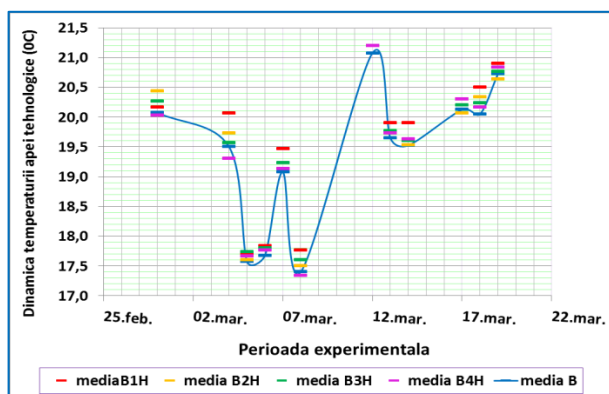


Fig. 4.2: Evoluția temperaturii apei tehnologice

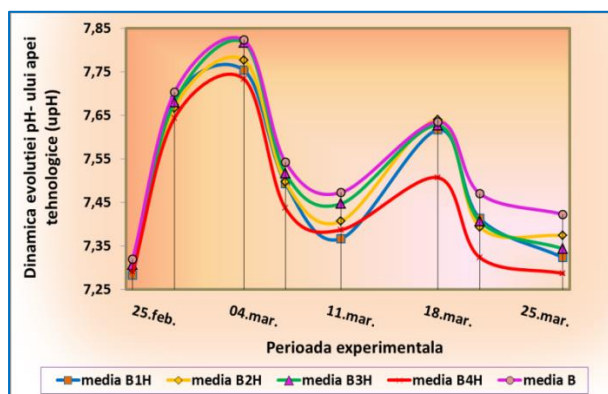


Fig. 4.3: Evoluția pH-ului apei tehnologice

Evoluția pH-ului consemnează o tendință relativ descendentă, cu fluctuații semnificative de-a lungul întregii perioade experimentale (fig. 4.3). La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a pH-ului de $7,55 \pm 0,16 \text{ upH}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $7,49 \pm 0,17 \text{ upH}$ – B1H; $7,51 \pm 0,17 \text{ upH}$ – B2H; $7,52 \pm 0,18 \text{ upH}$ – B3H și $7,45 \pm 0,17 \text{ upH}$ – B4H (martor) [304].

Valoarea medie a pH-ului în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $7,61 \pm 0,17 \text{ upH}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $7,58 \pm 0,17 \text{ upH}$ la alimentare (AFB) și $7,55 \pm 0,17 \text{ upH}$ la evacuare (EFB) [304].

Diferențele dintre valorile înregistrate în cadrul primelor trei variante experimentale nu sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$). Valorile înregistrate în cadrul grupului (B1H, B2H și B3H) înregistrează diferențe semnificative statistic, comparativ cu cele înregistrate în cadrul B4H (martor) ($p < 0,05$).

Evoluția consemnată poate fi pusă pe seama procesului de acumulare de CO_2 și a intensității proceselor de oxidare, prezente la nivelul substratului de cultură (LECA), fapt explicat și în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 33, paragraf „*evoluția pH-ului*”. Astfel, dacă fluctuațiile din prima săptămână (fig. 4.3) pot fi puse pe seama consumului de dioxid de carbon al biomasei vegetale, cele din cadrul ultimelor două săptămâni experimentale pot fi rezultatul scăderii în intensitate a procesului de oxidare, datorită acumulării de substanță organică în cadrul substratului LECA de creștere.

Lennard și Leonard (2004, 2006), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii), înregistrează valori medii ale pH-ului de 6,9upH [125, 126]. Trang și colab. (2010), raportează un ecart de variație a pH-ului între 7,08 -7,31 upH [73], în condițiile tehnologice descrise mai sus (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii). Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație a pH-ului între 5,91 – 7,21upH, în condițiile folosirii zeolitului drept substrat de creștere, în cadrul unui sistem acvaponic unde a fost aplicată combinația de specii tilapia : salată verde [134]. Tyson și colab. (2007) au raportat un ecart de valori ale pH-ului între 6,6 – 8,4upH, în condițiile tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii) [226]

Concentrația de oxigen dizolvat (DO) a înregistrat o evoluție descendentă la nivelul unităților acvaponice, în timp ce la nivelul unității de filtrare biologică, aceasta a consemnat o dinamică relativ constantă (fig. 4.4). La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a oxigenului dizolvat de $6,28 \pm 1,07 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $2,95 \pm 1,39 \text{ mg/L}$ – B1H; $3,14 \pm 1,76 \text{ mg/L}$ – B2H; $3,91 \pm 1,97 \text{ mg/L}$ – B3H și $5,65 \pm 1,31 \text{ mg/L}$ – B4H (martor) [304]. Valoarea medie a DO în punctul de prelevare situat la evacuarea unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $6,28 \pm 1,04 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $6,01 \pm 1,013 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $7,36 \pm 0,99 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB) [304].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic sunt înregistrate între toate variantele experimentale ($p < 0,05$) cu excepția B1H și B2H, variante între care se consemnează diferențe nesemnificative ($p > 0,05$). De asemenea, diferențe statistic semnificative sunt obținute între AFB și EFB ($p < 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în cinci subseturi omogene astfel: B1H+B2H; B3H; B4H; B+EFM+AFB; EFB.

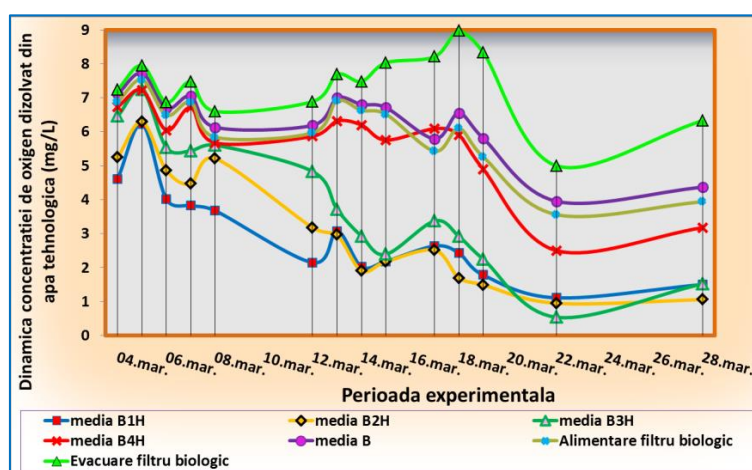


Fig. 4.4. Concentrația de oxigen dizolvat la nivelul unităților acvaponice și al unităților de filtrare

Evoluția puternic descendentă a concentrației de DO, manifestată la nivelul primelor trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) poate fi cauzată de acumularea semnificativă de substanță organică în cadrul substratului LECA de creștere. Acest lucru este mai accentuat în variantele anterior menționate, comparativ cu B4H - varianta martor (fără plante, doar LECA).

O posibilă justificare a acestui fenomen o constituie gradul de dezvoltare a suprafeței radiculare a spanacului. Astfel, pe măsură ce ramificarea rădăcinilor spanacului la nivelul substratului LECA se intensifică, are loc o comprimare a substratului de cultură și ca atare, o micșorare a suprafețelor libere existente între granulele de hidroton. Situația expusă generează o creștere a capacității de îndepărtare a solidelor și respectiv, o acumulare a acestora la nivelul unităților acvaponice, fapt ce justifică consumul ridicat de DO, consemnat în special spre finalul perioadei experimentale.

Lennard și Leonard (2006), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii), înregistrează valori medii ale DO de 7,84mg/L la alimentarea unităților acvaponice, superioare celor consemnate la evacuarea, de 7,2mg/L [125]. Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație a DO între 5,7 – 6,2mg/L, în condiții tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134]. Tyson și colab. (2007) au raportat un ecart de valori ale DO între 6,1 – 7mg/L, în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii) [226]. Alte studii raportează o concentrație de oxigen dizolvat la nivelul modulului acvaponic cuprinsă în ecartul 5,9 – 7,9mg/L, în condițiile folosirii unui substrat de creștere LECA [306].

Evoluția concentrației de azot amoniacal a fost fluctuantă, cu nivele minime consemnate la mijlocul perioadei experimentale (fig. 4.5 și fig 4.6). Se pot observa fluctuații de mare intensitate la nivelul variantei B4H și o tendință ascendentă manifestată în ultima săptămână experimentală (fig. A.8 – anexe, secțiunea 1), comparativ cu restul variantelor experimentale (fig. A.5, fig. A.6 și fig. A. 7 – anexe, secțiunea 1). De asemenea, în cadrul variantelor B1H și B3H se observă o evoluție mai constantă pe finalul perioadei experimentale (fig. A. 5 și fig. A. 7 – anexe, secțiunea 1).

În mod distinctiv, față de celelalte trei variante experimentale, în cazul B4H se observă o tendință descendentă a concentrației de azot amoniacal încă din prima săptămână experimentală (fig. 4.5). Acest fapt poate fi cauzat de inexistența biomasei vegetale, care cel mai probabil a interferat în cadrul proceselor de oxidare de la nivelul substratului LECA, în perioada de acomodare de după transplantare.

Concentrațiile scăzute de azot amoniacal din cadrul perioadei de mijloc a experimentului sunt corelate în mare măsură, atât cu o intensitate ridicată a procesului de oxidare din cadrul substratului LECA, cât și cu o creștere a ratei de absorbție, manifestate la nivelul biomasei vegetale.

Odată cu acumularea substanței organice la nivelul substratului LECA, proces explicat în cadrul paragrafului privind evoluția concentrației de DO are loc o dezvoltare a comunităților de bacterii heterotrofe, fapt ce determină scăderea în intensitate a proceselor de oxidare.

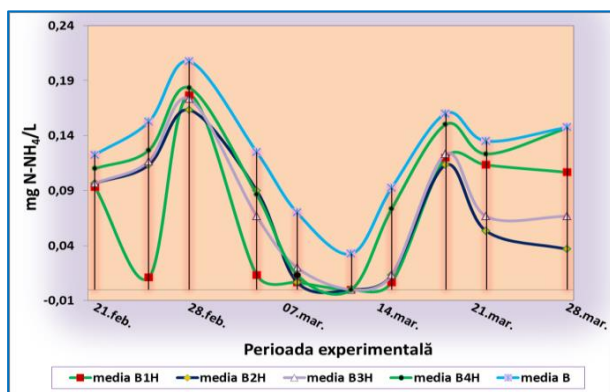


Fig. 4.5. Evoluția concentrației de N-NH_4 la nivelul unităților acvaponice

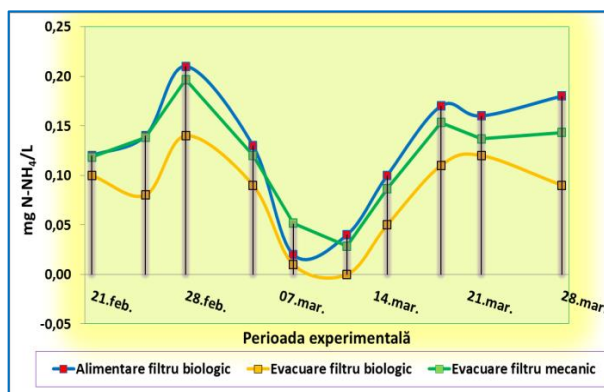


Fig. 4.6. Evoluția concentrației de N-NH_4 la nivelul unităților de filtrare

De asemenea, același lucru poate fi valabil și în cazul unității de filtrare biologică. În cadrul unității de decantare, situată la evacuarea unității de filtrare a solidelor groiere, se crează o zonă în cadrul careia particolele foarte mici (de ordinul micronilor) existente încă în masa apei, acționează în grup, stârnindu-se reciproc. Acest proces ce generează o reducere a vitezei de depunere și ca atare, o probabilitate însemnată pentru apa tehnologică cu o concentrație ridicată de solide în suspensie de a ajunge la nivelul unității de filtrare biologică (tip trickling).

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de azot amoniacal de 0,12mg/L, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: 0,06mg/L – B1H; 0,07mg/L – B2H; 0,07mg/L – B3H și 0,1mg/L – B4H (martor) [304]. Valoarea medie a concentrației de azot amoniacal în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de 0,12±0,04mg/L, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de 0,13±0,06mg/L la alimentare (AFB) și 0,08±0,04mg/L la evacuare (EFB) [304].

În cazul valorilor privind concentrația de azot amoniacal consemnate la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție relativ uniformă, acestea manifestând un grad mare de disipare în jurul mediei (fig. 4.7). Acest fapt nu se poate afirma și în cazul unității de filtrare biologică, unde se observă o distribuție înclinată spre dreapta, cu valori extreme în partea stângă (fig. 4.8).

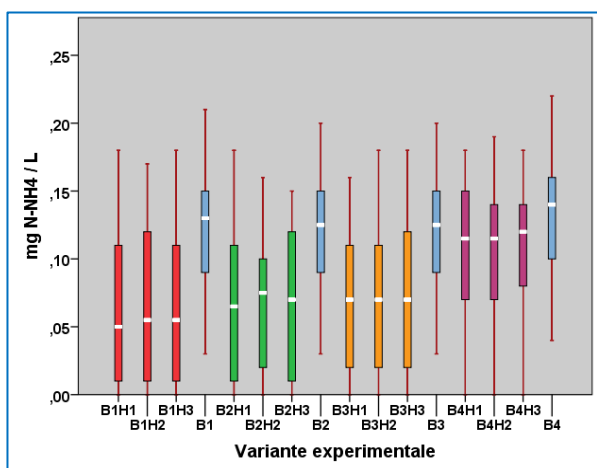


Fig. 4.7. Distribuția valorilor concentrației de azot amoniacal la nivelul modulului acvaponic

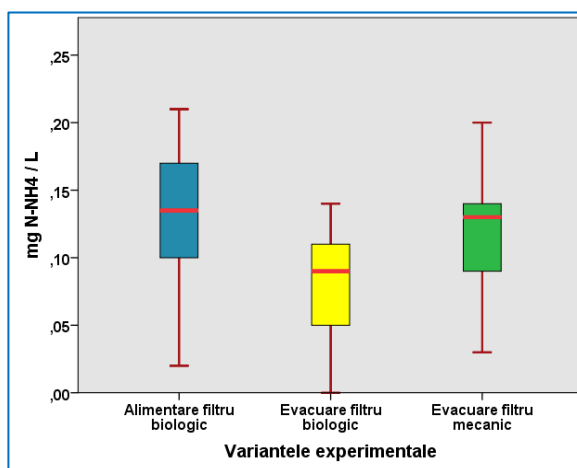


Fig. 4.8. Distribuția valorilor concentrației de azot amoniacal la nivelul unităților de filtrare

Lennard și Leonard (2006), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii) raportează concentrații de N-NH₄ nedetectabile [125]. Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație concentrației de N-NH₄ între 0,59 – 0,68mg/L, în condiții tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134].

Concentrația de nitriți (N-NO₂) la nivelul modulului acvaponic înregistrează o evoluție relativ constantă, cu fluctuații însemnate în cadrul primei săptămâni experimentale (fig. 4.9).

În ceea ce privește dinamica concentrației de nitriți înregistrată la nivelul unității de filtrare biologică, se disting segmente mai mari între valorile extreme în cazul punctului de prelevare situat la evacuarea unității de filtrare biologică (fig. 4.10).

În cadrul primelor două variante experimentale (B1H și B2H), se constată o mică tentă ascendentă a evoluției concentrației de nitriți (fig. A.17 și fig. A. 18 – anexe, secțiunea 1), intensitatea mai mare a proceselor de oxidare fiind cauzată cel mai probabil de prezența unei comunități numeroase de bacterii autotrofe, atât pe suprafața hidrotonului, cât și pe suprafața radiculară densă a spanacului.

Cea mai constantă evoluție a concentrației de nitriți se observă în cazul B3H, urmată de B4H (fig. A.19 și fig. A. 20 – anexe, secțiunea 1). Astfel, putem concluziona o relație de directă proporționalitate între densitatea de cultură a biomasei vegetale și concentrațiile de nitriți consemnate în cadrul modulului acvaponic.

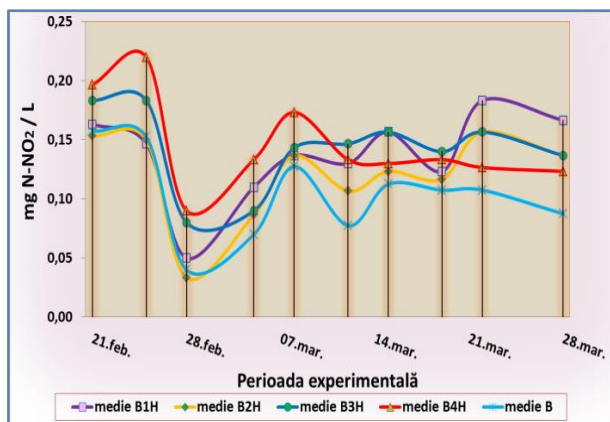


Fig. 4.9. Evoluția concentrației de N-NO_2 la nivelul unităților acvaponice

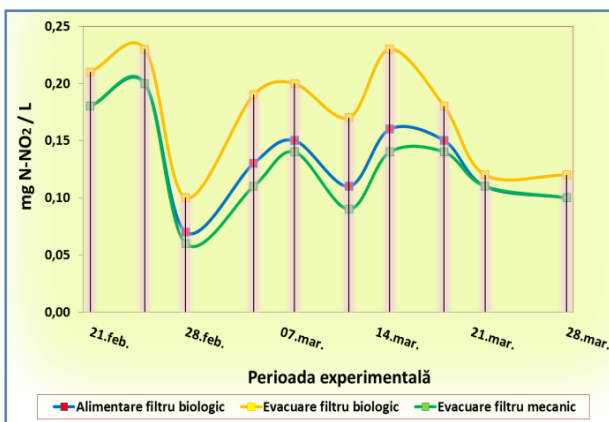


Fig. 4.10. Evoluția concentrației de N-NO_2 la nivelul unităților de filtrare

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de nitriți de $0,1 \pm 0,03 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $0,14 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ – B1H; $0,12 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ – B2H; $0,14 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ – B3H și $0,15 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ – B4H (martor) [304]. Valoarea medie a concentrației de nitriți în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $0,13 \pm 0,04 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $0,14 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $0,18 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB) [304]. Nu s-a constatat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) între variantele experimentale (B1H, B2H, B3H și B4H – martor).

Diferențe semnificative statistic se înregistrează în schimb între AFB și EFB ($p < 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H+B2H+B3H+B4H; EFM+AFB; EFB.

În cazul valorilor privind concentrația de nitriți consemnată la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție relativ uniformă în cazul B3H, comparativ cu celelalte variante experimentale (fig. 4.11). De asemenea, în cazul unității de filtrare biologică se observă o distribuție înclinată spre dreapta, mai accentuată în cazul EFB, unde acest fapt se corelează cu o dispărare a valorilor pe un interval foarte larg în jurul mediei (fig. 4.12).

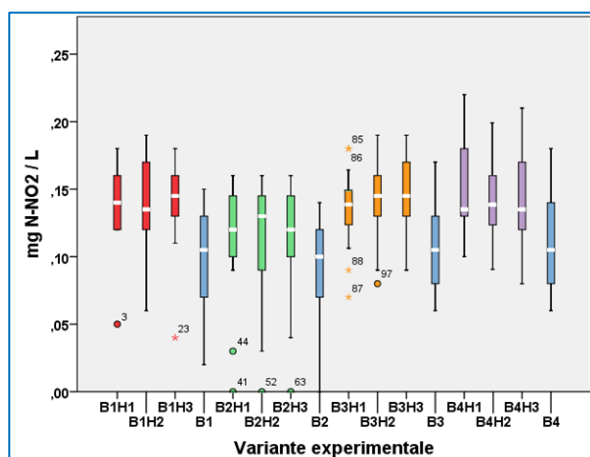


Fig. 4.11. Distribuția valorilor concentrației de N-NO_2 la nivelul modulului acvaponic

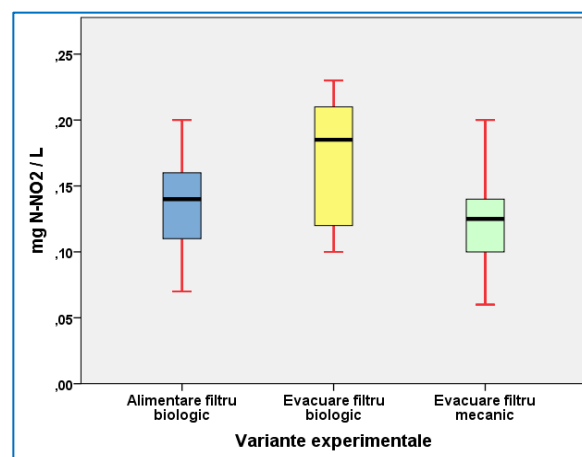


Fig. 4.12. Distribuția valorilor concentrației de N-NO_2 la nivelul unităților de filtrare

Lennard și Leonard (2006), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii) raportează concentrații de N-NO_2 nedetectabile [125]. Graber și Junge (2009) folosește combinațiile de specii pești – plante precum tilapia-vinete; roșii și castraveți – biban, consemnând concentrații de nitriți cuprinse între 0,08 – 0,57 mg/L, respectiv 0,01 – 0,18mg/L [76].

Concentrația de nitrați (N-NO_3) la nivelul unităților acvaponice a înregistrat fluctuații mari în primele trei săptămâni ale perioadei experimentale, urmate de o evoluție constantă până la final (fig. 4.13). În ceea ce privește dinamica concentrației de nitriți înregistrată la nivelul unității de filtrare biologică, se disting valori extreme în prima jumătate a perioadei experimentale, aceasta urmând o evoluție ușor ascendentă spre final (fig. 4.14). În cadrul variantelor experimentale, se distinge o evoluție similară, cu excepția perioadei celei de-a patra săptămâni experimentale, când evoluții ușor mai constante se înregistrează în cazul B2H și B3H (fig. A.14 și fig. A. 15 – anexe, secțiunea 1), comparativ cu B1H și B4H-martor (fig. A.13 și fig. A. 16 – anexe, secțiunea 1).

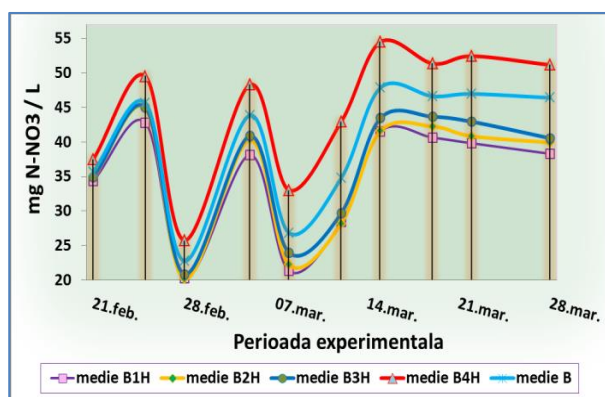


Fig. 4.13. Evoluția concentrației de N-NO_3 la nivelul unităților acvaponice

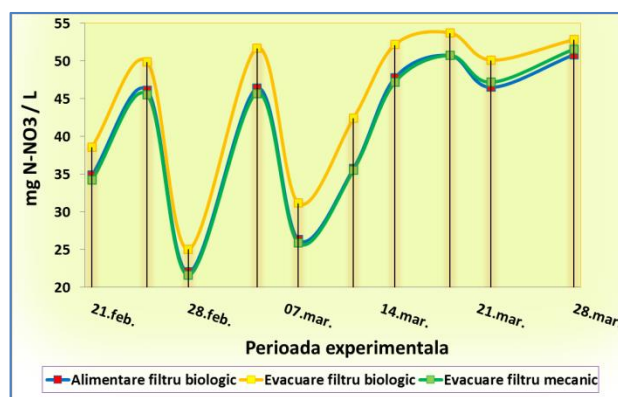


Fig. 4.14. Evoluția concentrației de N-NO_3 la nivelul unităților de filtrare

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de nitrați de $39,74 \pm 9,19 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $34,54 \pm 8,34 \text{ mg/L}$ – B1H; $35,5 \pm 8,86 \text{ mg/L}$ – B2H; $36,58 \pm 8,8 \text{ mg/L}$ – B3H și $44,64 \pm 9,6 \text{ mg/L}$ – B4H (martor) [304].

Valoarea medie a concentrației de nitrați în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $40,52 \pm 10,55 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $40,74 \pm 10,34 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $44,78 \pm 10,11 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB) [304].

Diferențe statistic semnificative ($p < 0,05$) se înregistrează între variantele experimentale și de asemenea, la nivelul unității biologice de filtrare. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: B1H+B2H; B3H; B4H+EFB; B+EFM+AFB.

Concentrațiile de nitrați mai ridicate, înregistrate la nivelul punctului de prelevare situat la evacuare variantei martor (B4H), comparativ cu cele obținute în punctul de prelevare de la alimentarea acesteia (B), confirmă existența proceselor de oxidare la nivelul substratului de creștere LECA. De asemenea, valorile mai mici consemnate la evacuarea primelor trei variante experimentale (B1H, B2H și B3H), comparativ cu varianta martor (B4H), sunt rezultatul capacității de fitoremediere a biomasei de spanac.

Lennard și Leonard (2006, 2004), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii) raportează o concentrație medie de N-NO_3 de $11,8 \text{ mg/L}$, respectiv $4,63 \text{ mg/L}$ [125, 126].

Evoluții constante ale concentrației de nitrați sunt raportate în alte studii ce folosesc perlitul și hidrotonul drept substraturi de creștere pentru biomasa vegetală produsă în condiții acvaponice [226, 306]

Este necesar a fi precizat faptul că în cazul valorilor concentrației de nitrați consemnată la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție înclinată spre dreapta, cu valori extreme în partea stângă (fig. 4.15), fapt valabil și în cazul EFM, EFB și AFB (fig. 4.16).

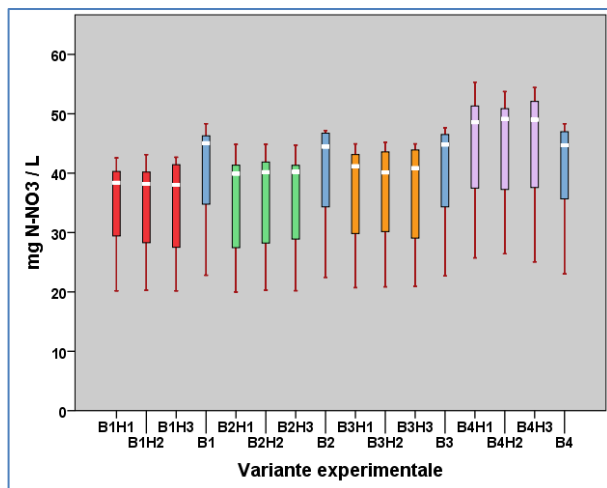


Fig. 4.15. Distribuția valorilor concentrației de N-NO_3 la nivelul modulului acvaponic

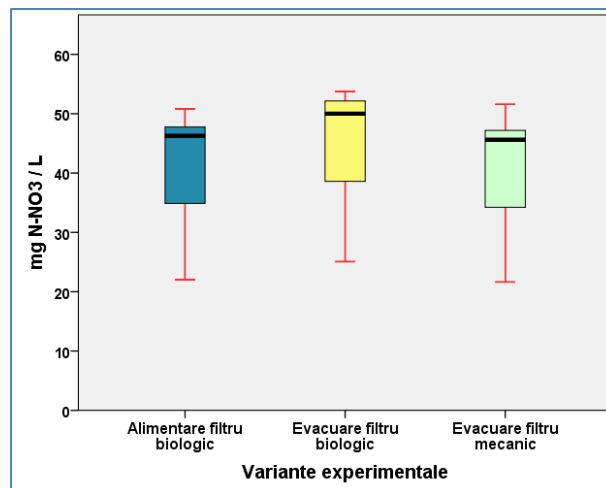


Fig. 4.16. Distribuția valorilor concentrației de N-NO_3 la nivelul unităților de filtrare

Evoluția concentrației de fosfor, cuantificată drept P_2O_5 , a înregistrat o tendință puternic descendentă la începutul perioadei experimentale, consemnând un punct extrem de minim la sfârșitul celei de-a doua săptămâni (fig. 4.17 și fig. 4.18). Nu se disting diferențe evidente în ceea ce privește dinamica concentrației de P_2O_5 de la nivelul unităților acvaponice, comparativ cu cea înregistrată la nivelul unităților de filtrare (fig. 4.17 și fig. 4.18).

Evoluția descendentă consemnată la începutul perioadei experimentale (fig. 4.17) este justificată printr-un grad de adaptabilitate bun al răsadurilor transplantate în cadrul unităților acvaponice, fapt ce determină rate de absorbție ridicate ale fosforului la nivelul biomasei de spanac încă din primele zile de după transplantare.

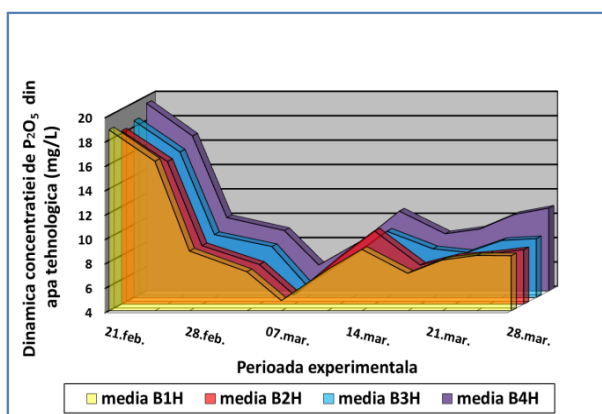


Fig. 4.17. Evoluția concentrației de P_2O_5 la nivelul unităților acvaponice

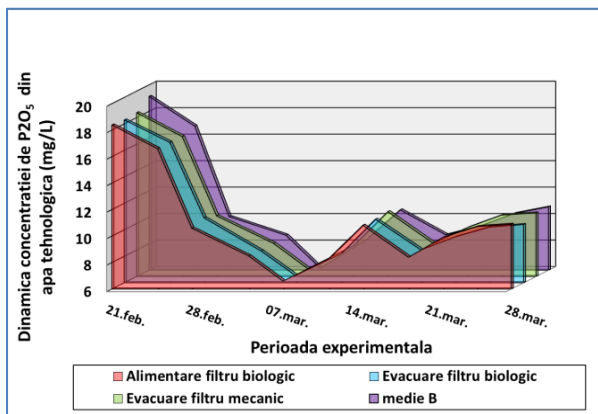


Fig. 4.18. Evoluția concentrației de P_2O_5 la nivelul unităților de filtrare

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de P_2O_5 de $10,8 \pm 3,85 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $9,52 \pm 4,2 \text{ mg/L}$ – B1H; $9,49 \pm 3,95 \text{ mg/L}$ – B2H; $9,72 \pm 3,94 \text{ mg/L}$ – B3H și $10,81 \pm 3,86 \text{ mg/L}$ – B4H (martor). Valoarea medie a concentrației de P_2O_5 în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $10,86 \pm 3,86 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de

prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $10,89 \pm 3,57 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $10,75 \pm 3,58 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB). Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între grupul format din primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor (B4H). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: B1H+B2H+B3H; B4H+B+EFM+AFB+EFB.

Lennard și Leonard (2006), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii) raportează o concentrație medie de PO_4 de $3,42 \text{ mg/L}$ [125]. Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație al concentrației de fosfor din apa tehnologică între $1,7 - 19,73 \text{ mg/L}$, în condiții tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134]. De asemenea, aceștia raportează o evoluție ascendentă a concentrației de fosfor în condițiile folosirii zeolitului drept substrat de creștere în cadrul sistemelor acvaponice [134].

Evoluția concentrației de calciu a înregistrat o tendință puternic descendentă (fig. 4.19), confirmând constatările altor studii de specialitate, legate de caracterul puternic limitativ al calciului la nivelul unui sistem recirculant integrat [87]. Concentrația de calciu tinde să se echilibreze spre sfârșitul perioadei experimentale (fig. 4.19), cel mai probabil datorită reglării în intensitate a proceselor metabolice de la nivelul biomasei de spanac.

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de calciu de $101,92 \pm 11,6 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $100,24 \pm 11,61 \text{ mg/L}$ – B1H; $100,69 \pm 13,06 \text{ mg/L}$ – B2H; $102,18 \pm 13,32 \text{ mg/L}$ – B3H și $101,92 \pm 11,59 \text{ mg/L}$ – B4H (martor). Valoarea medie a concentrației de calciu în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $102,52 \pm 12,97 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $102,5 \pm 12,87 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $102,44 \pm 12,89 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB).

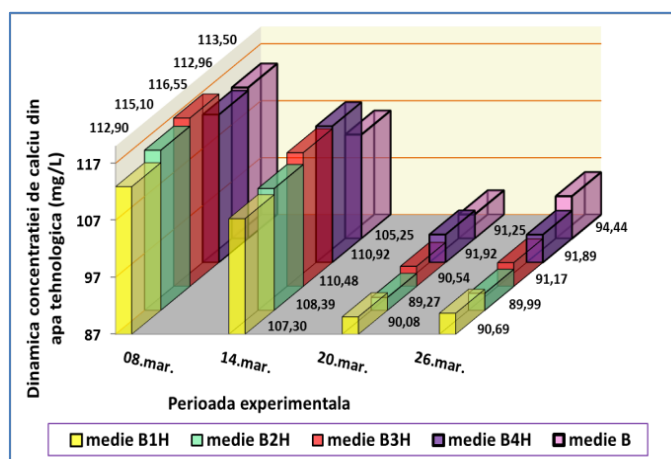


Fig. 4.19. Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice

Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație al concentrației de calciu din apa tehnologică între $13,57 - 44 \text{ mg/L}$, în condițiile tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134]. De asemenea, aceștia raportează valori extreme minime la începutul perioadei experimentale, în timp ce valorile maxime se consemnează la mijlocul perioadei experimentale [134]. Evoluția concentrației de calciu din finalul perioadei experimentale este similară cu cea din prezentul studiu, confirmând tendința de echilibrare a ratei de absorbție a biomasei vegetale, odată cu creșterea și dezvoltarea acesteia [134].

Evoluția concentrației de magneziu a avut o tendință descendentă, manifestată în special în ultimele două săptămâni ale perioadei experimentale (fig. 4.20). O acumulare semnificativă a concentrației de magneziu din apa tehnologică a sistemului recirculant integrat a

avut loc în perioada de mijloc a experimentului (fig. 4.20). Evoluția descendentă de la începutul perioadei experimentale a concentrației de magneziu din apa tehnologică (fig. 4.20) indică un grad rapid de acomodare a răsadurilor de spanac la noile condiții acvaponice de creștere.

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de magneziu de $31,19 \pm 1,67 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $30,97 \pm 2,25 \text{ mg/L}$ – B1H; $30,17 \pm 2,24 \text{ mg/L}$ – B2H; $30,57 \pm 1,79 \text{ mg/L}$ – B3H și $31,25 \pm 1,5 \text{ mg/L}$ – B4H (martor). Valoarea medie a concentrației de magneziu în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $30,33 \pm 0,94 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $30,29 \pm 0,99 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $30,19 \pm 1,02 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB).

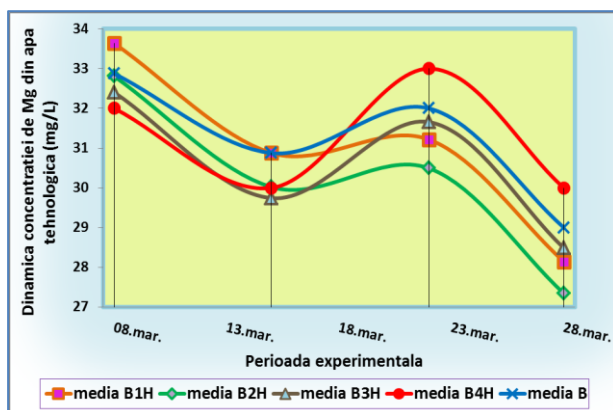


Fig. 4.20. Evoluția concentrației de magneziu la nivelul unităților acvaponice

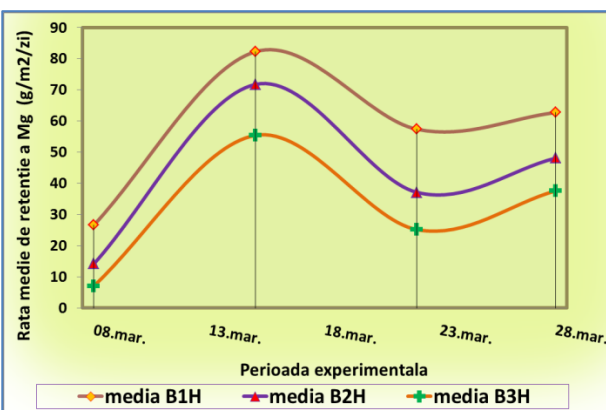


Fig. 4.21. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice

În ceea ce privește **evoluția ratei de retenție a magneziului**, aceasta confirmă dinamica concentrației de magneziu expusă anterior. Astfel, o tendință ascendentă a ratei de retenție a magneziului se înregistrează în prima parte a perioadei experimentale, urmată de o evoluție relativ constantă a acesteia, până la finalul experimentului (fig. 4.21). Un grad de similitudine ridicat în ceea ce privește dinamica ratei de retenție la nivelul triplicatului, se poate constata în cazul B2H (fig. A.38 - anexe, secțiunea 1). În cazul variantei B1H, se poate observa o oarecare tendință de evoluție constantă (fig. A.37 - anexe, secțiunea 1), comparativ cu B2H și B3H (fig. A.38 și fig. A.39 - anexe, secțiunea 1).

Valorile medii ale ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $57,22 \pm 23,04 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B1H; $42,76 \pm 23,93 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B2H; $31,29 \pm 20,36 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B3H, în timp ce în cazul variantei martor - B4H s-au obținut valori nule. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între cele patru variante experimentale. Testul *post-hoc Duncan și Tukey's-B* împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: B1H; B2H; B3H; B4H - martor.

Valorile nule ale ratei de retenție, consemnate la nivelul variantei experimentale BH4 – martor, confirmă faptul că diferențele în concentrația de magneziu dintre alimentarea și evacuarea unităților acvaponice cu plante (B1H, B2H, B3H) sunt rezultatul exclusiv al absorbției macroelementului de către biomasa de spanac și nu al interferenței magneziului cu alt element aflat la nivelul substratului LECA sau a precipitării acestuia.

Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație al concentrației de magneziu din apa tehnologică între 0,6 – 5,37 mg/L, în condiții tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134]. De asemenea, în cadrul aceluiași studiu, se consemnează o tendință ascendentă a concentrației de magneziu, de-a lungul perioadei experimentale, fapt justificat de către autori prin folosirea zeolitelui drept substrat acvaponic de creștere [134].

Evoluția concentrației de potasiu a avut o tendință ascendentă în prima jumătate a perioadei experimentale (fig. 4.22), fapt ce se datorează unei scăderi a ratei de retenție

manifestată la nivelul biomasei de spanac (fig. 4.23). Astfel, se constată o rată de absorbție ascendentă a potasiului pe măsura creșterii plantelor (fig. 4.3), fapt ce denotă o adaptabilitate buna a spanacului la condițiile mediale existente.

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de potasiu de $21,96 \pm 5,4 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $22,14 \pm 5,82 \text{ mg/L}$ – B1H; $21,37 \pm 5,61 \text{ mg/L}$ – B2H; $21,59 \pm 5,95 \text{ mg/L}$ – B3H și $21,45 \pm 5,09 \text{ mg/L}$ – B4H (martor).

Valoarea medie a concentrației de potasiu în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $28,05 \pm 5,01 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $27,99 \pm 5,04 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $27,97 \pm 5,03 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB).

Valorile obținute în cadrul triplicatelor sunt prezentate în tabelul A.1 - anexe, secțiunea 1. Din analiza evoluției **ratei de retenție a potasiului** (fig. 4.23), se concluzionează o capacitate maximă de absorbție a biomasei vegetale, manifestată la nivelul B1H, în ultima săptămână a perioadei experimentale.

Valorile medii ale ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $71,48 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B1H; $54,28 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B2H; $45,18 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B3H și $0,33 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B4H (martor).

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între cele patru variante experimentale. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: B1H; B2H; B3H; B4H - martor.

Concentrațiile de potasiu din actualul studiu experimental au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii [78, 149, 219], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.1, paragraf „evoluția concentrației de potasiu”).

De asemenea, Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație al concentrației de potasiu din apa tehnologică între $4 - 12,33 \text{ mg/L}$, în condiții tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134].

4.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului

La nivelul unui sistem recirculant integrat este esențială menținerea unor concentrații optime de micronutrienți, fapt ce asigură o calitate corespunzătoare a biomasei vegetale obținute, în vederea comercializării acesteia pentru consumul uman.

Fierul este microelementul ce posedă caracterul cel mai limitativ la nivelul unui sistem acvaponic, fapt menționat și de alte studii de specialitate menționate în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2. Astfel, de-a lungul perioadei experimentale s-au adăugat 112 g fier chelat ($16 \text{ g} \times 7$ etape). Adaosul a avut loc în cadrul unității de decantare, la următoarele date

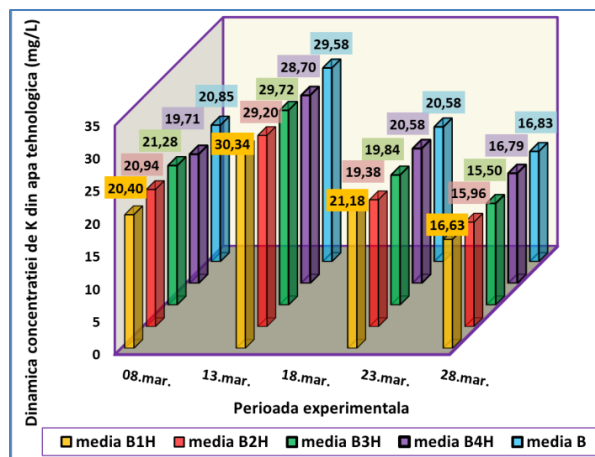


Fig. 4.22. Evoluția concentrației de potasiu la nivelul unităților acvaponice

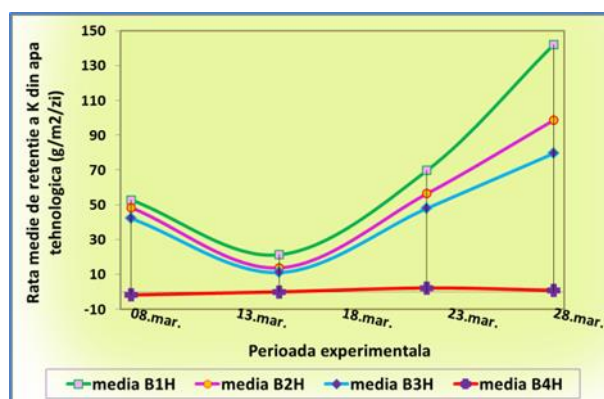


Fig. 4.23. Evoluția ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice

calendaristice: 28 februarie; 05 martie; 08 martie; 09 martie; 15 martie; 17 martie și 22 martie. Valorile medii ale pH-ului (fig. 4.3) au fost peste limita minimă de 7upH, necesară pentru asigurarea compusului de fier chelat adăugat.

Ca atare, **evoluția concentrației de fier** de-a lungul perioadei experimentale a consemnat o tendință relativ ascendentă, în mare măsură generată de programul calendaristic de adăugare a fierului chelat descris anterior (fig. 4.24). În ceea ce privește **evoluția ratei de retenție a fierului**, aceasta poate fi destul de sugestivă în evaluarea absorbției acestui microelement de-a lungul perioadei experimentale. Astfel, se observă o evoluție fluctuantă a ratei de retenție, cu extreme maxime consemnate la mijlocul perioadei experimentale (fig. 4.25).

În cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale se constată o evoluție diferită în cadrul celor trei variante experimentale, cu plante (B1H, B2H și B3H). În cazul B1H și B3H, în perioada menționată anterior, se poate remarca o evoluție relativ constantă (fig. A. 29 și fig. A. 31 - anexe, secțiunea 1), comparativ cu dinamica puternic ascendentă de la nivelul B2H (fig. A. 30 – anexe, secțiunea 1). În cazul B4H – martor, rata de retenție a fierului are o valoare neglijabilă, cu maxime înregistrate la mijlocul perioadei experimentale (fig. A. 32 și fig. A.31 - anexe, secțiunea 1).

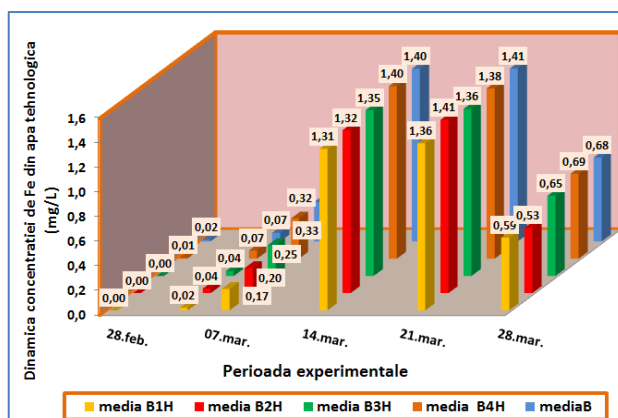


Fig. 4.24. Evoluția concentrației de fier la nivelul unităților acvaponice

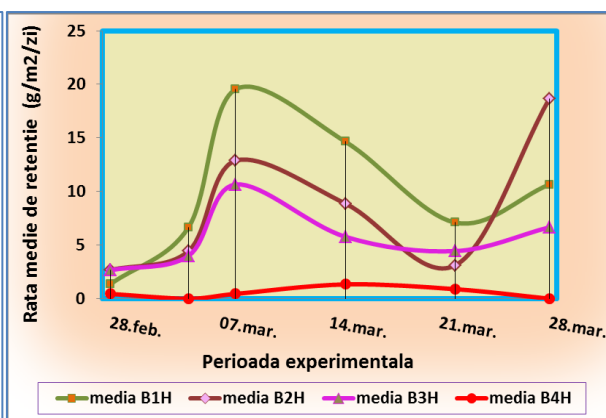


Fig. 4.25. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de fier de 0,65mg/L, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: 0,58mg/L – B1H; 0,58mg/L – B2H; 0,61mg/L – B3H și 0,65mg/L – B4H (martor). Valoarea medie a concentrației de fier în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de 0,65mg/L, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de 0,65mg/L la alimentare (AFB) și 0,63mg/L la evacuare (EFB).

Valorile medii ale ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $9,99 \pm 4,44 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B1H; $8,44 \pm 4,35 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B2H; $5,7 \pm 1,79 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B3H și $0,52 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor – B4H. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între cele patru variante experimentale. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: B1H; B2H; B3H; B4H-martor.

Concentrațiile de fier din actualul studiu experimental au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii [149, 195, 222], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „evoluția concentrației de fier”).

Evoluția concentrației de mangan din apa tehnologică, pe parcursul perioadei experimentale, a consemnat o tendință ascendentă (fig. 4.26), direct proporțională cu densitatea de cultură a spanacului, aplicată în cadrul fiecărei variante experimentale.

Dinamica concentrației de mangan este corelată direct cu evoluția valorilor pH-ului și de asemenea, cu rata de retenție a manganului înregistrată la nivelul fiecărei unități acvaponice din cadrul celor trei variante experimentale, cu plante (B1H, B2H și B3H).

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a concentrației de mangan de $0,53 \pm 0,27 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $0,49 \pm 0,21 \text{ mg/L}$ – B1H; $0,51 \pm 0,2 \text{ mg/L}$ – B2H; $0,51 \pm 0,2 \text{ mg/L}$ – B3H și $0,53 \pm 0,27 \text{ mg/L}$ – B4H (martor).

Valoarea medie a concentrației de mangan în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $0,54 \pm 0,22 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $0,54 \pm 0,23 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $0,52 \pm 0,22 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB).

În ceea ce privește **rata de retenție a manganului** se constată o evoluție descendentă a acesteia, mai accentuată în cazul B1H și B2H, comparativ cu B3H (fig. 4.27).

Dinamica valorică a ratei de retenție în interiorul triplicatului din cadrul fiecărei variante experimentale este relativ asemănătoare, cu excepția variantei martor B4H (fig. A.33, fig. A. 34, fig. A. 35 și fig. A. 36 – anexe, secțiunea 1).

Valorile medii ale ratei de retenție a manganului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $6,55 \pm 3,44 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B1H; $5,61 \pm 3,13 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B2H; $3,81 \pm 2,2 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B3H și $0,09 \pm 0,06 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor – B4H

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între cele patru variante experimentale, exceptând primele două variante (B1H și B2H), între care s-au înregistrat diferențe nesemnificative statistic ($p > 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subșeturi omogene astfel: B1H+B2H; B3H; B4H - martor.

Trebuie remarcat nivelul ridicat al ratei de retenție a manganului din cadrul B3H, înregistrat în cadrul ultimei săptămâni experimentale (fig. 4.27). Astfel, se poate concluziona faptul că în condițiile unei concurențe scăzute la nivelul biomasei vegetale în ceea ce privește absorbția de mangan, spanacul manifestă o rată de acumulare relativ uniformă a acestui micronutrient, pe întreaga durată a perioadei experimentale.

Concentrațiile de mangan din actualul studiu experimental au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii [149, 178, 195], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „concentrația de mangan”. De asemenea, Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație al concentrației de mangan din apa tehnologică între 0,03 – 0,14 mg/L, în condiții tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134].

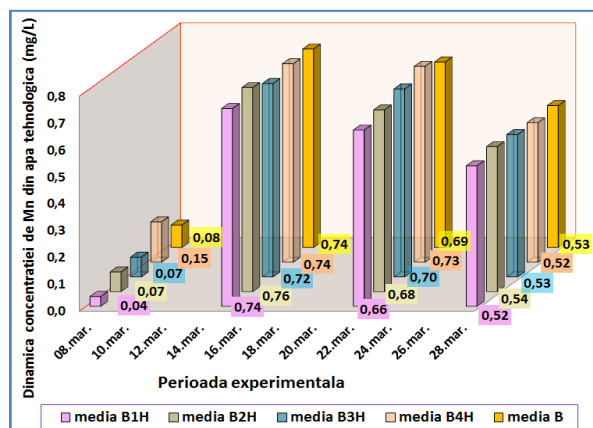


Fig. 4.26. Evoluția concentrației de mangan la nivelul unităților acvaponice

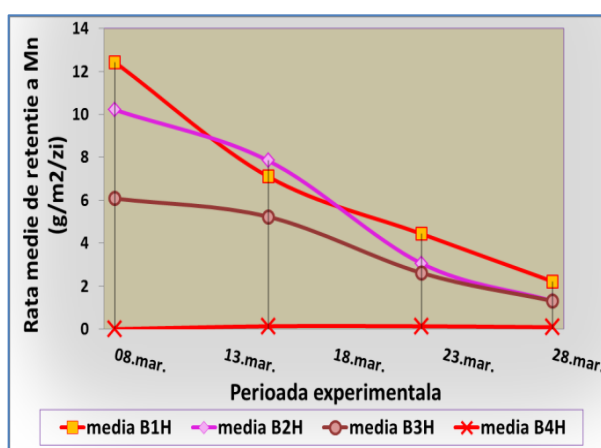


Fig. 4.27. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul unităților acvaponice

Evoluția concentrației de clor în cadrul sistemului recirculant integrat are o tendință relativ ascendentă, fiind influențată în mare măsură de procentul zilnic de schimb al apei tehnologice (până în 10%) (fig. 4.28).

Clorul este esențial în nutriția plantelor și de asemenea, acesta participă la procesele metabolice ale biomasei vegetale [223]. Media concentrației de clor în cadrul sistemului recirculant integrat a fost de $65,48 \pm 2,13 \text{ mg/L}$, fără diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) la nivelul variantelor experimentale.

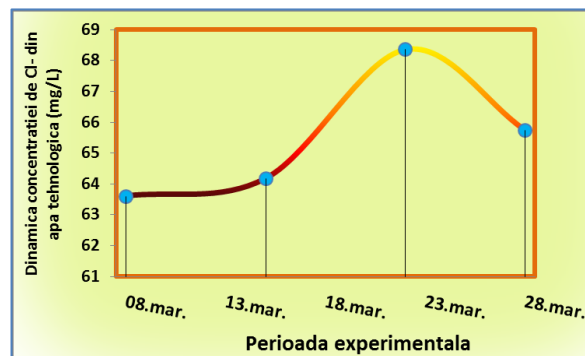


Fig. 4.28. Evoluția concentrației de clor la nivelul sistemului recirculant integrat

Electroconductivitatea (EC) apei tehnologice a consemnat o evoluție ascendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 4.29). La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a EC de $1166,96 \pm 40,32 \mu\text{S/cm}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $1167,11 \pm 35,37 \mu\text{S/cm}$ – B1H; $1139,83 \pm 20,04 \mu\text{S/cm}$ – B2H; $1143,06 \pm 25,31 \mu\text{S/cm}$ – B3H și $1155,22 \pm 36,17 \mu\text{S/cm}$ – B4H (martor).

Valoarea medie a EC în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $1151 \pm 56,57 \mu\text{S/cm}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $1151,17 \pm 59,37 \mu\text{S/cm}$ la alimentare (AFB) și $1149,31 \pm 58,38 \mu\text{S/cm}$ la evacuare (EFB). Diferențe consemnate au fost nesemnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$).

Lennard și Leonard (2004), raportează o creștere a EC direct proporțională cu creșterea absorbției de nutrienți a biomasei vegetale [126].

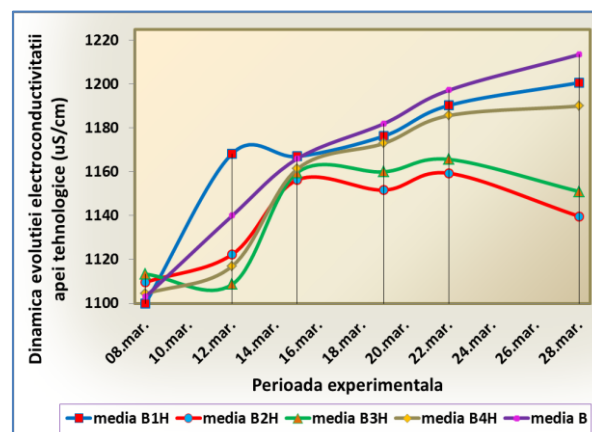


Fig. 4.29. Evoluția electroconductivității (EC) la nivelul unităților acvaponice

Lennard și Leonard (2006) consemnează un ecart de variație a EC cuprins între 189,7 - 360 $\mu\text{S/cm}$, în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii) [125]. Rafiee și Saad (2006) consemnează un ecart de variație al EC din apa tehnologică între 0,16 – 0,46 dS/m, în condiții tehnologice descrise mai sus (paragraf evoluție pH) [134]. De asemenea, valorile consemnate în cadrul prezentului experiment au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii experimentale [76, 130, 195], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „electroconductivitatea (EC)”.

Duritatea totală a apei consemnează o evoluție puternic descendentă (fig.4.30), asemănătoare în cazul celor trei variante experimentale, cu plante (B1H. B2H și B3H). La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a durității de $23,71 \pm 2,38^\circ\text{dH}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $23,36 \pm 2,37^\circ\text{dH}$ – B1H; $23,38 \pm 2,57^\circ\text{dH}$ – B2H; $23,65 \pm 2,43^\circ\text{dH}$ – B3H și $23,72 \pm 2,03^\circ\text{dH}$ – B4H (martor). Valoarea medie a durității în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $23,65 \pm 2,44^\circ\text{dH}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $23,64 \pm 2,43^\circ\text{dH}$ la

alimentare (AFB) și $23,61 \pm 2,43^\circ\text{dH}$ la evacuare (EFB). Diferențele consemnate au fost nesemnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$).

Valorile durtății sunt asemănătoare celor raportate în cadrul altor studii asemănătoare, descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „durtatea totală a apei” [149].

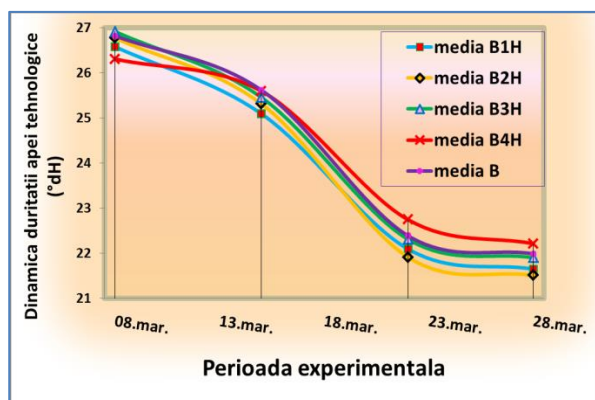


Fig. 4.30. Evoluția durtății totale la nivelul unităților acvaponice

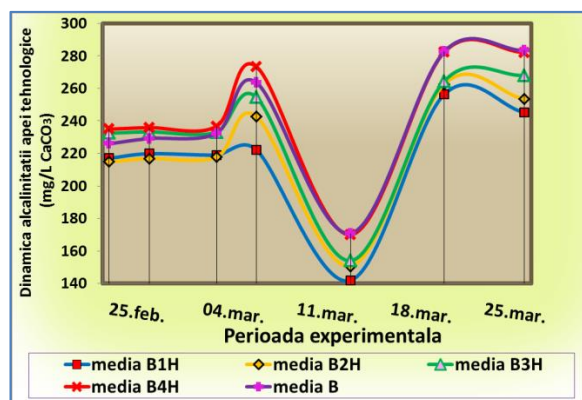


Fig. 4.31. Evoluția alcalinității la nivelul unităților acvaponice

Alcalinitatea apei tehnologice a înregistrat o evoluție fluctuantă pe parcursul perioadei experimentale, consemnând o valoare extremă minimă în mijlocul perioadei experimentale, urmată de o creștere în ritm foarte accentuat, până la finalul perioadei experimentale (fig. 4.31). În cadrul sistemelor acvaponice, valoarea alcalinității reprezintă un indicator important în studiul predictiv al stabilității pH-ului.

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a alcalinității de $241,09 \pm 39,55 \text{ mg/L CaCO}_3$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $217,32 \pm 36,54 \text{ mg/L CaCO}_3$ – B1H; $222,64 \pm 37,03 \text{ mg/L CaCO}_3$ – B2H; $234,23 \pm 38,51 \text{ mg/L CaCO}_3$ – B3H și $244,99 \pm 39,69 \text{ mg/L CaCO}_3$ – B4H (martor). Valoarea medie a alcalinității în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $241,09 \pm 39,55 \text{ mg/L CaCO}_3$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $240,89 \pm 39,56 \text{ mg/L CaCO}_3$ la alimentare (AFB) și $240,75 \pm 39,59 \text{ mg/L CaCO}_3$ la evacuare (EFB). Diferențe consemnate între primele două variante experimentale (B1H, B2H) și varianta martor-B4H sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H+B2H; B3H; B4H+B+EFM+AFB+EFB.

Valorile alcalinității sunt asemănătoare celor raportate în cadrul altor studii asemănătoare, descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „alcalinitatea apei tehnologice” [149, 226].

Evoluția consumului chimic de oxigen (COD) înregistrează o tendință puternic ascendentă după primele trei săptămâni experimentale (fig. 4.32). Substratul de cultură LECA funcționează ca un mediu filtrator la nivelul unității acvaponice. Astfel, acesta înlătură o parte din solidele grosiere prezente în masa apei tehnologice, generând o acumulare de substanță organică în cantități însemnate la nivelul unităților acvaponice, în special spre finalul perioadei experimentale (fig. 4.32).

O parte din substanța organică de la nivelul substratului LECA are tendința de a se decanta la baza acestuia odată cu trecerea timpului, intensitatea acestui proces fiind influențată în mare măsură de densitatea și gradul de dezvoltare a suprafeței radiculare și de asemenea, de regimul de submersie folosit. Rata hidraulică de încărcare și timpul hidraulic de retenție sunt indicatori frecvent utilizați în vederea eficiențării procesului de filtrare fizică a apei tehnologice la nivelul unităților acvaponice, în condițiile folosirii tehnicii acvaponice de cultură în substrat.

Necesitatea monitorizării concentrației de COD la nivelul unui sistem acvaponic este expusă în detaliu în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „evoluția consumului chimic de oxigen (COD)”.

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a COD de $43 \pm 15,75 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $40,03 \pm 16,27 \text{ mg/L}$ – B1H; $40,39 \pm 15,87 \text{ mg/L}$ – B2H; $41,13 \pm 15,45 \text{ mg/L}$ – B3H și $43 \pm 15,75 \text{ mg/L}$ – B4H (martor). Valoarea medie a COD în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $42,72 \pm 11,73 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $42,15 \pm 13 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $40,8 \pm 14,32 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB). Diferențe consemnate între grupul format din primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor-B4H sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: B1H+B2H+B3H+EFB; B4H+B+EFM+AFB.

Valorile obținute pentru COD sunt asemănătoare celor raportate în cadrul altor studii asemănătoare, descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „evoluția consumului chimic de oxigen (COD)” [69]. Valori superioare ale COD (peste 390 mg/L) au fost raportate în cadrul studiilor ce au examinat capacitatea de fito-remediere a cerealelor [156].

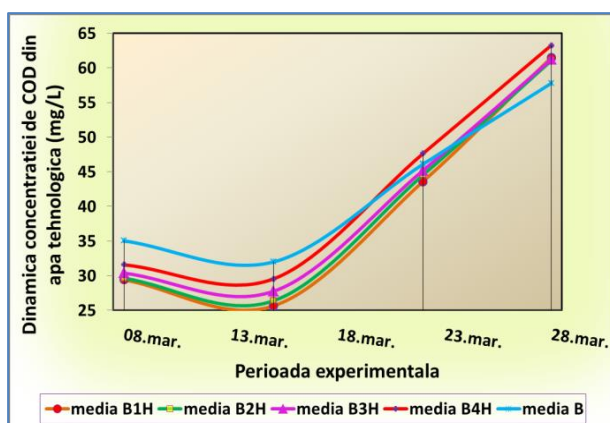


Fig. 4.32. Evoluția concentrației de COD la nivelul unităților acvaponice

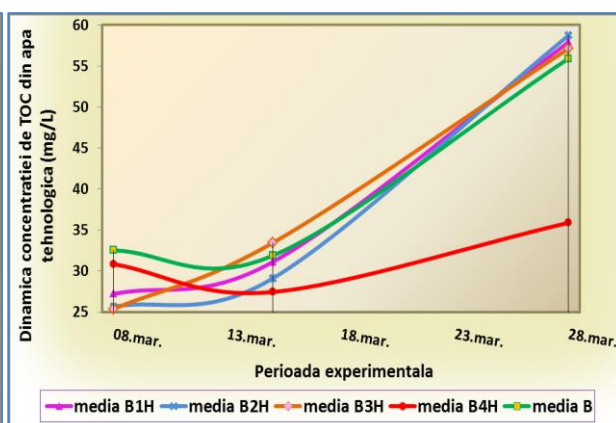


Fig. 4.33. Evoluția concentrației de TOC la nivelul unităților acvaponice

Evoluția concentrației de TOC (carbon organic total) consemnează o tendință ascendentă, mai accentuată în cazul primelor trei variante experimentale, cu plante (B1H, B2H, B3H), comparativ cu varianta martor – B4H (fig. 4.33). Necesitatea monitorizării concentrației de TOC la nivelul unui sistem acvaponic este expusă în detaliu în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraful „evoluția concentrației de TOC”. Evoluția TOC din cadrul B4H (fig. 4.33) este în mare măsură generată de absența biomasei vegetale și ca atare, a suprafețelor radiculare. În cazul primelor trei variante experimentale, dezvoltarea radiculară la nivelul substratului de creștere LECA micșorează suprafețele libere existente între bilele de hidroton, fapt ce determină o creștere a eficienței de îndepărtare a solidelor la nivelul unităților acvaponice respective. Acest proces generează creșterea gradului de acumulare a substanței organice la nivelul substratului de creștere, justificând astfel evoluția TOC prezentată în cadrul fig. 4.33.

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a TOC de $40,13 \pm 13,72 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $38,76 \pm 16,69 \text{ mg/L}$ – B1H; $37,84 \pm 18,17 \text{ mg/L}$ – B2H; $38,67 \pm 16,49 \text{ mg/L}$ – B3H și $31,41 \pm 4,24 \text{ mg/L}$ – B4H (martor). Valoarea medie a TOC în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $39,54 \pm 14,2 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru punctele de prelevare

de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $40,46 \pm 15,48 \text{ mg/L}$ la alimentare (AFB) și $40,67 \pm 16,58 \text{ mg/L}$ la evacuare (EFB). Diferențe consemnate între grupul format din primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor-B4H sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Testul *post-hoc Duncan și Tukey's-B* împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H+B2H+B3H; B4H; B+EFM+AFB+EFB.

În cadrul literaturii de specialitate sunt raportate valori ale concentrației TOC mai mari de 3 mmol/L , direct proporționale cu gradul de creștere și dezvoltare a biomasei vegetale [227, 228].

Necesarul biochimic de oxigen (BOD5) a consemnat o evoluție puternic ascendentă, favorizată în mare măsură de creșterea gradului de acumulare a substanței organice la nivelul unităților acvaponice (fig. 4.34)

În prima jumătate a perioadei experimentale, funcționalitatea unităților acvaponice în ceea ce privește filtrarea fizică a apei tehnologice este exemplificată prin valorile scăzute ale BOD5 consemnate la punctele de prelevare aflate la evacuarea modulului acvaponic, comparativ cu cele obținute în punctul de prelevare situat la alimentarea modulului (fig. 4.34).

Acestă situație este radical schimbată la sfârșitul perioadei experimentale, când se consemnează concentrații de BOD5 superioare pentru apa tehnologică evacuată din unitățile acvaponice, comparativ cu cea folosită în alimentarea acestora (fig.4.34), fapt cauzat în mare măsură de creșterea gradului de acumulare a substanței organice la nivelul substratului LECA. La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare procentuală medie a BOD5 de $67,91 \pm 13,55\%$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $66,95 \pm 25,58\%$ – B1H; $66,4 \pm 23,09\%$ – B2H; $67,03 \pm 20,49\%$ – B3H și $69,34 \pm 15,25\%$ – B4H (martor).

Valoarea procentuală medie a BOD5 în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $66,26 \pm 14,49\%$, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $64,56 \pm 14,54\%$ la alimentare (AFB) și $64,09 \pm 15,7\%$ la evacuare (EFB).

Diferențe consemnate între grupul format din primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor-B4H sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Testul *post-hoc Duncan și Tukey's-B* împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H+B2H+B3H+B+EFM; B4H; AFB+EFB.

Valorile procentuale obținute pentru BOD5 sunt superioare celor raportate în cadrul altor studii asemănătoare ($47,3 - 65,5\%$), descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „necesarul biochimic de oxigen (BOD5)” [133].

Totalul solidelor în suspensie (TSS) a înregistrat o evoluție ascendentă de-a lungul perioadei experimentale, în mare parte datorită acumulării de substanță organică la nivelul substratului de creștere LECA (fig. 4.35). La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a TSS de $31,83 \pm 10,61 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $26,33 \pm 12,72 \text{ mg/L}$ – B1H; $28,92 \pm 9,86 \text{ mg/L}$ – B2H; $34,33 \pm 7,15 \text{ mg/L}$ – B3H și $37,75 \pm 12,7 \text{ mg/L}$ – B4H (martor). Diferențele consemnate între cele

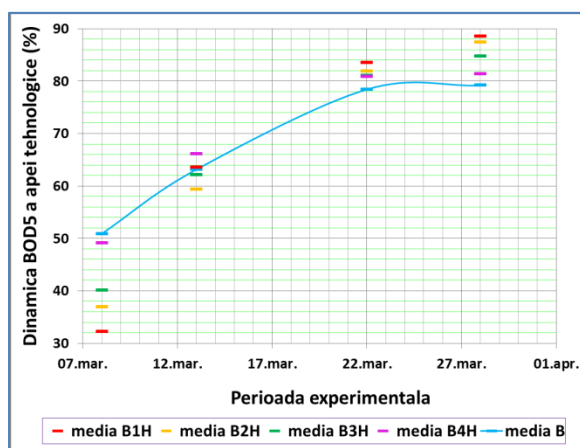


Fig. 4.34. Evoluția BOD5 la nivelul unităților acvaponice

patru variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Se observă o relație indirect proporțională între concentrația de TSS și densitatea de cultivare a biomasei vegetale. Ca atare, aplicarea unei densități mari de cultură a biomasei vegetale implică un grad ridicat de filtrare la nivelul unității acvaponice, fapt redat detaliat în cadrul paragrafului ce tratează evoluția concentrației de COD.

Valorile concentrației de TSS, consemnate în cazul prezentului experiment, sunt mai scăzute comparativ cu cele raportate în cadrul diverselor studii de specialitate, descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraf „totalul solidelor în suspensie (TSS)” [169].

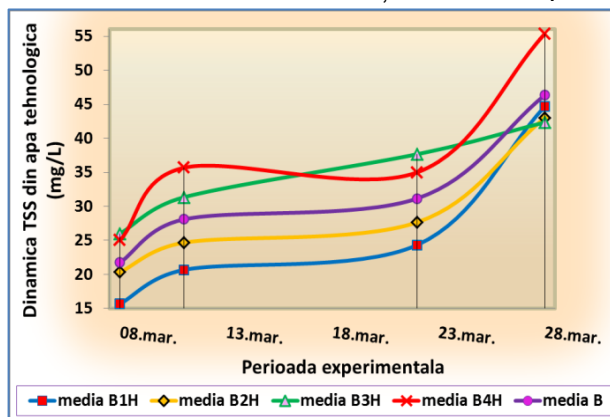


Fig. 4.35. Evoluția concentrației de TSS la nivelul unităților acvaponice

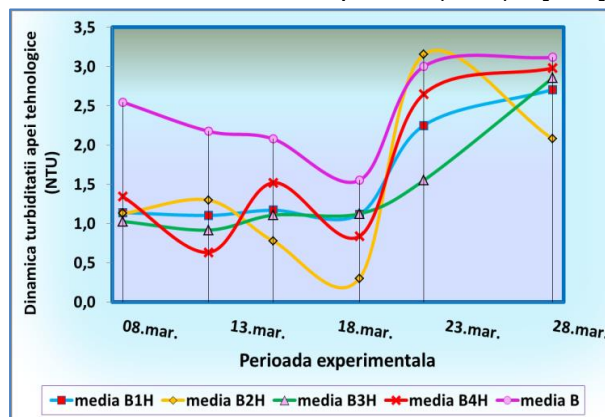


Fig. 4.36. Evoluția turbidității la nivelul unităților acvaponice

Turbiditatea apei tehnologice a consemnat o evoluție fluctuantă, relativ ascendentă în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale (fig. 4.36). Cel mai probabil, acest lucru este influențat atât de substanța organică prezentă la nivelul substratului de creștere, cât și de erodarea hidrotonului sub acțiunea vitezei de curgere a apei.

Hidrotonul este un compus de culoare maronie, obținut din tratarea termică a argilei la temperaturi foarte ridicate. Acesta nu posedă un coeficient de duritate ridicat, fiind ușor de erodat, proces în urma căruia apa evacuată de la nivelul unităților acvaponice capătă o tentă de culoare ușor maronie.

La alimentarea unităților acvaponice (B) se înregistrează o valoare medie a turbidității de $2,41 \pm 0,7$ NTU, în timp ce la evacuarea acestora sunt consemnate următoarele valori: $1,58 \pm 0,71$ NTU – B1H; $1,46 \pm 1,02$ NTU – B2H; $1,43 \pm 0,73$ NTU – B3H și $1,66 \pm 0,95$ NTU – B4H (martor).

Valoarea medie a turbidității în punctul de prelevare situat la evacuare unității de îndepărtare a solidelor (EFM) este de $2,57 \pm 0,81$ NTU, în timp ce pentru punctele de prelevare de la nivelul unității de filtrare biologică se înregistrează valorile medii de $2,61 \pm 0,88$ NTU la alimentare (AFB) și $2,53 \pm 0,92$ NTU la evacuare (EFB).

Diferențe consemnate la nivelul punctelor de prelevare situate la evacuarea variantelor experimentale nu sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$). Astfel, putem concluziona faptul că prezența biomasei vegetale nu a influențat semnificativ valoarea turbidității apei.

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) au fost însă înregistrate între valorile turbidității consemnate la evacuarea unităților acvaponice și cele înregistrate la alimentarea acestora.

Testul *post-hoc Duncan și Tukey's-B* împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: B1H+B2H+B3H+B4H și B+EFM+AFB+EFB. Valorile consemnate evidențiază capacitatea de filtrare fizică a substratului LECA.

4.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului

Luând în considerare cele relatate în cadrul paragraful introductiv al CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.3, se constată importanța determinării bilanțului celor trei macroelemente esențiale (azot, fosfor și calciu) în cadrul sistemelor recirculante integrate, fapt ce contribuie la realizarea unei caracterizări juste a performanței de fito și bioremediere a sistemelor în cauză.

Bilanțul azotului

Studiile de specialitate au confirmat rolul central al ciclului azotului în proiectarea și dimensionarea unui sistem recirculant integrat. Astfel, indicatori precum rata de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) sau a nitraților impune evaluarea pe toată durata unui ciclu de producție, în vederea optimizării parametrilor tehnici și tehnologici.

În cadrul prezentului experiment, **rata de îndepărtare a TAN** înregistrează o dinamică puternic fluctuantă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 4.37).

Astfel, în cazul B1H se observă o evoluție descendentă spre sfârșitul perioadei experimentale, comparativ cu B2H și B3H unde tendința este vizibil ascendentă în cadrul aceleiași perioade (fig.4.37). O rată de îndepărtare a TAN relativ constantă se observă în cazul variantei martor – B4H, unde valori extreme maxime se obțin la mijlocul perioadei experimentale (fig. 4.37).

Dinamica valorică a ratei de îndepărtare a TAN-ului în interiorul triplicatului din cadrul fiecărei variante experimentale este relativ asemănătoare (fig. A.1, fig. A. 2, fig. A. 3 și fig. A. 4 – anexe, secțiunea 1.).

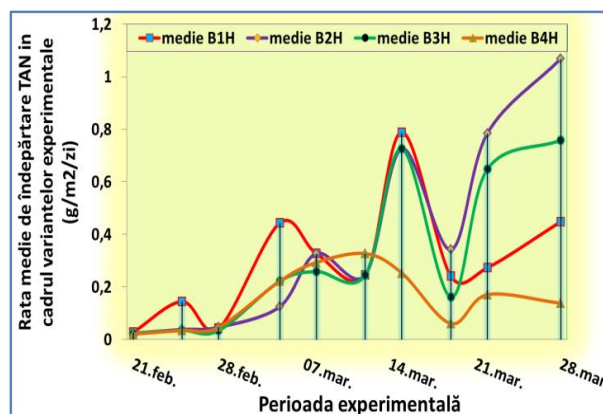


Fig. 4.37. Evoluția ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul unităților acvaponice

Evoluția descrisă mai sus poate fi argumentată atât prin intensitatea proceselor de oxidare de la nivelul unităților acvaponice, cât și prin cerințele nutriționale ale spanacului de-a lungul perioadei de creștere și dezvoltare. Astfel, putem remarca o scădere în intensitate a proceselor de oxidare de la nivelul hidrotonului, colaborată cu o creștere a absorbției de azot, fapt ce se manifestă cu precădere în ultima săptămână a perioadei experimentale.

De asemenea, evoluția diferită din cadrul acestei perioade, observată la nivelul B1H comparativ cu B2H și B3H, poate fi cauzată de cumulumul de substanță organică. Din constatările anterioare (evoluția COD, TOC, TSS din secțiunea 4.3.2. a prezentului capitol) s-a observat o acumulare considerabilă de substanță organică la nivelul B1H, fapt ce a facilitat apariția comunităților de bacterii heterotrofe și a inhibat într-o oarecare măsură absorbția de azot a spanacului.

Valorile medii ale ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: 0,3g/m²/zi – B1H; 0,37g/m²/zi – B2H; 0,31g/m²/zi – B3H și 0,16g/m²/zi în cazul variantei martor B4H.

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor – B4H și de asemenea, între grupul format din B1H și B3H și varianta B2H.

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H+B3H; B2H; B4H.

În ceea ce privește valorile ratei de îndepărtare a TAN-ului înregistrate la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție relativ uniformă în cazul B1H și B2H, în timp ce la B2H și B3H distribuția este înclinată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă și grad foarte mare de disipare a valorilor în jurul mediei (fig. 4.38).

Valorile ratei de îndepărtare a TAN-ului, consemnate în cazul prezentului experiment, sunt superioare celor raportate în cadrul diverselor studii de specialitate, descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.3, paragraf „rata de îndepărtare a TAN” [58, 211, 216]. De asemenea, Tyson și colab. (2007) menționează interdependența directă dintre valoarea pH-ului și intensitatea proceselor de oxidare din cadrul perlitolui, folosit drept substrat de cultură în cadrul sistemelor integrate [226]. Aceștia raportează rate de oxidare cuprinse între 231 – 300 $\mu\text{g/l/zi}$ la un pH de 6,5, în timp ce la un pH de 8,5, ecartul ratelor de oxidare este 400 – 540 $\mu\text{g/l/zi}$ [226].

Rata de îndepărtare a nitraților înregistrează o evoluție ascendentă în cadrul primelor variante experimentale, cu plante (B1H, B2H, B3H), în timp ce în cazul variantei martor – B4H acesta înregistrează valori negative ca urmare a procesului de oxidare a amoniacului, prezent la nivelul substratului de creștere LECA (fig. 4.39).

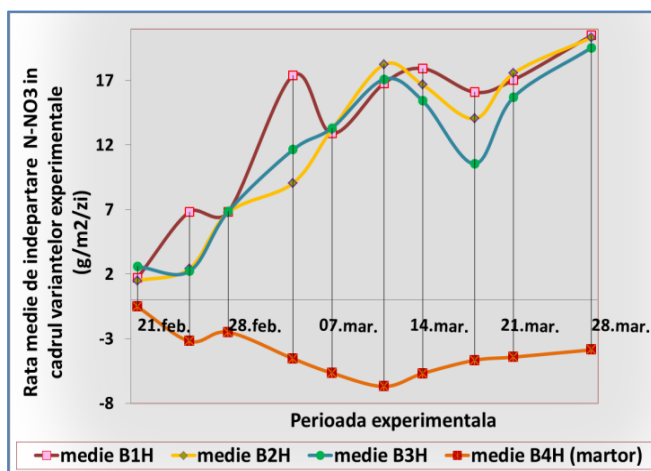


Fig. 4.39. Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul unităților acvaponice

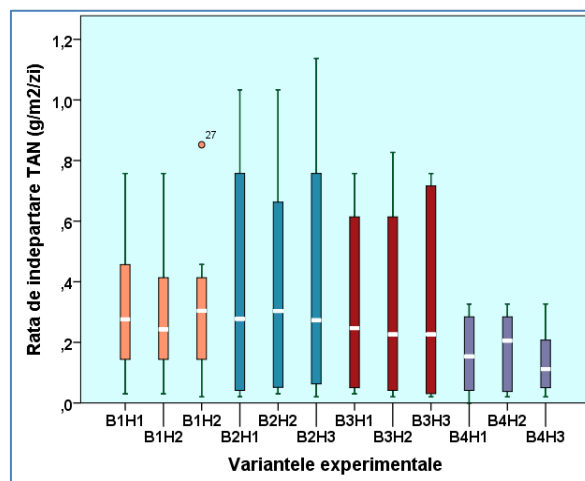


Fig. 4.38. Distribuția valorilor ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul modulului acvaponic

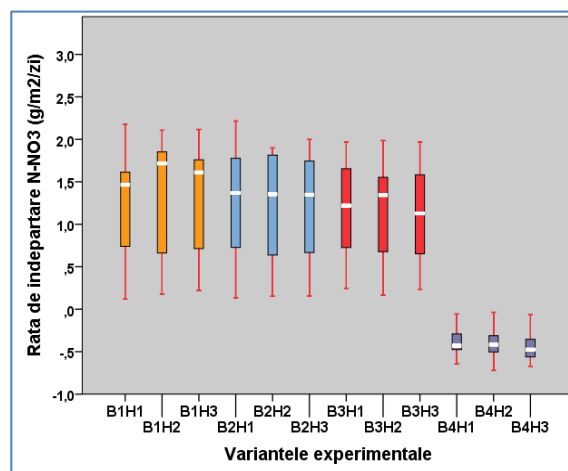


Fig. 4.40. Distribuția valorilor ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul modulului acvaponic

Un declin în evoluție se distinge în cazul variantelor cu plante (B1H, B2H și B3H), la începutul ultimei săptămâni de experiment (fig. 4.39). În condițiile în care varianta B4H a manifestat o evoluție firească în cadrul aceleiași perioade, declinul evoluțional menționat anterior poate fi pus exclusiv pe seama cerințelor nutriționale ale biomasei de spanac.

Ca atare, se poate menționa o similitudine ridicată în ceea ce privește evoluția ratei de îndepărtare a nitraților în cadrul triplicatului variantei B2H (fig. A. 10 – anexe, secțiunea 1), comparativ cu celelalte variante experimentale (fig. A. 9, fig. A. 11 și fig. A. 12 – anexe, secțiunea 1).

Drept valori medii ale ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $13,4 \pm 6,16 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B1H; $11,97 \pm 6,7 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B2H; $11,49 \pm 5,96 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B3H și valoarea negativă de $-4,17 \pm 1,78 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor B4H.

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor – B4H și de asemenea, între grupul format din B2H și B3H și varianta B1H. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B2H+B3H; B1H; B4H.

Valorile ridicate consemnate în cazul variantelor cu plante pot fi generate de asemenea, de intensitatea ridicată a procesului de oxidare a amoniacului la nivelul substratului de creștere. Se cunoaște faptul că, plantele au predilecție spre a consuma azot sub formă de nitrați, existența unor concentrații mari de azot amoniacal în cadrul apei tehnologice provocând inhibarea capacității de absorbție a biomasei vegetale.

În ceea ce privește valorile ratei de îndepărtare a nitraților înregistrate la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție relativ uniformă în cazul B2H, cu valori grupate uniform în jurul mediei, în timp ce la B1H distribuția este înclinată spre dreapta, cu valori extreme în partea stângă. Un grad redus de disipare a valorilor în jurul mediei se consemnează în cazul B4H (fig. 4.40).

Lennard și Leonard (2006), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful privind dinamica valorilor temperaturii), înregistrează valori medii ale ratei de îndepărtare a nitraților de $4,21 \text{ mg/L}$ în condițiile folosirii pietrișului drept substrat de cultură [125].

Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VTR), consemnată la nivelul unității de filtrare biologică, înregistrează o tendință ascendentă, fără fluctuații semnificative (fig. 4.41). Conform celor menționate în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.3, paragraf „rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total”, în cazul filtrelor biologice tip trickling este recomandat calculul ratei de îndepărtare TAN raportat la unitatea de volum [229]. Astfel, în cadrul prezentului experiment a fost consemnat un ecart de variație a VRT cuprins între $0,11 - 5,31 \text{ g/m}^3/\text{zi}$, cu o valoare medie de $1,65 \text{ g/m}^3/\text{zi}$. Valorile înregistrate au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii experimentale, descrise în capitolului menționat anterior [230, 231].

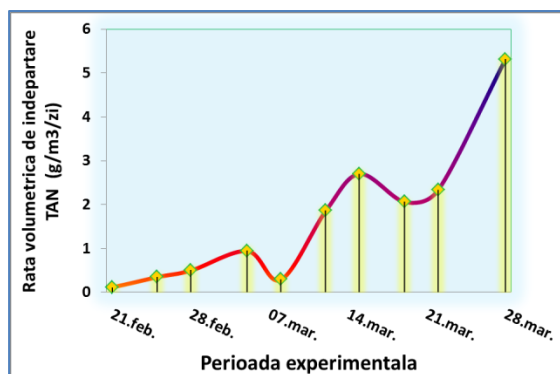


Fig. 4.41. Evoluția ratei volumetrice de îndepărtare a azotului amoniacal total (VRT)

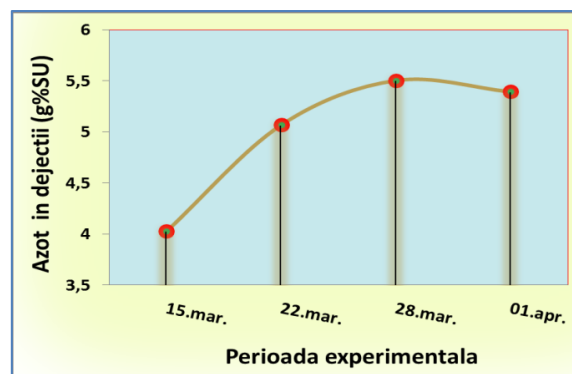


Fig. 4.42. Evoluția concentrației de azot din reziduurile fecale

Cantitatea de azot introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a fost de $2065,3 \text{ g}$, cu o medie zilnică de $46,93 \text{ g/zi}$ [304]. Este necesar a fi menționat faptul că de-a lungul perioadei experimentale s-a distribuit o cantitate de $30661,2 \text{ g}$ furaj *Clasic Extra 1P (41%PB)*. Concentrația proteică a furajului administrat a fost verificată prin analize de laborator, aplicând metoda *Kjeldahl*. Astfel, s-a constatat o concentrație în proteină de $42,1\%$. Cantitatea totală de azot (TKN) introdusă în cadrul sistemului s-a calculat folosind concentrația proteică obținută în urma analizei de laborator.

Evoluția concentrației de azot (TKN) din reziduurile fecale înregistrează o tendință puternic ascendentă, în special în cadrul primei jumătăți a perioadei experimentale (fig. 4.42). Studii de specialitate menționează un procent scăzut de azot ce se regăsește la nivelul reziduurilor fecale, raportat la totalul cantității de azot introdusă în cadrul unui sistem recirculant de-a lungul unei anumite perioade de timp [216]. Acest fapt este justificabil prin digestibilitatea ridicată a proteinelor din furajul administrat [216]. Astfel, în cadrul prezentului experiment a fost consemnat un ecart de variație a concentrației de azot (TKN) din reziduurile fecale cuprins între 4,03 – 5,5g%SU, cu o valoare medie de $4,99 \pm 0,67$ g%SU.

Azotul (TKN) din carnea de pește a fost determinat prin metoda Kjeldahl, analiza fiind efectuată pe un lot de 5 exemplare, atât la începutul, cât și la finalul perioadei experimentale.

Astfel, a fost consemnată o valoare medie de $2,11 \pm 0,09$ g% TKN pentru întreg lotul experimental, în perioada premergătoare celei experimentale (fig. 4.43). La finalul perioadei experimentale s-au înregistrat valori medii de $2,49 \pm 0,24$ g% în cazul G1 (variante unde a fost aplicată o rație de furajare de 2,21%BW); $2,42 \pm 0,23$ g% în cazul G2 (rație de furajare 1,85%BW); $2,31 \pm 0,22$ g% în cazul G3 (rație de furajare 1,64%BW) și $2,17 \pm 0,21$ g% în cazul G4 (rație de furajare 1,28%BW) (fig. 4.43) [304].

Diferențele dintre concentrațiile inițiale și cele consemnate la finalul perioadei experimentale, pentru toate cele patru variante, sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) [304].

De asemenea, diferențe semnificative statistic sunt consemnate între G1 și G4 ($p < 0,05$) [304]. Se observă o distribuție relativ uniformă a valorilor obținute în cazul G1 și G3, în timp ce pentru G2 și G4, distribuția este înclinată spre dreapta, cu valori extreme în partea stângă (fig. 4.44). Se întâlnește același grad de disipare al valorilor în cadrul ecartului mediu, pentru toate cele patru variante experimentale (fig. 4.44).

În ceea ce privește azotul reținut în țesutul muscular al materialului piscicol pe durata perioadei experimentale, pentru G1 s-a înregistrat o valoare medie de 2,92 g/exemplar, în cazul G2 valoarea medie de 2,49g/ex, la G3 valoarea medie de 2,01g/ex, iar în cazul G4 s-au consemnat 1,57g/exemplar (fig. 4.43). Diferențele dintre cele patru variante experimentale, în ceea ce privește cantitatea medie de azot reținută de către fiecare exemplar, sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Concentrația de azot (TKN) din frunzele și rădăcinile spanacului, obținut în condiții acvaponice, utilizând cele trei densități de creștere (B1H - 59 plante/m², B2H - 48 plante/m² și B3H - 39 plante/m²), a fost determinată pe un eșantion de 5 plante din cadrul fiecăreia din variantele experimentale menționate, pe triplicat (fig. 4.45 și fig. 4.46).

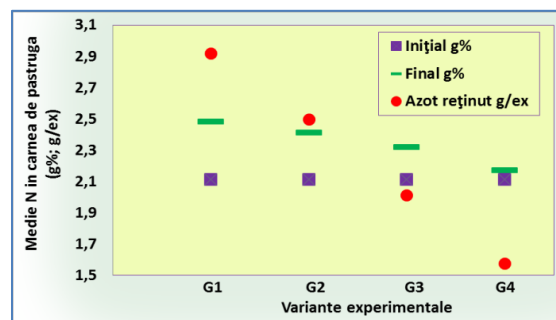


Fig. 4.43. Azotul (TKN) din țesutul muscular al păstrugii

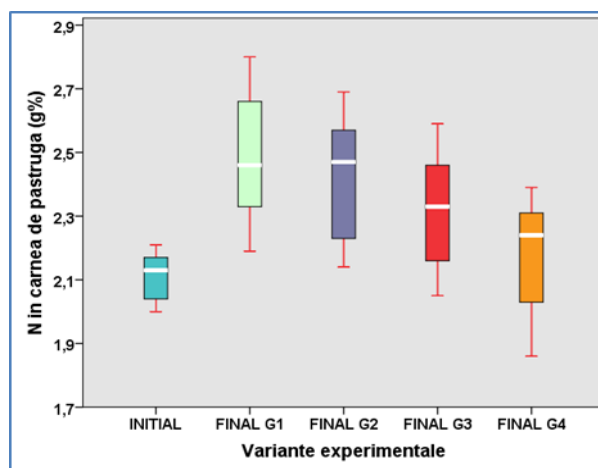


Fig. 4.44. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din țesutul muscular al păstrugii

Astfel, au fost înregistrate următoarele valori medii ale *concentrației de azot (TKN) din biomasa foliară a spanacului*, pe triplicat: B1H (B1H1 – $4,48 \pm 0,3g\%SU$; B1H2 – $4,52 \pm 0,23g\%SU$; B1H3 – $4,65 \pm 0,24g\%SU$); B2H (B2H1 – $4,89 \pm 0,29g\%SU$; B2H2 – $4,91 \pm 0,23g\%SU$; B2H3 – $5,04 \pm 0,28g\%SU$) și B3H (B3H1 – $5,58 \pm 0,36g\%SU$; B3H2 – $5,65g \pm 0,33\%SU$; B3H3 – $5,68 \pm 0,4g\%SU$) (fig. 4.45). La începutul perioadei experimentale, concentrația de TKN din biomasa foliară a răsadurilor a consemnat o valoare medie de $2,73g\%SU$.

Diferențele consemnate între cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Se poate observa un ecart de disipare apropiat al datelor, în cadrul celor trei variante experimentale (fig. 4.45).

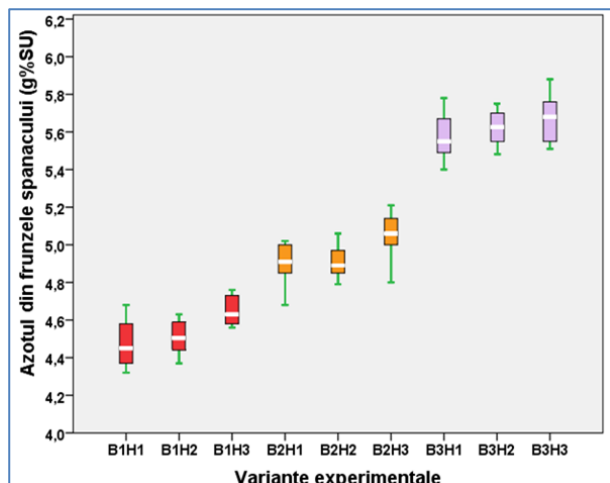


Fig. 4.45. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa foliară a spanacului

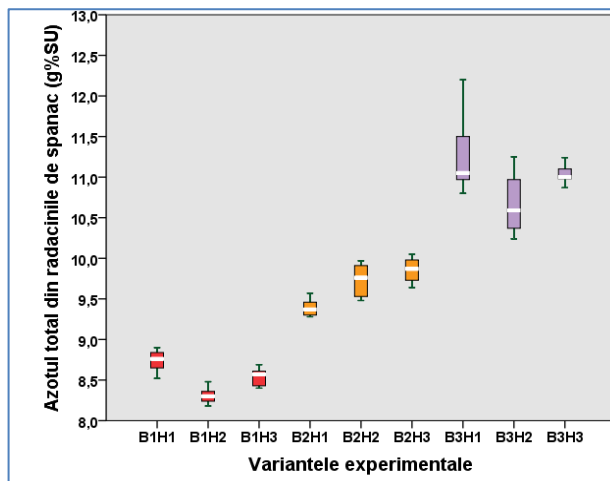


Fig. 4.46. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa radiculară a spanacului

În ceea ce privește *concentrației de azot (TKN) din biomasa radiculară a spanacului*, au fost înregistrate următoarele valori medii, pe triplicat: B1H (B1H1 – $8,73 \pm 0,23g\%SU$; B1H2 – $8,31 \pm 0,19g\%SU$; B1H3 – $8,54g \pm 0,2\%SU$); B2H (B2H1 – $9,4 \pm 0,18g\%SU$; B2H2 – $9,73 \pm 0,47g\%SU$; B2H3 – $9,85 \pm 0,31g\%SU$) și B3H (B3H1 – $11,3 \pm 0,71g\%SU$; B3H2 – $10,68g \pm 0,83\%SU$; B3H3 – $11,04 \pm 0,21g\%SU$) (fig.4.46).

Diferențele consemnate între cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). În cazul B1H și B2H se poate observa o distribuție uniformă a datelor, cu ecart mic de disipare, în timp ce în cadrul variantei B3H se întâlnește un ecart mai mare de disipare a datelor, distribuția fiind înclinată către stânga, cu valori extreme în partea dreaptă (fig. 4.46).

Se observă o rată de acumulare a azotului la nivelul biomasei radiculare considerabil mai ridicată comparativ cu cea consemnată la nivelul biomasei foliare. De asemenea, densitatea de cultivare a spanacului se arată a fi un factor determinant în ceea ce privește cumulusul de azot, atât la nivelul biomasei foliare, cât și al celei radiculare.

Prin sintetizarea informațiilor prezentate anterior în acest subcapitol (4.3.3), a rezultat bilanțul azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat (tabel 4.1). Similar cu principiile menționate anterior (capitolul III, secțiunea 3.3.3), cantitatea de azot neregăsită la nivelul compartimentelor studiate ale sistemului este considerată fie ca parte a deșeurilor eliminate prin spălare la nivelul unității de îndepărtare a solidelor, fie eliminată sub formă de azot liber.

Cuantumul de azot regăsit în fiecare variantă experimentală, atât în ceea ce privește biomasa piscicolă, cât și cea vegetală, a fost expus valoric și procentual în cadrul tabelului 4.1. În ceea ce privește biomasa vegetală, o valoare procentuală superioară este consemnată în

dreptul B1H, varianta unde a fost aplicată cea mai mare densitate de cultură a spanacului (59plante/m²). La nivelul biomasei piscicole, se observă o relație direct proporțională între valoarea procentuală a azotului regăsit și valoarea rației de furajare aplicate.

Tabelul 4.1. Bilanțul azotului total din sistemul recirculant integrat

Componenta		Conținut în N (g)	Pondere %
Input	Furaj	2065,3	100
Plante	B1H	120,4	5,83
	B2H	105,7	5,12
	B3H	98,5	4,77
Pești	<i>Acipenser stellatus</i> (2,21% biomasa)	133,86	6,48
	<i>Acipenser stellatus</i> (1,85% biomasa)	115	5,57
	<i>Acipenser stellatus</i> (1,64% biomasa)	92,46	4,48
	<i>Acipenser stellatus</i> (1,28% biomasa)	72,22	3,5
Reziduuri grosiere		386,42	18,7
Furaj neconsumat + Azot transformat		940,74	45,55

Astfel, un procent de peste 15% din totalul cantității de azot introdusă în sistemul recirculant integrat, de-a lungul perioadei experimentale, se regăsește la nivelul biomasei vegetale (fig. 4.47). Procentul obținut este superior celui raportat în cadrul altor cercetări asemănătoare, ce au folosit însă tehnica acvaponică DWC (10,17%) [216].

La nivelul biomasei piscicole se regăsește un procent din azotul total introdus în sistem de aproximativ 20% (fig. 4.47), inferior celui consemnat în cadrul studiilor experimentale asemănătoare (26,7%) [216]. Rezidurile grosiere cuantifică aproximativ 18% din totalul azotului introdus în sistem (fig. 4.47), procent apropiat de cel consemnat în cadrul altor cercetări științifice similare (16,94%) [216].

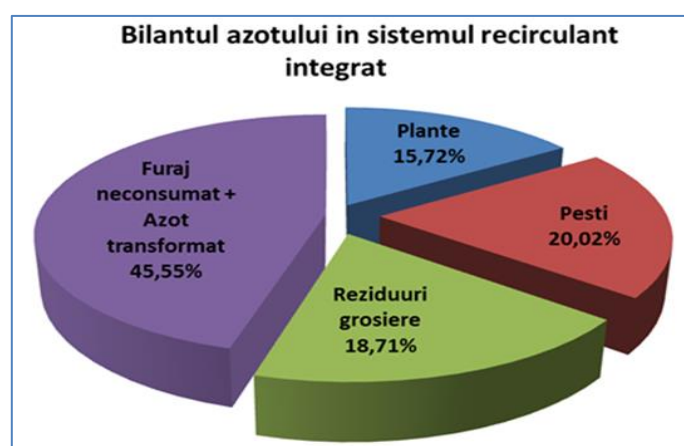


Fig. 4.47. Cuantificarea procentuală a azotului la nivelul compartimentelor studiate

Bilanțul fosforului și al calciului

Exceptând azotul, fosforul și calciul sunt următoarele macroelemente ca importanță, pentru asigurarea unui echilibru nutrițional la nivelul biomasei vegetale din cadrul sistemelor recirculante integrate. Plantele vizibil afectate de carențele de fosfor și calciu prezintă deformări și depigmentare la nivelul suprafeței foliare. De asemenea, lipsa celor două macroelemente poate inhiba absorbția altor elemente esențiale creșterii biomasei vegetale și poate produce dezechilibre la nivelul proceselor metabolice [237].

Concentrațiile de fosfor și calciu din carnea de pește și din frunzele spanacului obținut în condiții acvaponice constituie indicatori sugestivi în determinarea calității biomasei piscicole și al celei vegetale, în condițiile utilizării unui sistem recirculant integrat de producție.

Rata de retenție a fosforului (P_2O_5) la nivelul unităților acvaponice a înregistrat o evoluție ușor ascendentă, cu fluctuații semnificative în cazul variantelor B2H și B3H în perioada de mijloc a experimentului (fig. 4.48).

Astfel, în cazul B1H, valorile extreme maxime ale ratei de retenție a P_2O_5 se consemnează în cadrul primelor două săptămâni experimentale, fapt general valabil în cazul triplicatului (fig. A. 21 – anexe, secțiunea 1 și fig. 4.48). Acest fenomen poate fi argumentat prin densitatea ridicată de cultură a spanacului aplicată în cazul acestei variante (59 plante/m^2), fapt ce generează o creștere a concurenței la nivelul biomasei vegetale în ceea ce privește absorbția de fosfor

În cazul B2H (48 plante/m^2) trebuie punctat declinul în ceea ce privește absorbția de fosfor la nivelul biomasei de spanac, manifestat la mijlocul perioadei experimentale în cazul triplicatului (fig. A. 22 – anexe, secțiunea 1 și fig. 4.48).

Cel mai probabil, acesta este cauzat datorită instalării stării de saturație în ceea ce privește absorbția de fosfor, corespunzătoare perioadei de creștere în cauză, a spanacului.

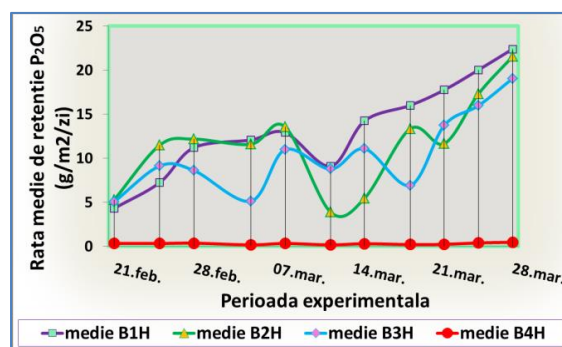


Fig. 4.48. Evoluția ratei de retenție a fosforului la nivelul unităților acvaponice

Afirmația anterioară este susținută de asemenea, de ratele de retenție a fosforului foarte ridicate, manifestate în cadrul B2H la începutul perioadei experimentale (fig. A. 22 – anexe, secțiunea 1 și fig. 4.48).

Comparativ cu primele două variante experimentale, în cazul B3H se poate observa o evoluție ascendentă a ratei de retenție a fosforului, simetrică, cu valori extreme mai apropiate de valoarea medie (fig. A. 23 – anexe, secțiunea 1 și fig. 4.48). În cadrul variantei martor, valorile ratei de retenție a P_2O_5 au fost aproape neglijabile (fig. A. 24 – anexe, secțiunea 1 și fig. 4.48)

Valorile medii ale ratei de retenție a fosforului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $13,38 \pm 5,45 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B1H; $11,57 \pm 5,25 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B2H; $10,39 \pm 4,4 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B3H și $0,29 \pm 0,09 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor – B4H [218]. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sau consemnat între primele trei variante experimentale și varianta martor și de asemenea, între B1H și grupul format din B2H și B3H.

Testul *post-hoc Duncan și Tukey's-B* împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H; B2H+B3H; varianta martor B4H.

În ceea ce privește valorile ratei de retenție a fosforului înregistrate la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție relativ uniformă în cazul B1H și B3H, cu valori grupate uniform în jurul mediei, în timp ce la B2H distribuția este înclinată spre dreapta, cu valori extreme în partea stângă (fig. 4.49).

Un grad redus de disipare a valorilor în jurul mediei se consemnează în cazul B2H și B3H, comparativ cu B1H (fig. 4.49)

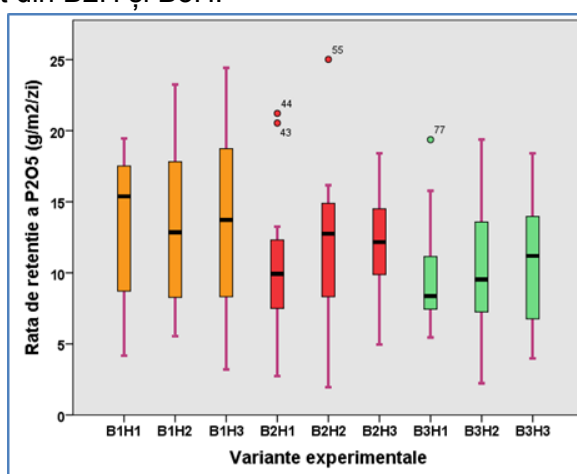


Fig. 4.49. Distribuția valorilor ratei de retenție a fosforului la nivelul modulului acvaponic

Evoluția rate de retenție a calciului consemnează o tendință ușor descendentă în cazul primelor variante experimentale (B1H și B2H), în timp ce pentru varianta B3H se constată o dinamică ascendentă, manifestată de-a lungul ultimei săptămâni experimentale (fig. 4.50). Un grad mare de similitudine în ceea ce privește evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul triplicatului, se consemnează în cadrul B1H și B2H, comparativ cu B3H (fig. A.25, fig. A. 26 și fig. A. 27 – anexe, secțiunea 1). În cazul triplicatului variantei martor, se consemnează o evoluție ascendentă, manifestată în special în cadrul ultimei săptămâni experimentale (fig. A. 28 – anexe, secțiunea 1).

Astfel, în cazul primelor două variante putem concluziona valori extreme maxime înregistrate la mijlocul perioadei experimentale, în timp ce în cazul B3H acestea au fost consemnate la sfârșitul perioadei experimentale (fig. 4.50).

Putem semnală o influență a densității de creștere a spanacului în ceea ce privește evoluția absorbției de calciu.

Astfel, manifestarea unei concurențe ridicate la nivelul biomasei vegetale generează fluctuații însemnate ale valorilor ratei de retenție a calciului, în timp ce practicarea unor densități de cultură optime asigură o evoluție constantă a acesteia pe durata ciclului de producție (fig. 4.50). Valorile medii ale ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice sunt următoarele: $15,84 \pm 4,19 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B1H; $13,38 \pm 4,82 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B2H; $7,12 \pm 2,22 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ – B3H și $1,03 \pm 0,38 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul variantei martor – B4H [218].

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) s-au consemnat între primele trei variante experimentale și varianta martor și de asemenea, între grupul format din primele două variante experimentale și B3H.

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H+B2H; B3H; varianta martor B4H.

În ceea ce privește valorile ratei de retenție a calciului înregistrate la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție relativ uniformă în cazul B1H, cu valori grupate uniform în jurul mediei, în timp ce la B2H și B3H distribuția este înclinată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă (fig. 4.51).

Un grad redus de disipare a valorilor în jurul mediei se consemnează în cazul B3H (fig. 4.51). Pentru a reflecta întinderea relației liniare dintre seturile de date referitoare la valorile ratei de retenție a P_2O_5 și a calciului și cele ale ratelor de îndepărtare a TAN-ului și a nitratilor, consemnate de-a lungul perioadei experimentale, s-a determinat indicele de corelație Pearson.

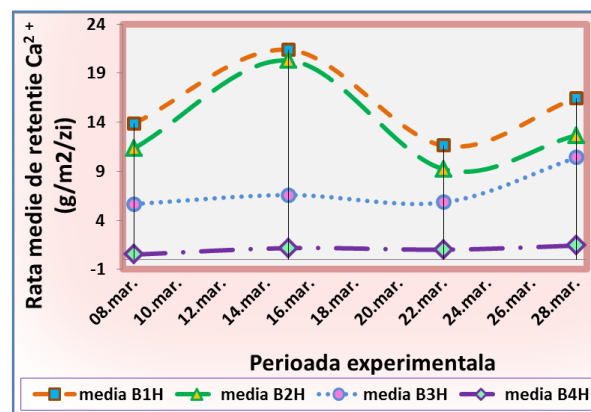


Fig. 4.50. Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice

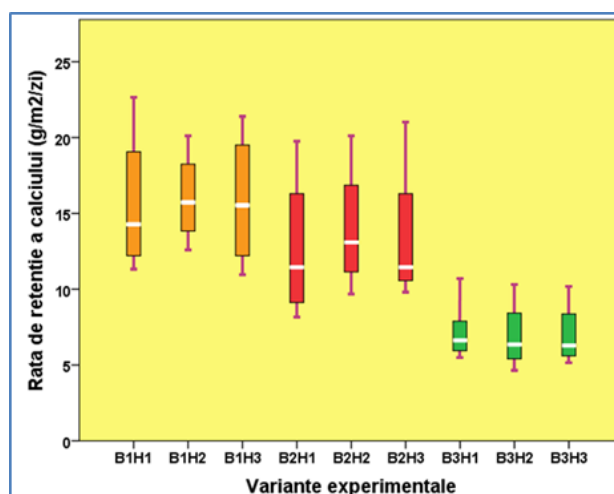


Fig. 4.51. Distribuția valorilor ratei de retenție a calciului la nivelul modulului acvaponic

Astfel, valori semnificative ale indicelui *Pearson* au fost consemnate doar între rata de îndepărtare a TAN-ului și rata de îndepărtare a nitratilor (0,743), fapt ce relevă o corelație directă, puternică, existentă la nivelul acestora.

Cantitatea totală de fosfor introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a fost de 275,95g, cu o medie zilnică de $6,9 \pm 0,52 \text{g/zi}$. Este necesar a fi precizat faptul că, furajul administrat (*Clasic Extra 1P – 41%PB*) conține o concentrație de fosfor de 0,9% și nu conține calciu. Compoziția biochimică a furajului în cauză a fost descrisă în detaliu în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.2, tabel 3.1, din prezenta lucrare.

Evoluția concentrației de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale înregistrează o tendință descendentă în prima jumătate a perioadei experimentale, urmată de o ascensiune până la final (fig. 4.52). Valoarea medie a fosforului din cadrul reziduurilor fecale, înregistrată de-a lungul perioadei experimentale, este de $5,47 \pm 1,01 \text{g\%}$ reziduuri uscate (SU).

Valoarea consemnată este superioară celor raportate în cadrul altor studii de specialitate prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.3., paragraful „evoluția concentrației de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale” [238, 239, 240, 241, 242, 243, 244]. Trebuie însă precizat faptul că din punct de vedere al compoziției chimice, reziduurile fecale consemnează valori foarte diferite în cadrul literaturii de specialitate, neexistând încă o metodă standardizată în ceea ce privește colectarea acestora, fapt remarcat și de alți autori [238, 240].

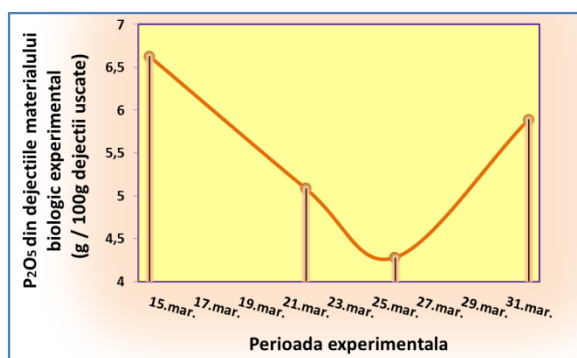


Fig. 4.52: Evoluția concentrației de fosfor din reziduurile fecale (foto original a substanței uscate din reziduurile fecale)

Concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă a înregistrat înainte de începerea perioadei experimentale, o valoare medie de $187,92 \pm 11,49 \text{mg/100g}$ carne de pește (fig. 4.53)

La sfârșitul perioadei experimentale, a fost obținută o valoare medie a fosforului din carnea de păstrugă de $236,57 \pm 11,44 \text{mg/100g}$ în cazul variantei experimentale F1 (2,21%BW); $216,59 \pm 14,03 \text{mg/100g}$ în cazul variantei experimentale F2 (1,85%BW); $172,64 \pm 10,27 \text{mg/100g}$ în cazul F3 (1,64%BW) și $137,26 \pm 12,8 \text{mg/100g}$ pentru F4 (1,28%BW) (fig. 4.53). Diferențele înregistrate între variantele experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), exceptând cele dintre F1 și F2 și de asemenea, cele dintre valoarea inițială și F3, care nu s-au dovedit a fi semnificative statistic ($p > 0,05$).

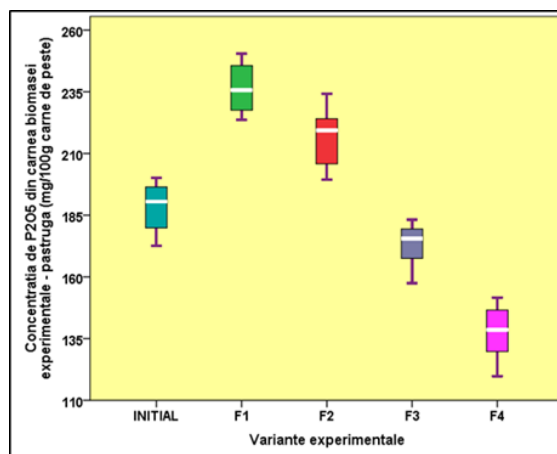


Fig. 4.53. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă

Testul post-hoc Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel Inițial+F3; F1+F2; F4.

În ceea ce privește valorile obținute, din analiza diagramelor Q-Q plot (fig. A. 51, fig. A. 52, fig. A. 53, fig. A. 54 și fig. A. 55 – anexe, secțiunea 1) putem remarca un coeficient de asimetrie nul în cazul tuturor variantelor experimentale, cu un grad de aplatizare mai ridicat și cu o tendință de înclinare spre stânga în cazul F3 și F4. Ca atare, în cadrul variantelor menționate există o probabilitate mai sporită de apariție a unor valori extreme, comparativ cu celelalte variante experimentale.

Valorile înregistrate în prima variantă experimentală au fost apropiate de cele raportate de Vasilean și colab. (2010) și anume 240 mg P_2O_5 /100g carne de pește pentru diverse specii de sturioni crescuți în sistem recirculant și hrăniți cu furaj cu o concentrație de 1,45% fosfor [306].

Concentrația de calciu din carnea de păstrugă a înregistrat înainte de începerea perioadei experimentale, o valoare medie de $10,66 \pm 0,61$ mg/100g carne de pește (fig. 4.54).

La sfârșitul perioadei experimentale, a fost obținută o valoare medie a calciului din carnea de păstrugă de $22,34 \pm 0,99$ mg/100g în cazul F1 (2,21%BW); $16,42 \pm 1,25$ mg/100g în cazul F2 (1,85%BW); $12,54 \pm 1,06$ mg/100g în cazul F3 (1,64%BW) și $12,01 \pm 0,95$ mg/100g pentru F4 (1,28%BW) (fig. 4.54). Diferențele înregistrate între variantele experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), exceptând cele dintre F3 și F4, care nu s-au dovedit a fi semnificative statistic ($p > 0,05$). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: F1; F2; Inițial+F3+F4.

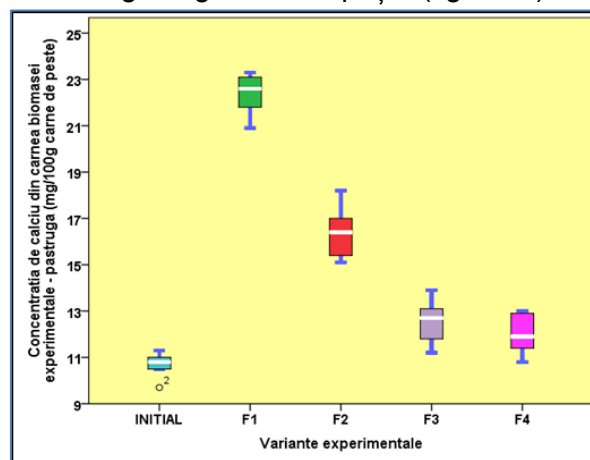


Fig. 4.54. Distribuția valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă

În ceea ce privește valorile obținute, din analiza diagramelor Q-Q plot (fig. A. 43, fig. A. 44 și fig. A. 47 – anexe, secțiunea 1) putem remarca o distribuție cu tendință de înclinare spre stânga și valori extreme în partea dreaptă în cazul F1, F4 și de asemenea, în cazul valorilor consemnate în momentul inițial, înainte de începerea perioadei experimentale. În ceea ce privește F2, distribuția consemnează valori extreme în partea dreaptă, în timp ce pentru F3 putem consemna un grad mai ridicat de aplatizare și ca atare, o probabilitate crescută pentru consemnarea unor valori extreme (fig. A. 45 și fig. A.46 – anexe, secțiunea 1).

Valorile obținute sunt sub cele raportate în cadrul bazei de date nutriționale de specialitate, care expun o concentrație medie a calciului din carnea de sturioni de 40mg/100g [307].

Pentru a măsura intensitatea corelației, din punct de vedere statistic, între concentrația de fosfor (P_2O_5) și cea de calciu din carnea de păstrugă s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*. Astfel, s-au obținut valori semnificative între cele două seturi de variabile menționate anterior în cazul F1 (0,81); F3 (0,89) și F4 (0,67). Acest fapt indică existența unei corelații directe semnificative în cazul variantelor experimentale menționate anterior.

Astfel, s-au obținut următoarele modele de regresii liniare simple, între concentrația de fosfor (P_2O_5) și cea de calciu din carnea de păstrugă:

- **F1:** $Ca = 0,069P_2O_5 + 6,086$; (r^2 liniar=0,629).
- **F3:** $Ca = 0,083P_2O_5 + 1,8$; (r^2 liniar=0,643).
- **F4:** $Ca = 0,042P_2O_5 + 6,194$; (r^2 liniar=0,324).

Concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a spanacului, a consemnat următoarele valori medii, pe triplicat, la sfârșitul perioadei experimentale: B1H (B1H1 – 51,09±2,78mg/100g frunze proaspete (FW); B1H2 – 52,39±1,19mg/100g FW; B1H3 – 52,57±1,49mg/100g FW); B2H (B2H1 – 60,83±1,38mg/100g FW; B2H2 – 59,95±1,68mg/100g FW; B2H3 – 58,36±1,42mg/100g FW) și B3H (B3H1 – 72,44±1,54mg/100g FW; B3H2 – 74,73±0,77mg/100g FW; B3H3 – 71,6±1,35mg/100g FW) (fig. 4.55). Diferențele consemnate între cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p<0,05$).

În ceea ce privește valorile obținute, din analiza diagramelor Q-Q plot (fig. A. 48, fig. A. 49 și fig. A. 50 – anexe, secțiunea 1) putem remarca o distribuție a datelor înclinată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă în cazul B1H, în timp ce pentru B2H și B3H se poate consemna o valoare sensibil mai ridicată a coeficientului de aplatizare și ca atare, o probabilitate crescută pentru apariția unor valori extreme în cazul setului de valori.

Valorile înregistrate în prezentul experiment, privind concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a spanacului obținut prin aplicarea tehnicii acvaponice de cultură în substrat, au fost superioare comparativ cu cele obținute din analiza spanacului cultivat în condiții convenționale, în sol (31,83±1,79mg/100g FW), menționate în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.3, paragraf „concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a spanacului”. De asemenea, în cazul altor studii științifice asemănătoare, întâlnite în literatura de specialitate și prezentate în detaliu în cadrul capitolului anterior menționat, s-au înregistrat valori inferioare celor consemnate în prezentul experiment [252, 253].

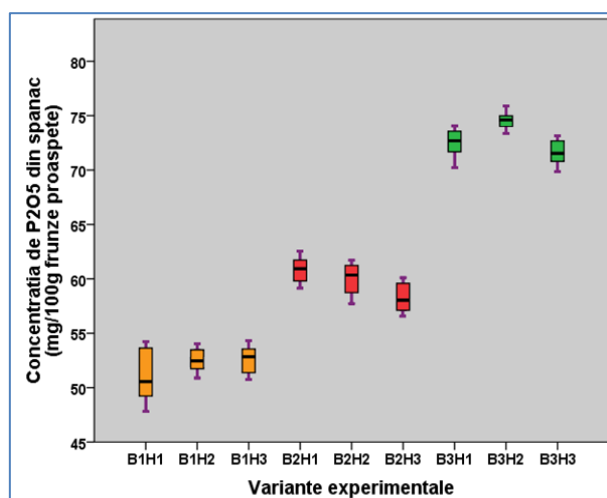


Fig. 4.55. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din frunzele proaspete de spanac

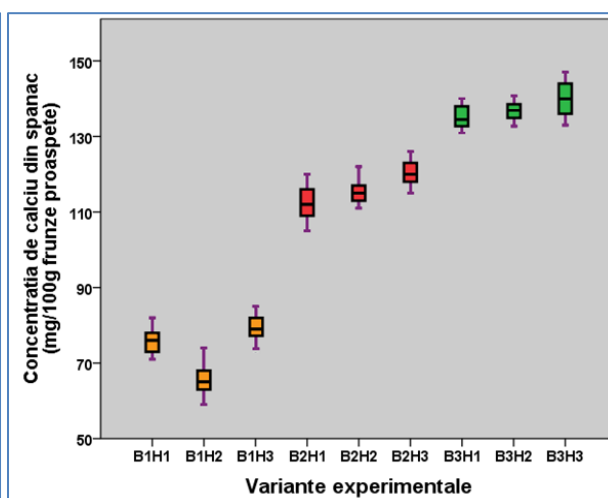


Fig. 4.56. Distribuția valorilor concentrației de calciu din frunzele proaspete de spanac

Concentrația de calciu din biomasa foliară a spanacului a consemnat următoarele valori medii, la sfârșitul perioadei experimentale: B1H (B1H1 – 76,1±4,3mg/100g frunze proaspete (FW); B1H2 – 65,8±5,63mg/100g FW; B1H3 – 79,8±4,09mg/100g FW); B2H (B2H1 – 112,4±5,86mg/100g FW; B2H2 – 115,6±4,22mg/100g FW; B2H3 – 120,4±4,28mg/100g FW) și B3H (B3H1 – 134,8±3,96mg/100g FW; B3H2 – 136,8±3,19mg/100g FW; B3H3 – 140,1±5,7mg/100g FW) (fig. 4.56). Diferențele dintre cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p<0,05$). Valorile observate în cadrul variantei experimentale B1H au fost apropiate de cele obținute pentru spanacul cultivat în condiții convenționale, în sol (65,64±1,37mg/100g FW), menționate în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.3, paragraf „concentrația de calciu din biomasa foliară a spanacului”.

În ceea ce privește valorile obținute, din analiza diagramelor Q-Q plot (fig. A. 40, fig. A. 41 și fig. A. 42 – anexe, secțiunea 1) putem remarca o distribuție simetrică a datelor, ușor înclinată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă în cazul B1H, în timp ce pentru B2H și B3H se

constată un coeficient de asimetrie nul, cu o slabă tendință de înclinare spre dreapta a curbei de distribuție în cazul ultimei variante experimentale (B3H).

Din analiza coeficientului *Pearson*, s-a constatat existența unei corelații directe între concentrația de fosfor (P_2O_5) și cea de calciu a biomasei foliare a spanacului din varianta experimentală B2H. Astfel, s-a obținut următorul model de regresie simplă (fig. A. 56 – anexe, secțiunea 1):

$$\text{F2: } Ca = 227,099 - 1,858 P_2O_5; (r^2 \text{ liniar} = 0,333).$$

Referitor la biomasa de spanac obținută în cadrul triplicatelor primei variante experimentale (B1H), s-au distins exemplare ce au prezentat o slabă dezvoltare a suprafeței foliare și o încrețire accentuată a acesteia (fig.4.57).

Aceste semne sunt specifice plantelor ce au carențe mari în absorbția de potasiu și bor. Ca atare, o posibilă cauză de inhibare a biomasei vegetale în ceea ce privește absorbției acestor două elemente esențiale poate fi reprezentată de stresul generat de aplicarea unei densități mari de creștere a spanacului în cadrul variantei B1H (59 plante/m²).



Fig. 4.57. Exemplar de spanac obținut în cadrul B1H, susceptibil a prezenta deficiențe nutriționale de potasiu și bor (foto original)

În cadrul literaturii științifice de specialitate s-au identificat diverse cazuri de carență a potasiului în rândul biomasei vegetale obținute în condiții acvaponice [194, 310]. Ca atare, Savidov și colab. (2007) menționează suplimentarea concentrației de fier și potasiu a apei tehnologice, în vederea satisfacerii nevoilor de creștere a biomasei vegetale, într-un sistem acvaponic ce folosește drept specie de pești tilapia [194].

Vizual, nu au fost observate semne ale unor eventuale deficiențe nutriționale la nivelul biomasei de spanac din cadrul triplicatelor variantelor experimentale B2H și B3H (fig. 4.58).



Fig. 4.58. Spanacul cultivat utilizând tehnica acvaponică în substrat LECA, în cadrul variantelor experimentale B2H și B3H (foto original)

4.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale

Un argument esențial în vederea implementării la scară industrială a sistemelor recirculante integrate de producție este dat de fezabilitatea tehnico-economică a acestora. Astfel, durata mică a ciclurilor de producție și beneficiile obținerii de biomasă piscicolă și vegetală cu un minim de input-uri sunt elemente ce au generat eficiența economică a sistemelor acvaponice, fapt confirmat în cadrul diverselor studii științifice de specialitate [77, 219].

Condiția necesară în vederea realizării dezideratului menționat anterior o constituie asigurarea unei funcționări permanente a sistemelor recirculante integrate, la capacitatea

maximă de producție corespunzătoare unui nivel optim în ceea ce privește calitatea produselor obținute.

În cadrul prezentului experiment s-au folosit trei densități de creștere a biomasei de spanac, în triplicat și anume: B1H (B1H1, B1H2, B1H3) - 59 plante/m², B2H (B2H1, B2H2, B2H3) – 48 plante/m², B3H (B3H1, B3H2, B3H3) – 39 plante/m², în condiții tehnologice de creștere a biomasei de păstrugă expuse anterior (subcapitolul 4.2.).

Realizarea unui studiu comparativ în ceea ce privește performanța de creștere a spanacului din cadrul celor trei variante experimentale a fost posibilă prin intermediul unor parametri tehnologici sugestivi, utilizați și în cadrul altor studii științifice de specialitate [254, 255, 256].

Rezultatele ce urmează a fi expuse, în ceea ce privește performanța creșterii biomasei de spanac utilizând tehnica acvaponică de cultură în substrat LECA, s-au consemnat în condițiile de performanță tehnologică a biomasei de păstrugă prezentate în cadrul tabelului 4.2.

Tabel 4.2. Performanța creșterii biomasei de păstrugă de-a lungul perioadei experimentale

Nr.crt.	INDICATOR	VALOAREA MEDIE A CELOR PATRU VARIANTE EXPERIMENTALE (F1, F2, F3, F4)
1.	Biomasa inițială totală (g)	31 233 ± 11,67
2.	Biomasa finală totală (g)	45 682 ± 455,61
3.	Numărul de exemplare (ex)	184 (46 x 4)
4.	Supraviețuirea (%)	100%
5.	Sporul individual de creștere (g)	78,53 ± 10,1
6.	Sporul total de creștere (g)	14 449 ± 465,01
7.	Factorul de conversie a hranei (FCR mediu) (g furaj/g spor biomasă)	1,77 ± 0,36
8.	Rata specifică de creștere - SGR mediu (%BW/zi)	0,95 ± 0,1

Evoluția înălțimii spanacului a fost monitorizată atât la începutul și finalul perioadei experimentale, cât și în cadrul acesteia, în trei momente diferite (fig. 4.62). Astfel, valorile medii înregistrate în cazul triplicatului primei variante experimentale (B1H) sunt prezentate în tabelul 4.3.

Tabel 4.3. Valorile medii ale înălțimii spanacului din cadrul variantei experimentale B1H

Momentul calendaristic al efectuării măsurărilor	Înălțimea medie a spanacului din varianta B1H1 (cm)	Înălțimea medie a spanacului din varianta B1H2 (cm)	Înălțimea medie a spanacului din varianta B1H3 (cm)
Începutul experimentului	6,92±1,43	6,38±1,54	7,07±1,61
După 19 zile	11,13±2,26	9,98±2,22	10,93±2,18
După 26 zile	15,80±3,9	15,88±3,25	16,13±3,77
După 33 zile	18,38±3,41	20,19±4,59	20,16±3,58
Finalul experimentului	22,73±5,14	23,66±4,95	25,15±5,42

Trebuie precizat faptul că nu s-au constatat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) în cadrul triplicatului variantei experimentale anterior menționate.

În ceea ce privește dinamica înălțimii spanacului din B1H, consemnată de-a lungul perioadei experimentale, se constată o tendință ascendentă mai accentuată în ultimele 9 zile ale perioadei experimentale, fapt confirmat în triplicat (fig. 4.59).

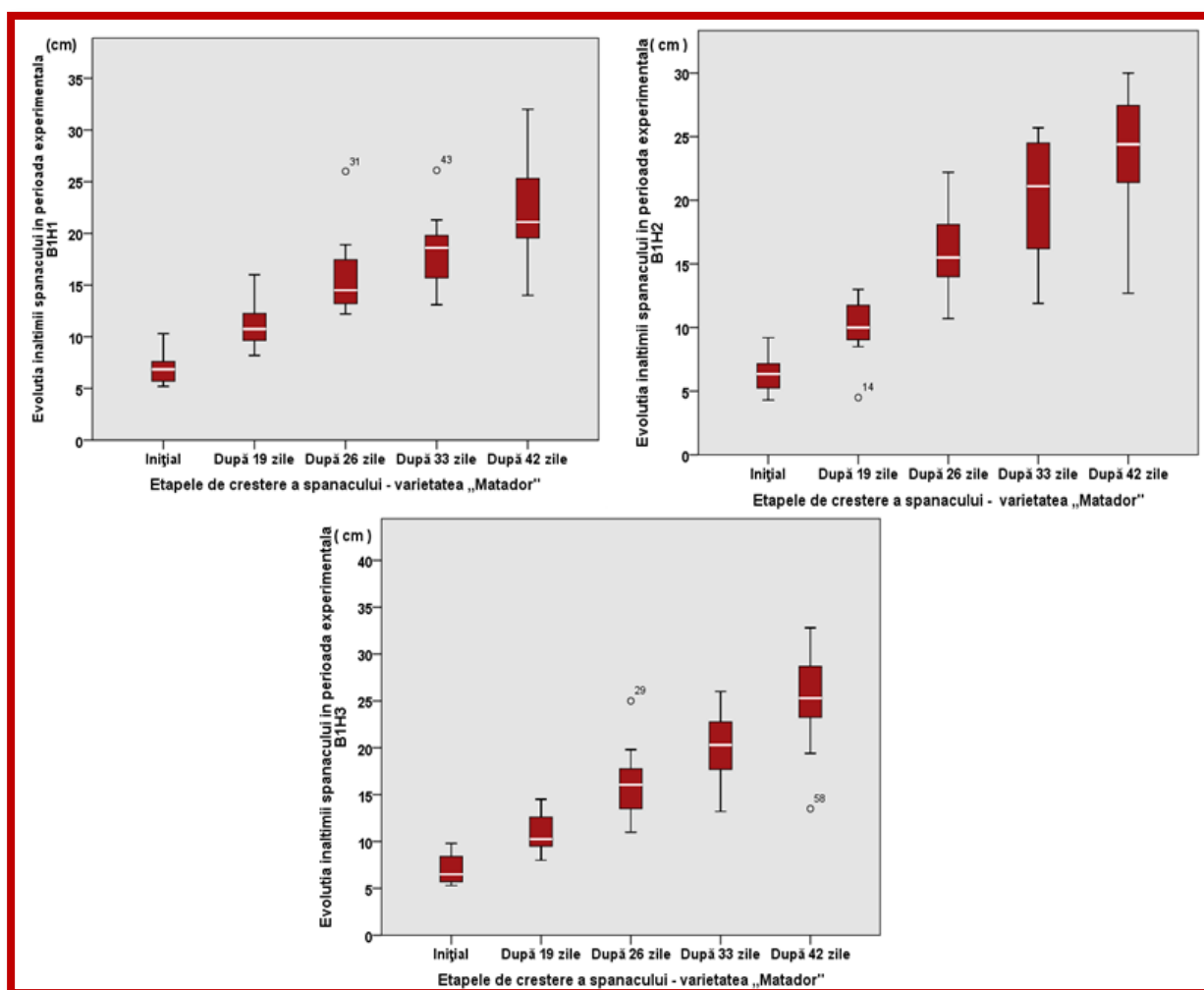


Fig. 4.59. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul triplicatului variantei B1H, de-a lungul perioadei experimentale

De asemenea, analizând histogramele de distribuție a valorilor înălțimii spanacului din cadrul triplicatului variantei B1H (fig. A.57, fig. A.58, fig. A.59 – anexe, secțiunea 1), se observă o curbă de distribuție boltită, atât în momentul inițial cât și după 20 de zile de la începutul experimentului, cu multe valori concentrate în jurul mediei și cozi mai groase, ceea ce înseamnă probabilități ridicate pentru valorile extreme.

După 33 zile se constată un coeficient de asimetrie nul, fapt caracteristic unei uniformități mari a distribuției, în timp ce la finalul perioadei experimentale, se observă un grad ușor pronunțat de aplatizare și ca atare, o probabilitate ridicată spre consemnarea valorilor extreme (fig. A.57, fig. A.58, fig. A.59 – anexe, secțiunea 1).

Competiția la nivelul biomasei vegetale și diversele caracteristici morfo -biometrice generate de factorii genetici, sunt evidențiate prin evoluția ascendentă a gradului de disipare a valorilor înălțimii spanacului din cadrul triplicatului variantei B1H, de-a lungul perioadei experimentale (fig. 4.59)

Valorile medii înregistrate în cazul triplicatului celei de-a doua variante experimentale (B2H) sunt prezentate în tabelul 4.4.

Nu au fost consemnate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) în cadrul triplicatului variantei experimentale anterior menționate.

Tabel 4.4. Valorile medii ale înălțimii spanacului din cadrul variantei experimentale B2H

Momentul calendaristic al efectuării măsurătorilor	Înălțimea medie a spanacului din varianta B2H1 (cm)	Înălțimea medie a spanacului din varianta B2H2 (cm)	Înălțimea medie a spanacului din varianta B2H3 (cm)
Începutul experimentului	6,35±1,2	6,16±1,29	6,42±1,82
După 19 zile	9,91±2,05	10,79±1,39	10,18±2,16
După 26 zile	15,42±2,69	18,34±4,01	16,12±4,96
După 33 zile	19,51±4,73	22,14±3,74	20,30±5,22
Finalul experimentului	24,07±6,75	24,74±4,58	23,91±6,24

În ceea ce privește dinamica înălțimii spanacului din B2H, consemnată de-a lungul perioadei experimentale, se constată o tendință ascendentă mai accentuată după primele 26 de zile ale perioadei experimentale, fapt confirmat în triplicat (fig. 4.60).

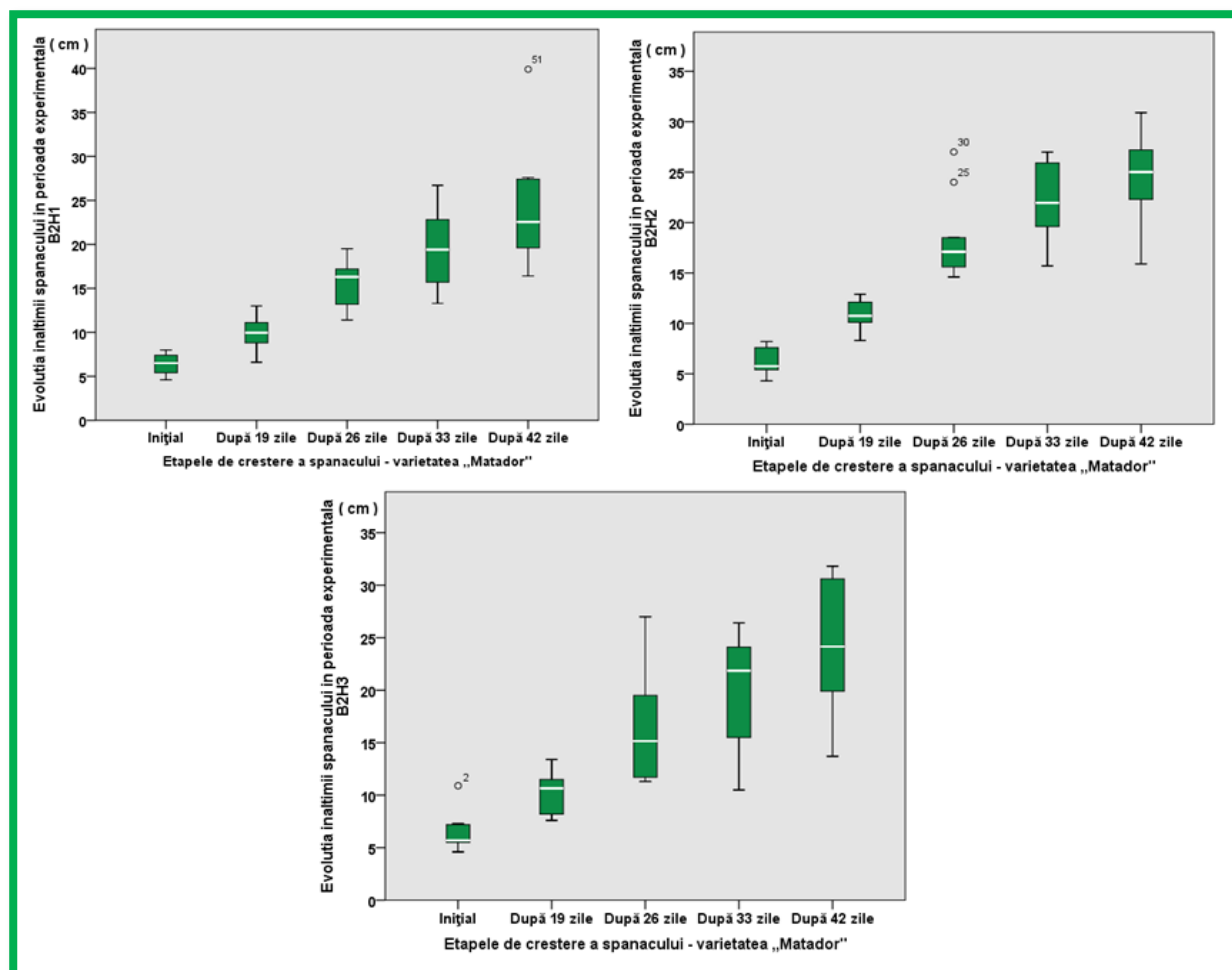


Fig. 4.60. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul triplicatului variantei B2H, de-a lungul perioadei experimentale

De asemenea, diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între primele două variante experimentale (B1H și B2H) se consemnează la 33 de zile de la începerea experimentului și la finalul acestuia (fig. 4.60).

Astfel, se poate afirma faptul că diferența dintre densitățile de cultură a spanacului aplicate în B1H (59 plante/m²), respectiv B2H (48 plante/m²) nu au influențat evoluția înălțimii

biomasei vegetale în primele stadii de creștere și dezvoltare, mai precis în ecartul de până la 30 de zile.

În urma analizei histogramelor de distribuție a valorilor înălțimii spanacului din cadrul triplicatului variantei B2H (fig. A.60, fig. A.61, fig. A.62 – anexe, secțiunea 1), se observă o distribuție asemănătoare celei descrise anterior în cazul B1H.

Singurele diferențe apar în cazul momentului de final de experiment, când se observă un coeficient de aplatizare mai ridicat și ca atare, o creștere a ecartului dintre valorile extreme.

Comparativ cu prima variantă experimentală, în cazul B2H se poate distinge o asimetrie la nivelul triplicatului, în ceea ce privește distribuția valorilor înălțimii, manifestată mai accentuat la 26 și la 33 de zile de la începutul perioadei experimentale (fig. 4.59 și fig. 4.60).

Acest fapt se poate datora, așa cum am menționat și anterior, variației ridicate a biomasei vegetale experimentale utilizate, în ceea ce privește caracteristicile morfo -biometrice generate de factorii genetici.

Cu toate acestea, trebuie menționat faptul că în momentul inițial începerii experimentului, diferențele dintre biomasele de spanac ale celor trei variante experimentale, în ceea ce privește distribuția valorilor înălțimii și ecartul de variație al acestora, sunt consemnate drept ne semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) (fig. 4.59, fig. 4.60, fig. 4.61).

Valorile medii înregistrate în cazul triplicatului celei de-a treia variante experimentale (B3H) sunt prezentate în tabelul 4.5. Nu s-au constatat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) în cadrul triplicatului variantei experimentale anterior menționate.

Tabel 4.5. Valorile medii ale înălțimii spanacului din cadrul variantei experimentale B3H

Momentul calendaristic al efectuării măsurătorilor	Înălțimea medie a spanacului din varianta B3H1 (cm)	Înălțimea medie a spanacului din varianta B3H2 (cm)	Înălțimea medie a spanacului din varianta B3H3 (cm)
Începutul experimentului	7,46±1,67	6,53±1,23	7,34±1,25
După 19 zile	11,58±1,09	10,8±2,05	10,38±1,94
După 26 zile	19,99±1,77	17,98±4,38	16,40±3,16
După 33 zile	25,26±3,14	24,80±2,94	20,40±4,40
Finalul experimentului	32,73±5,56	29,45±3,62	27,15±6,59

În ceea ce privește dinamica înălțimii spanacului din cadrul variantei experimentale B3H, se constată o evoluție ascendentă mai accentuată, comparativ cu primele două variante experimentale prezentate anterior (fig. 4.61).

De asemenea, trebuie punctat sporul de creștere simetric, sensibil egal, înregistrat pe durata întregii perioade experimentale (fig. 4.61).

Diferențe semnificative din punct de vedere statistic, între grupul primelor variante (B1H, B2H) și B3H, în ceea ce privește valoarea înălțimii spanacului, au fost consemnate după 19 zile de la începerea experimentului (fig. 4.61).

Astfel, putem menționa faptul că aplicarea unei densități de cultură a spanacului de 39 plante/m² influențează semnificativ ritmul de evoluție a înălțimii acestuia încă din prima parte a perioadei experimentale, comparativ cu variantele unde o densitate de cultură de 48 plante/m², respectiv 59 plante/m² au fost testate.

Din analiza histogramelor de distribuție a valorilor înălțimii spanacului din cadrul triplicatului variantei B2H (fig. A.63, fig. A.64, fig. A.65 – anexe, secțiunea 1), se observă o curbă de distribuție boltită, cu valorile grupate la intervale apropiate, în jurul mediei.

Este necesar a fi punctat gradul inferior de disipare a valorilor consemnate la finalul perioadei experimentale în cazul B3H, comparativ cu B1H și B2H.

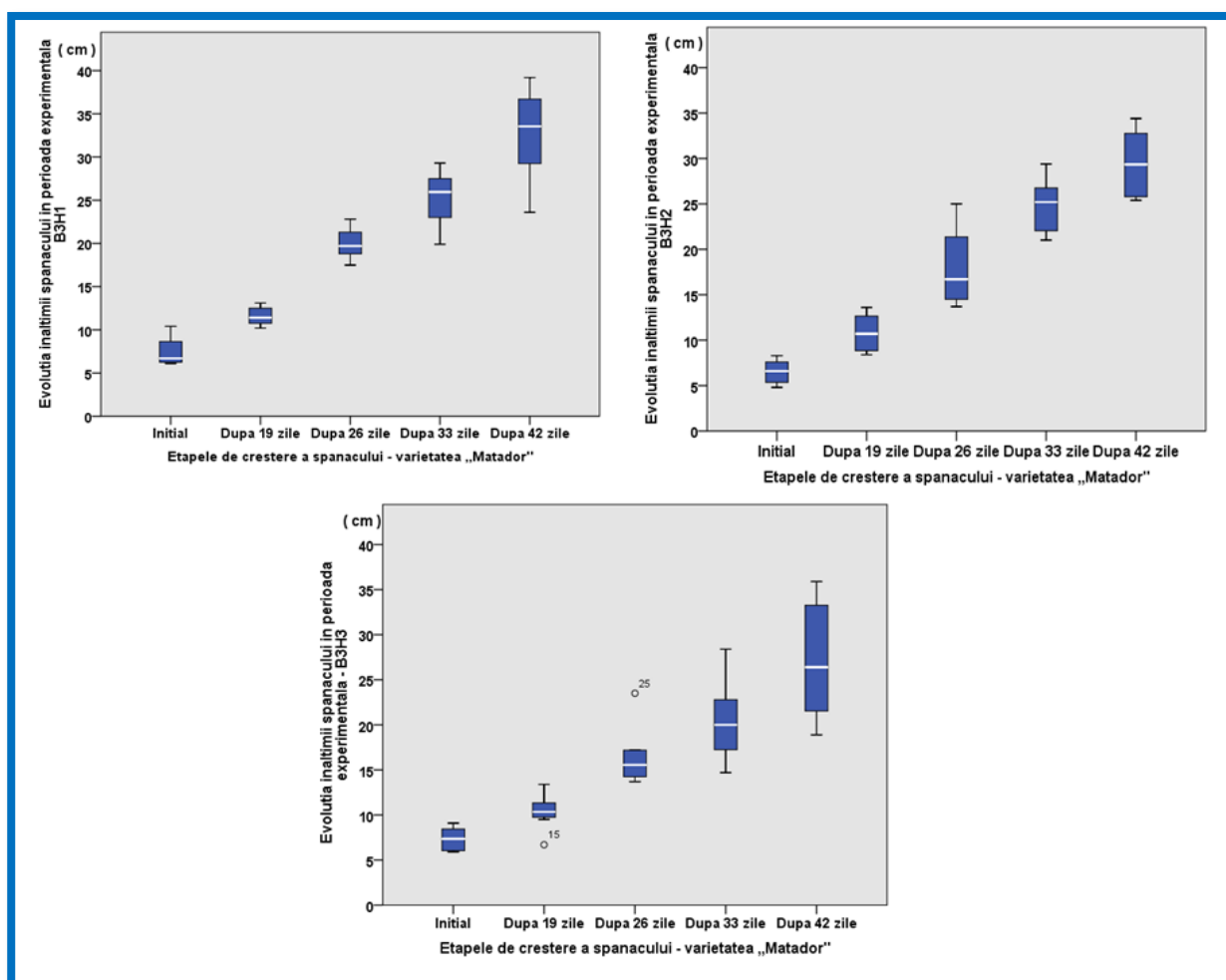


Fig. 4.61. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul triplicatului variantei B3H, de-a lungul perioadei experimentale

Sintetizând cele descrise anterior, se disting diferențe semnificative între valorile finale ale înălțimii spanacului cultivat utilizând tehnici acvaponice de cultură în substrat LECA, în condițiile aplicării a trei densități de cultură (59; 48 și 39 plante/m²).



Fig. 4.62: Măsurători biometrice intermediare și finale și cântărirea finală a biomasei de spanac (foto original)

Masa inițială totală a spanacului a consemnat următoarele valori, pe triplicat: B1H (B1H1 – 9,5g, cu o medie de $0,79 \pm 0,46$ g; B1H2 – 9,65g, cu o medie de $0,8 \pm 0,43$ g; B1H3 – 9,31g, cu o medie de $0,78 \pm 0,33$ g); B2H (B2H1 – 6,85g, cu o medie de $0,69 \pm 0,27$ g; B2H2 –

6,87g, cu o medie de $0,69 \pm 0,34$ g; B2H3 – 7,25g, cu o medie de $0,73 \pm 0,42$ g) și B3H (B3H1 – 5,48g, cu o medie de $0,69 \pm 0,29$ g; B3H2 – 5,58g, cu o medie de $0,7 \pm 0,23$ g; B3H3 – 5,4g, cu o medie de $0,68 \pm 0,27$ g) (fig. 4.63) [308].

Nu au fost înregistrate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) între variantele experimentale. Distribuția valorilor a fost uniformă, simetrică, în cazul tuturor triplicatelor din cadrul celor trei variante experimentale (fig. 4.64)

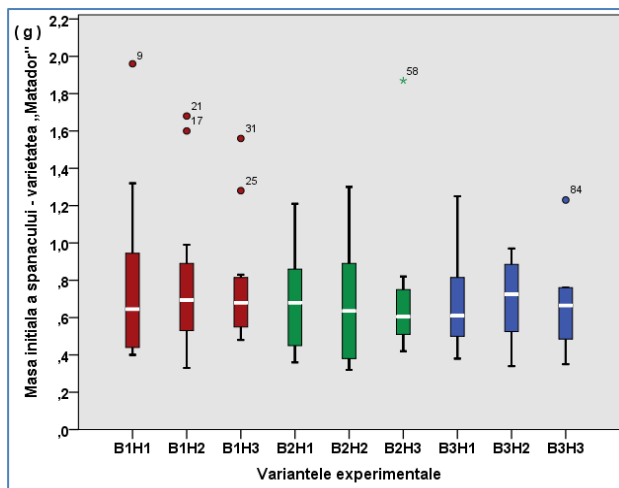


Fig. 4.63. Distribuția valorilor masei inițiale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

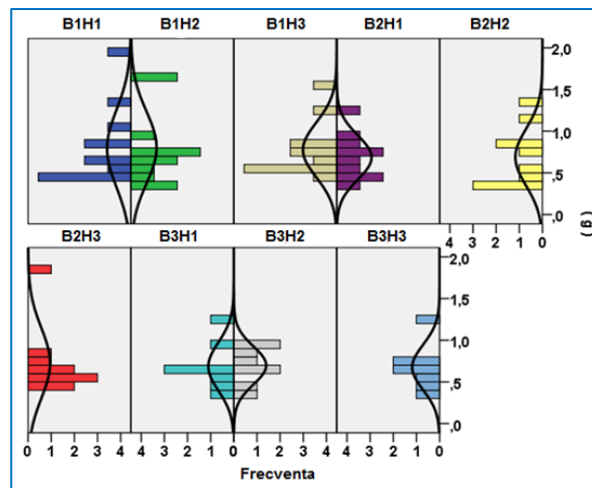


Fig. 4.64. Histogramele distribuției valorilor masei inițiale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

Masa finală totală a spanacului (fig. 4.62) a consemnat următoarele valori, pe triplicat: B1H (B1H1 – 151,03g, cu o medie de $12,59 \pm 2,75$ g; B1H2 – 152,66g, cu o medie de $12,72 \pm 6,33$ g; B1H3 – 156,6g, cu o medie de $13,05 \pm 5,45$ g); B2H (B2H1 – 174,36g, cu o medie de $17,44 \pm 4,25$ g; B2H2 – 179,33g, cu o medie de $17,93 \pm 8,91$ g; B2H3 – 177,48g, cu o medie de $17,75 \pm 6,02$ g) și B3H (B3H1 – 207,55g, cu o medie de $25,94 \pm 6,4$ g; B3H2 – 206,6g, cu o medie de $25,83 \pm 9,78$ g; B3H3 – 203,1g, cu o medie de $25,39 \pm 5,68$ g) (fig. 4.65) [308].

Nu au fost înregistrate diferențe semnificative statistic ($p > 0,05$) între triplicatele aceleiași variante. Comparând cele trei variante experimentale (B1H, B2H și B3H) s-au constatat diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$). În cazul B1H, distribuția valorilor masei spanacului a consemnat o curbă mai boltită, cu multe valori concentrate în jurul mediei și cozi groase, ceea ce înseamnă probabilități ridicate pentru valorile extreme (fig. 4.66). În cazul B3H se consemnează un coeficient de aplatizare superior B2H, fapt ce determină un grad mai mare de disipare a valorilor în jurul mediei (fig. 4.66). Astfel, se constată un ecart de variații între valorile extreme, mai mare în cazul B1H, comparativ cu celelalte două variante experimentale (B2H și B3H).

Următoarele valori medii ale sporului individual de creștere a spanacului au fost consemnate: $11,2 \pm 2,99$ g în cazul B1H; $17,01 \pm 2,47$ g în cazul B2H și $25,03 \pm 2,81$ g în cazul B3H. Diferențele dintre valorile consemnate au fost semnificative statistic ($p < 0,05$). Raportat la suprafața de cultură, în condițiile aplicării celor trei densități de cultivare a spanacului, întregim următoarele valori ale sporului total de creștere: $0,661 \text{ kg/m}^2$ în cazul B1H; $0,816 \text{ kg/m}^2$ în cazul B2H și $0,976 \text{ kg/m}^2$ în cazul B3H.

Se observă o productivitate mai ridicată a spanacului în varianta B3H (39 plante/ m^2), datorită performanțelor net superioare în ceea ce privește creșterea și dezvoltarea biomasei vegetale. Ca atare, aplicarea unor densități de cultură de 48, respectiv 59 plante/ m^2 nu s-a dovedit a fi rentabilă din punct de vedere al creșterii productivității de biomasă vegetală.

Studiile experimentale asemănătoare, din cadrul literaturii de specialitate, consemnează un spor de creștere superior în dreptul biomasei vegetale cultivată utilizând tehnica acvaponică de cultură în substrat, comparativ cu cea obținută prin aplicarea tehnicilor acvaponice DWC (pe sistem flotabil) și NFT (cu film de nutrienți) [125, 126].

Astfel, Lennard și Leonard (2004, 2006) raportează valori medii ale sporului de creștere pentru salata verde obținută în regim acvaponic, prin aplicare tehnici de cultură în substrat de pietriș, cuprinse în ecartul 4,97 – 5,05kg/m² [125, 126].

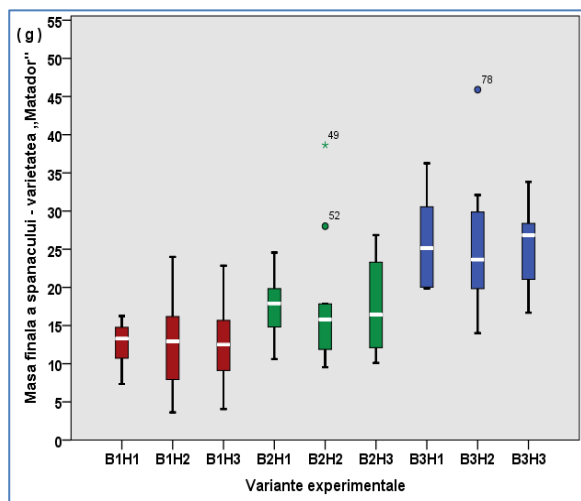


Fig. 4.65. Distribuția valorilor masei finale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

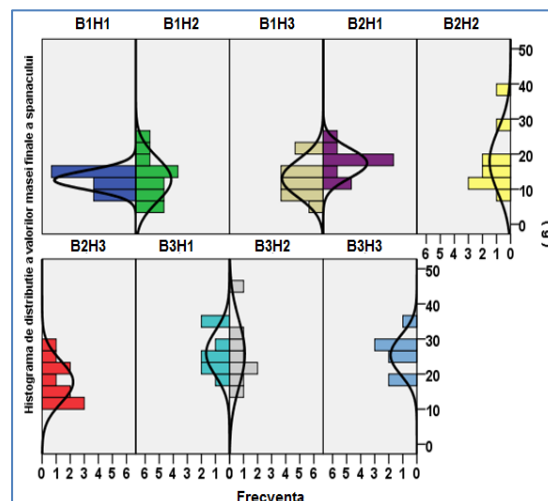


Fig. 4.66. Histogramele distribuției valorilor masei finale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

Suprafața foliară inițială a răsadurilor de spanac, în momentul transplantării acestora, a înregistrat următoarele valori, pe triplicat: B1H (B1H1 – 236,94cm², cu o medie de 19,75cm²; B1H2 – 216,42cm², cu o medie de 18,04cm²; B1H3 – 235,02cm², cu o medie de 19,59cm²); B2H (B2H1 – 207,4cm², cu o medie de 20,74cm²; B2H2 – 236,37cm², cu o medie de 23,64cm²; B2H3 – 204,03cm², cu o medie de 20,4cm²) și B3H (B3H1 – 157,98cm², cu o medie de 19,75cm²; B3H2 – 136,11cm², cu o medie de 17,01cm²; B3H3 – 149,61cm², cu o medie de 18,7cm²) (fig. 4.67). Nu au fost înregistrate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) între variantele experimentale.

Distribuția valorilor suprafeței foliare inițiale în cazul variantei B2H consemnează un coeficient de aplatizare ridicat, comparativ cu celelalte două variante experimentale (fig. 4.68).

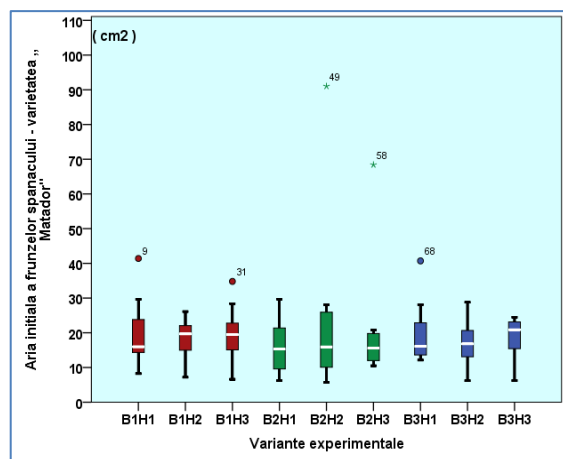


Fig. 4.67. Distribuția valorilor suprafeței foliare inițiale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

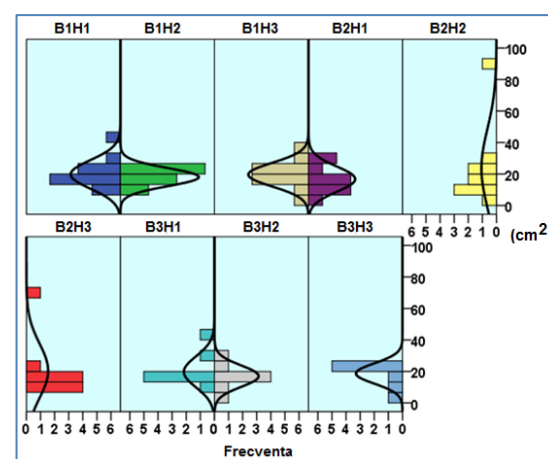


Fig. 4.68. Histogramele distribuției valorilor suprafeței foliare inițiale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante

Suprafața foliară finală a înregistrat următoarele valori, pe triplicat: B1H (B1H1 – 7237,5cm², cu o medie de 603,13±193,57cm²; B1H2 – 7500,15cm², cu o medie de 625,01±304,92cm²; B1H3 – 8096,85cm², cu o medie de 674,74±254,62cm²); B2H (B2H1 – 9428,74cm², cu o medie de 942,87±550,4cm²; B2H2 – 9735,44cm², cu o medie de 973,54±525,3cm²; B2H3 – 9415,03cm², cu o medie de 941,5±578,32cm²) și B3H (B3H1 – 9916,88cm², cu o medie de 1239,61±378,43cm²; B3H2 – 10279,23cm², cu o medie de 1284,9±534,47cm²; B3H3 – 9914,28cm², cu o medie de 1239,29±607,2cm²) (fig. 4.69).

Au fost consemnate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între cele trei variante experimentale. Nu au fost înregistrate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) între triplicatul fiecărei variante experimentale.

Distribuția valorilor suprafeței foliare finale în cazul B1H este boltită, cu majoritatea valorilor grupate în jurul mediei și ca atare, probabilitate ridicată pentru valori extreme (fig. 4.70). Acest fapt este rezultatul stresului provocat de densitatea mare de cultură a spanacului, fapt ce a limitat sau chiar a inhibat absorbția de nutrienți a unor indivizi, componenți ai biomasei vegetale în cauză.

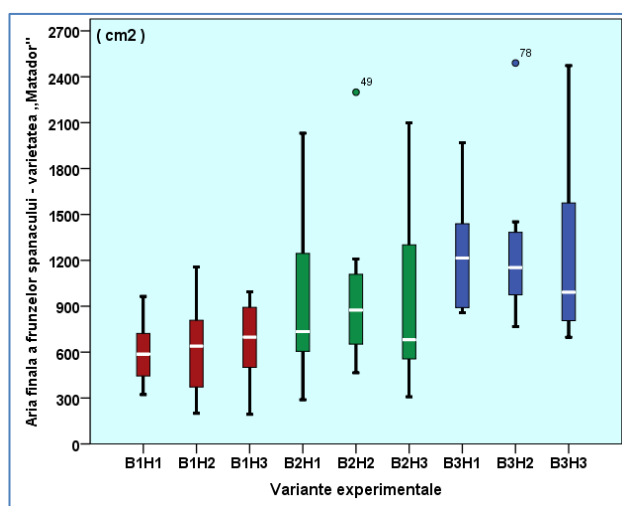


Fig. 4.69. Distribuția valorilor suprafeței foliare finale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

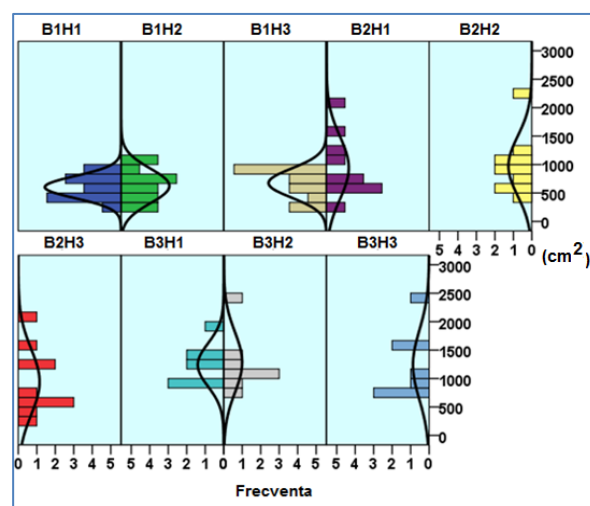


Fig. 4.70. Histogramele distribuției valorilor suprafeței foliare finale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante

Rata relativă de creștere (RGR) este un indicator esențial în analiza performanței de creștere a biomasei vegetale.

Valorile medii individuale (numerice și procentuale) ale ratei relative de creștere (RGR), consemnate în cazul celor trei variante experimentale, sunt următoarele: B1H (B1H1: 0,037g/g/zi, ceea ce înseamnă 24,29%/zi din substanța uscată inițială a răsadurilor de spanac, consemnată în momentul inițial; B1H2: 0,035g/g/zi și 23,29%/zi; B1H3: 0,036g/g/zi și 21,49%/zi); B2H (B2H1: 0,04g/g/zi și 35,72%/zi; B2H2: 0,04g/g/zi și 39,17%/zi; B2H3: 0,04g/g/zi și 34,75%/zi) și B3H (B3H1: 0,042g/g/zi și 56,82%/zi; B3H2: 0,041g/g/zi și 56,62%/zi; B3H3: 0,042g/g/zi și 56,58%/zi) (fig. 4.71) [308].

Diferențele dintre prima variantă (B1H) și celelalte două variante experimentale (B2H și B3H) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Legat de distribuția valorilor RGR, se observă un grad de dispersie mai mare în cazul primei variante experimentale (B1H), comparativ cu celelalte două variante, fapt ce denotă un ecart de variație superior între valorile extreme (fig. 4.71).

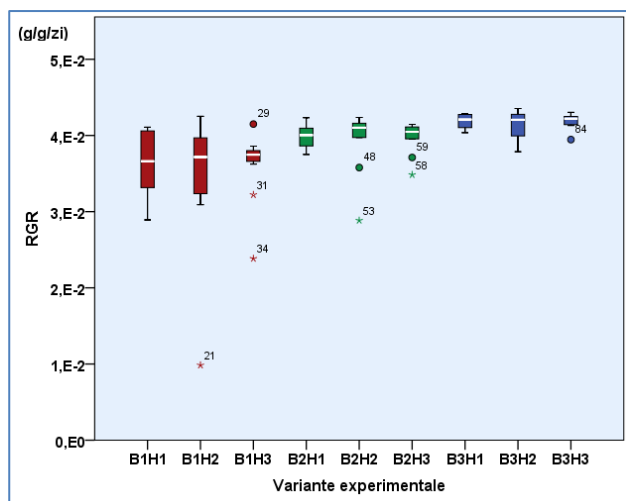


Fig. 4.71. Distribuția valorilor ratei relative de creștere (RGR) a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

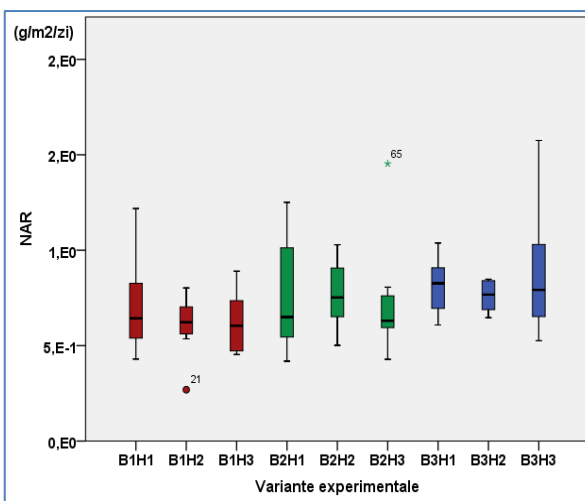


Fig. 4.72. Distribuția valorilor ratei nete de asimilare (NAR) a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

Rata netă de asimilare (NAR) a spanacului este calculată în scopul evaluării eficienței fotosintetice a plantelor. Astfel, așa cum a fost precizat anterior (CAPITOLUL III, secțiunea 3.3.4, paragraful „rata netă de asimilare”), NAR-ul este în corelație directă cu rata relativă de creștere și cu ponderea suprafeței foliare. Valorile medii individuale ale ratei nete de asimilare (NAR), consemnate în cazul celor trei variante experimentale, sunt următoarele: B1H (B1H1: $0,7 \pm 0,23 \text{ g/m}^2 \text{ suprafață foliară (SF)/zi}$; B1H2: $0,62 \pm 0,14 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$; B1H3: $0,63 \pm 0,16 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$); B2H (B2H1: $0,75 \pm 0,27 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$; B2H2: $0,75 \pm 0,17 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$; B2H3: $0,73 \pm 0,28 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$) și B3H (B3H1: $0,81 \pm 0,14 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$; B3H2: $0,79 \pm 0,08 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$; B3H3: $0,88 \pm 0,21 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$) (fig. 4.72) [308].

Diferențele dintre cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). În cazul B2H, se observă o tendință slab proeminentă a curbei de distribuție de înclinare spre stânga, păstrând însă simetria dintre valorile extreme (fig. 4.72).

În cazul B2H și B3H, valorile mai ridicate ale NAR, colaborate cu cele mai mici consemnate în dreptul LAR-ului (fig. 4.73) denotă o acumulare de substanță uscată la nivelul biomasei foliare a spanacului.

Din analiza **ponderii medii a suprafeței foliare (LAR mediu)** se poate estima gradul de productivitate al biomasei vegetale și de asemenea, efectul condițiilor mediale asupra dezvoltării acesteia. Valorile medii individuale ale LAR mediu, consemnate în cazul celor trei variante experimentale, sunt următoarele: B1H (B1H1: $393,94 \pm 81,18 \text{ cm}^2 \text{ suprafață foliară (SF)/g}$; B1H2: $398,42 \pm 58,01 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$; B1H3: $409,11 \pm 81,89 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$); B2H (B2H1: $400,39 \pm 110,14 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$; B2H2: $406,17 \pm 154,82 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$; B2H3: $408,32 \pm 80,52 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$) și B3H (B3H1: $374,69 \pm 50,45 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$; B3H2: $369,65 \pm 32,02 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$; B3H3: $373,35 \pm 87,86 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$) (fig. 4.73) [308].

Diferențele dintre primele două variante experimentale (B1H, B2H) și a treia variantă B3H sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Se constată un grad mai mic de disipare a valorilor în jurul mediei în cazul B3H, în timp ce pentru B1H se observă o simetrie a valorilor extreme față de medie (fig. 4.73).

Din analiza valorilor ponderii medii a suprafeței foliare, colaborate cu suprafața foliară consemnată în cadrul fiecărei variante experimentale, se poate concluziona o grosime mai mare a frunzelor de spanac în varianta B3H, comparativ cu B1H și B2H. Acest lucru relevă o acumulare uniformă a nutrienților generată de buna funcționare a proceselor de fotosinteză și respirație a plantelor, consecință directă a densității de cultură practicate (39 plante/ m^2).

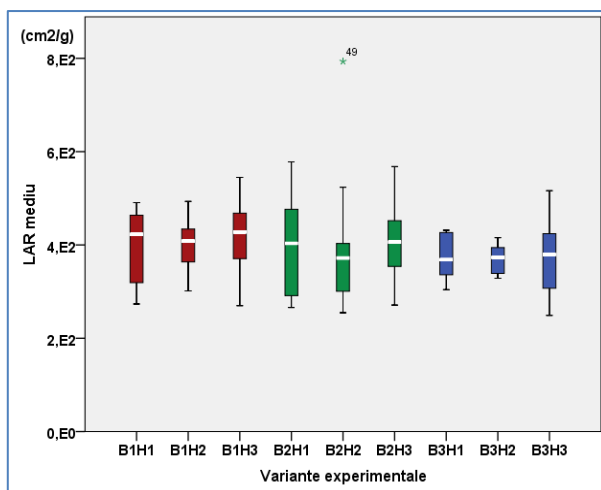


Fig. 4.73. Distribuția valorilor ponderii medii a suprafeței foliare a spanacului în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

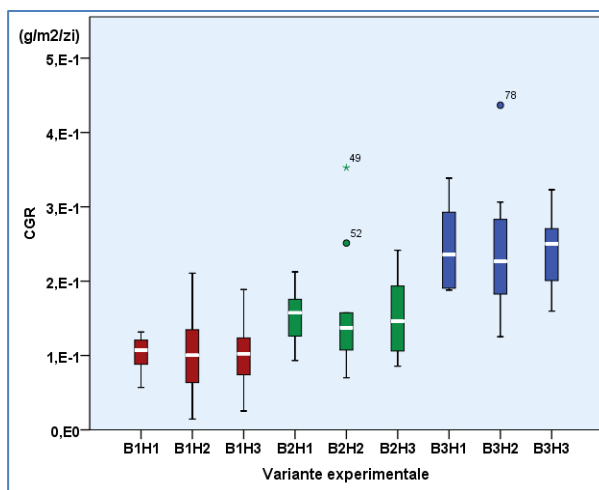


Fig. 4.74. Distribuția valorilor ratei de creștere a spanacului (CGR), în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

Rata de creștere a spanacului (CGR) corelează sporul zilnic de creștere al biomasei de spanac cu suprafața substratului de cultură LECA, pe un anumit segment de timp. Astfel, au fost înregistrate următoarele valori medii ale CGR, în cadrul triplicatului celor trei variante experimentale: B1H (B1H1: $0,102 \pm 0,02 \text{ g/m}^2/\text{zi}$; B1H2: $0,103 \pm 0,05 \text{ g/m}^2/\text{zi}$; B1H3: $0,106 \pm 0,047 \text{ g/m}^2/\text{zi}$); B2H (B2H1: $0,154 \pm 0,04 \text{ g/m}^2/\text{zi}$; B2H2: $0,159 \pm 0,08 \text{ g/m}^2/\text{zi}$; B2H3: $0,156 \pm 0,053 \text{ g/m}^2/\text{zi}$); B3H (B3H1: $0,246 \pm 0,06 \text{ g/m}^2/\text{zi}$; B3H2: $0,243 \pm 0,09 \text{ g/m}^2/\text{zi}$; B3H3: $0,241 \pm 0,054 \text{ g/m}^2/\text{zi}$) (fig.4.74) [308]. Diferențele dintre variantele experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

În ceea ce privește distribuția datelor legate de rata de creștere a spanacului, în cazul B3H se observă un grad mai ridicat de dispersie al acestora în jurul mediei (fig. 4.74). O simetrie a valorilor CGR în jurul mediei se constată în cazul B1H (fig. 4.74).

Indicele suprafeței foliare (LAI) redă o imagine a dinamicii creșterii suprafeței foliare, raportată la suprafața substratului de creștere LECA (fig. 4.75).



Fig. 4.75. Dinamica creșterii suprafeței foliare de-a lungul perioadei experimentale (foto original)

Astfel, au fost consemnate următoarele valori finale ale LAI (total și mediu), pe triplicat: B1H (B1H1: $3,56 \text{ m}^2$ suprafață foliară (SF)/ m^2 , cu media $0,3 \pm 0,09 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$; B1H2: $3,69 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$, cu media $0,31 \pm 0,15 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$; B1H3: $3,58 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$, cu media $0,29 \pm 0,07 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$); B2H (B2H1: $4,69 \text{ m}^2 \text{ (SF)/m}^2$, cu media $0,47 \pm 0,25 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$; B2H2: $4,75 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$, cu media $0,48 \pm 0,26 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$; B2H3: $4,79 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$, cu media $0,48 \pm 0,27 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$) și B3H (B3H1: $4,89 \text{ m}^2 \text{ (SF)/m}^2$, cu media $0,61 \pm 0,18 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$; B3H2: $5,06 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$, cu media $0,63 \pm 0,27 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$; B3H3: $4,88 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$, cu media $0,61 \pm 0,3 \text{ m}^2 \text{ SF/m}^2$) (fig. 4.76 și fig. 4.77) [308].

Diferențele dintre cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

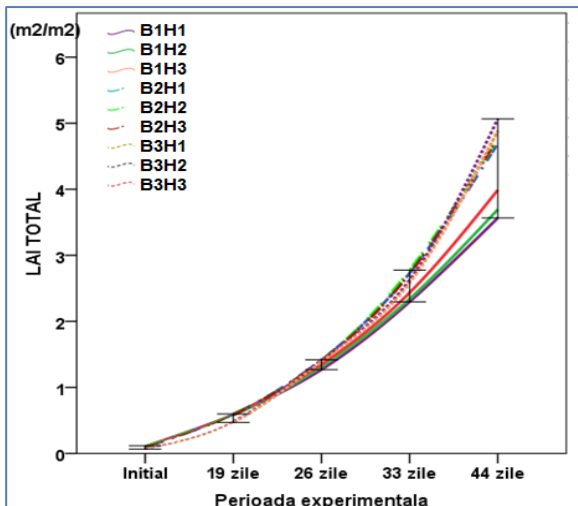


Fig. 4.76. Evoluția indicelui total al suprafeței foliare (LAI) în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

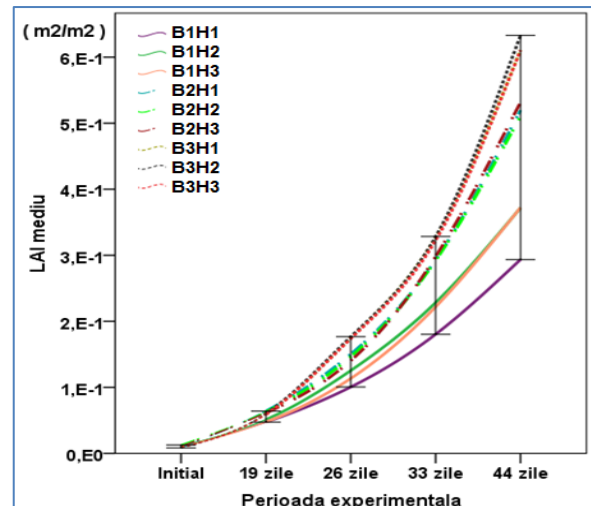


Fig. 4.77. Evoluția indicelui mediu al suprafeței foliare (LAI) în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

Se observă o evoluție puternic ascendentă a LAI mediu în cazul B2H și B3H, acestea fiind foarte apropiate pe parcursul evoluției lor, în special până la 33 zile de la începerea experimentului (fig. 4.77).

În ceea ce privește LAI total, prima variantă experimentală compensează din deficit datorită densității mai mari de cultivare a spanacului care a fost aplicată în cazul acesteia (59 plante/m²) (fig. 4.76).

Raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S) este un indicator folosit în vederea evaluării stării de sănătate a plantelor [258]. Acesta a fost calculat la sfârșitul perioadei experimentale (fig. 4.79) și a indicat următoarele valori medii: B1H (B1H1 – 0,09; B1H2 – 0,1; B1H3 – 0,08); B2H (B2H1 – 0,11; B2H2 – 0,11; B2H3 – 0,12) și B3H (B3H1 – 0,14; B3H2 – 0,13; B3H3 – 0,13) (fig. 4.78) [308].

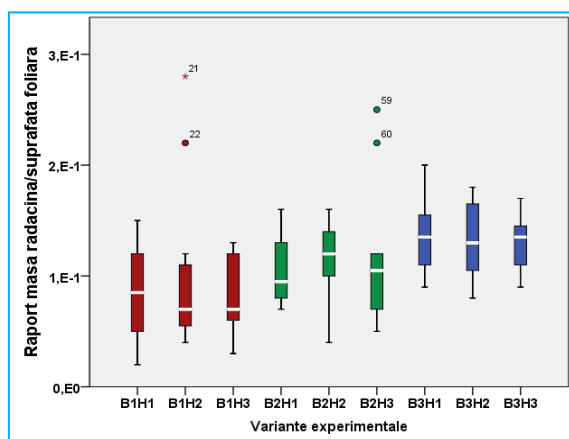


Fig. 4.78. Distribuția valorilor raportului masic rădăcină/suprafață foliară (R/S), în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

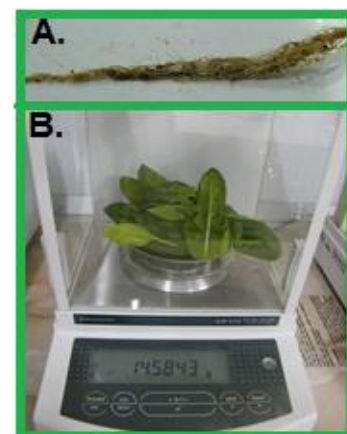


Fig. 4.79. Determinarea raportului masic A. rădăcină/ B. suprafață foliară (R/S)

Sunt consemnate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între variantele B1H și B3H. Se observă o distribuție simetrică a valorilor R/S în jurul mediei în cazul B3H, în timp ce pentru varianta B1H se consemnează cel mai mare interval de dispersie al acestora (fig. 4.78). Valoarea superioară consemnată pentru B3H indică o stare de sănătate a spanacului mai bună, comparativ cu biomasa vegetală din cadrul celorlalte două variante experimentale.

Astfel, se constată o influență directă a densității de cultură asupra stării de sănătate a biomasei de spanac cultivat în condiții acvaponice, utilizând tehnica acvaponică în substrat LECA. Această constatare este întărită de asemenea, de rezultatele celorlalți indicatori prezentați anterior, în cadrul prezentului subcapitol.

4.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole

Calitatea biomasei vegetale, obținută în condiții acvaponice de cultură, este un aspect ce trebuie evaluat în vederea determinării potențialului de comercializare al acesteia. La nivel mondial, concentrațiile de nitriți și nitrați din producția vegetală depășesc în mod frecvent nivelul maxim admis pentru consumul adulților și în special cel al copiilor.

Astfel, plantele cultivate în regim acvaponic sunt mult mai predispuse unor concentrații mari de nitriți și nitrați, dat fiind calitatea apei tehnologice provenite din acvacultură, ridicând astfel probleme legate de biosecuritatea alimentară. Aspecte referitoare la această problemă sunt descrise și în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.5.

Studii științifice de specialitate consemnează o rată de absorbție superioară a nitraților, pentru plantele cultivate utilizând tehnica acvaponică pe substrat de creștere, comparativ cu cele obținute prin aplicarea tehnicilor DWC și NFT [125, 126]. Ca atare, în cazul acestor plante, posibilitatea înmagazinării unor concentrații foarte ridicate de nitriți și nitrați la nivelul biomasei foliare, dar și a celei radiculare, este însemnată. De asemenea, posibilitatea inhibării absorbției unor anumite macro sau microelemente poate genera probleme legate de calitatea biomasei vegetale provenite din acvaponie.

În cadrul prezentului experiment s-au evaluat concentrațiile de nitriți și nitrați ale biomasei de spanac, obținută prin utilizarea tehnicilor acvaponice pe substrat de creștere tip LECA. Concentrațiile obținute au fost comparate cu cele aferente spanacului cultivat convențional pe sol, folosite și în studiul comparativ din cadrul capitolului anterior. De asemenea, concentrațiile de nitriți și nitrați din carnea de păstrugă, crescută în cadrul sistemului recirculant integrat prin aplicarea a patru rații de furajare (2,21%BW; 1,85%BW; 1,64%BW și 1,28%BW), au fost evaluate în vederea constatării gradului de conformitate al acestora pentru consumul uman.

Concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară a spanacului au consemnat următoarele valori medii, pe triplicat: B1H (B1H1 – $2,7 \pm 0,31$ mg/kg rădăcină proaspătă (FW); B1H2 – $2,77 \pm 0,37$ mg/kg FW; B1H3 – $2,73 \pm 0,35$ mg/kg FW); B2H (B2H1 – $4,52 \pm 0,21$ mg/kg FW; B2H2 – $4,36 \pm 0,21$ mg/kg FW; B2H3 – $4,44 \pm 0,15$ mg/kg FW) și B3H (B3H1 – $6,42 \pm 0,14$ mg/kg FW; B3H2 – $5,9 \pm 0,11$ mg/kg FW; B3H3 – $6,15 \pm 0,1$ mg/kg FW) (fig. 4.80) [309]. Diferențe statistice semnificative ($p < 0,05$) au fost consemnate între toate cele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: B1H1+B1H2+B1H3; B2H1+B2H2+B2H3; B3H1+B3H2; B3H2+B3H3. Astfel, se observă o creștere a concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului, în raport indirect cu valorile densității de cultivare aplicate.

Este necesar a fi precizat faptul că prezentele valori sunt superioare celor consemnate în cazul biomasei radiculare a spanacului cultivat în condiții convenționale în sol și expuse în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.5, paragraf „concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară a spanacului” ($0,53 \pm 0,073$ mg/kg FW).

Distribuția valorilor din cadrul variantelor experimentale, expusă cu ajutorul diagramelor Q-Q plot (fig. A. 69, fig. A. 70, fig. A. 71 – anexe, secțiunea 1), a reliefat o formă liniară și simetrică în cazul B3H, cu grad mic de disipare a valorilor în jurul mediei. În cazul B1H și B2H se observă un grad mare de disipare a valorilor în jurul mediei, cu o probabilitate ridicată pentru valori extreme de minim, consemnată în cazul primei variante experimentale.

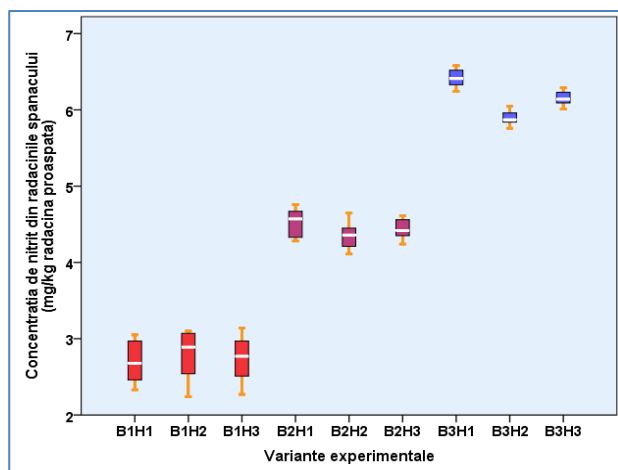


Fig. 4.80. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului

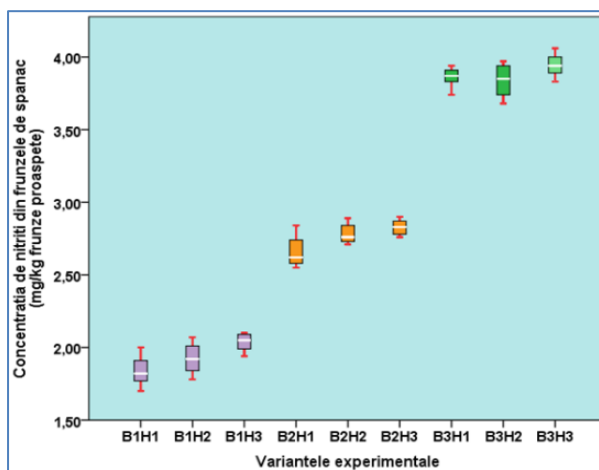


Fig. 4.81. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a spanacului

Concentrațiile de nitriți din biomasa foliară a spanacului au consemnat următoarele valori medii, pe triplicat: B1H (B1H1 – $1,84 \pm 0,11$ mg/kg frunze proaspăt (FW); B1H2 – $1,92 \pm 0,12$ mg/kg FW; B1H3 – $2,03 \pm 0,07$ mg/kg FW); B2H (B2H1 – $2,66 \pm 0,12$ mg/kg FW; B2H2 – $2,79 \pm 0,08$ mg/kg FW; B2H3 – $2,83 \pm 0,06$ mg/kg FW) și B3H (B3H1 – $3,86 \pm 0,07$ mg/kg FW; B3H2 – $3,84 \pm 0,13$ mg/kg FW; B3H3 – $3,94 \pm 0,09$ mg/kg FW) (fig. 4.81) [309].

Diferențe statistice semnificative ($p < 0,05$) au fost consemnate între toate cele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H1+B1H2+B1H3; B2H1+B2H2+B2H3; B3H1+B3H2+B3H3. Prezentele valori sunt superioare celor consemnate în cazul biomasei foliare a spanacului cultivat în condiții convenționale în sol și expuse în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.5, paragraf „concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară a spanacului” ($0,93 \pm 0,11$ mg/kg FW).

Distribuția valorilor din cadrul variantelor experimentale, expusă cu ajutorul diagramelor Q-Q plot (fig. A. 66, fig. A. 67, fig. A. 68 – anexe, secțiunea 1), a reliefat o formă liniară și simetrică în cazul B3H. În cazul B1H și B2H se observă o diagramă a distribuției cu înclinație spre stânga și probabilitate ridicată pentru valori extreme, în special în partea dreaptă a medianei acesteia.

Valorile consemnate în ceea ce privește concentrația de nitriți din biomasa foliară a spanacului obținut în regim acvaponic, prin aplicarea tehnicii de cultură în substrat LECA, se încadrează în ecartul raportat de Muresan și colab. (2012) și Ayaz și colab., (2007) [271, 273]. De asemenea, aceasta a înregistrat valori superioare celor raportate în cadrul altor publicații științifice de specialitate [269, 274], descrise pe larg în cadrul CAPITOLULUI III, tabel 3.4.

Concentrațiile de nitrați din biomasa radiculară a spanacului au consemnat următoarele valori medii, pe triplicat: B1H (B1H1 – $2549 \pm 94,44$ mg/kg rădăcină proaspătă (FW); B1H2 – $2311,17 \pm 136,36$ mg/kg FW; B1H3 – $2489,06 \pm 91,6$ mg/kg FW); B2H (B2H1 – $3786,45 \pm 110,39$ mg/kg FW; B2H2 – $3816,06 \pm 118,51$ mg/kg FW; B2H3 – $3962,54 \pm 70,09$ mg/kg FW) și B3H (B3H1 – $4861,91 \pm 106,45$ mg/kg FW; B3H2 – $5162,54 \pm 83,07$ mg/kg FW; B3H3 – $5024,88 \pm 97,86$ mg/kg FW) (fig. 4.82) [309]. Diferențe statistice semnificative ($p < 0,05$) au fost consemnate între toate cele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în cinci subseturi omogene astfel: B1H1+B1H2; B1H2+B1H3; B2H1+B2H2+B2H3; B3H1+B3H2; B3H2+B3H3.

Distribuția valorilor din cadrul variantelor experimentale, expusă cu ajutorul diagramelor Q-Q plot (fig. A. 75, fig. A. 76, fig. A. 77 – anexe, secțiunea 1), prezintă o formă liniară, o ușoară înclinație spre stânga a curbei de distribuție în cazul B1H, în timp ce în cazul B2H se

înregistrează un coeficient de aplatizare mai mare, fapt ce determină o probabilitate mai ridicată pentru apariția valorilor extreme.

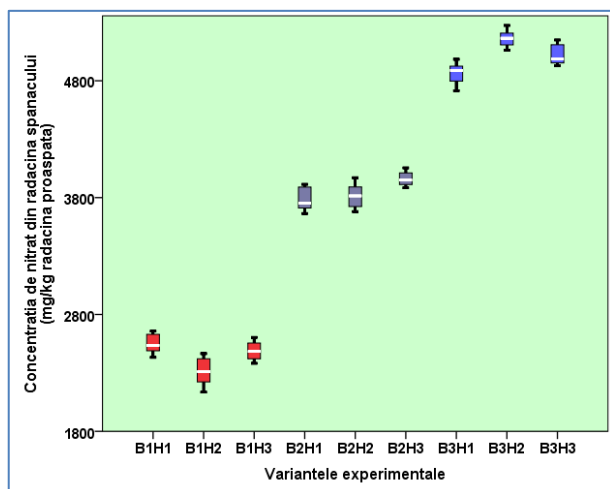


Fig. 4.82. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a spanacului

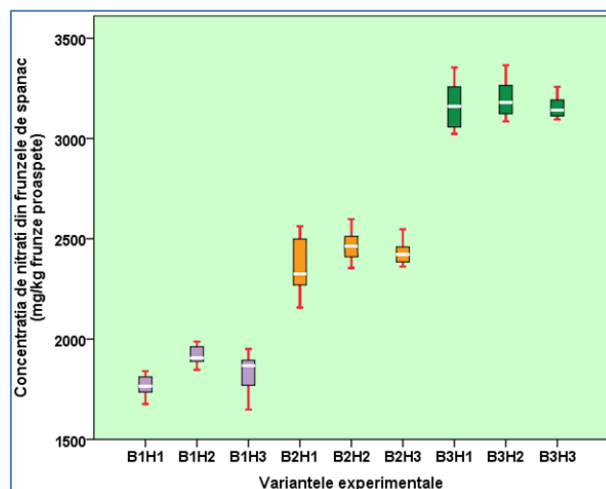


Fig. 4.83. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a spanacului

Concentrațiile de nitrați din biomasa foliară a spanacului au consemnat următoarele valori medii, pe triplicat: B1H (B1H1 – $1765,72 \pm 64,45$ mg/kg frunze proaspete (FW); B1H2 – $1918,31 \pm 56,43$ mg/kg FW; B1H3 – $1826,11 \pm 118,88$ mg/kg FW); B2H (B2H1 – $2362,66 \pm 166,28$ mg/kg FW; B2H2 – $2474,68 \pm 94,63$ mg/kg FW; B2H3 – $2434,82 \pm 73,31$ mg/kg FW) și B3H (B3H1 – $3158,3 \pm 141,7$ mg/kg FW; B3H2 – $3199,75 \pm 114,54$ mg/kg FW; B3H3 – $3159,93 \pm 65,87$ mg/kg FW) (fig. 4.83) [309]. Diferențe statistice semnificative ($p < 0,05$) au fost consemnate între toate cele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H). Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene astfel: B1H1+B1H2+B1H3; B2H1+B2H2+B2H3; B3H1+B3H2+B3H3.

Distribuția valorilor din cadrul variantelor experimentale, expusă cu ajutorul diagramelor Q-Q plot (fig. A. 72, fig. A. 73, fig. A. 74 – anexe, secțiunea 1), prezintă o ușoară înclinație spre stânga a curbei de distribuție în cazul B1H și B2H, ceea ce determină o creștere a probabilității în ceea ce privește apariția valorilor extreme de minim. În cazul B3H se înregistrează un coeficient de aplatizare mai mare și o ușoară înclinație spre dreapta a curbei de distribuție, fapt ce determină o probabilitate mai ridicată pentru apariția valorilor extreme de maxim.

Valorile consemnate în ceea ce privește concentrația de nitrați din biomasa foliară a spanacului obținut în regim acvaponic, prin aplicarea tehnicii de cultură în substrat LECA, sunt asemănătoare celor raportate de Korus și colab. (2009), Feng și colab., (2006), WHO (2003), Jaworska și colab. (2005), Ministry of Agriculture, Fisheries and Food UK (2001), van der Schee și colab. (2000), Jaworska și colab. (1999), Petersen și colab. (1999), Santamaria și colab. (1999), Ysart și colab. (1999), MAFF (1998) și Sumiko și colab. (1993) [280, 282, 284, 269, 286, 287, 274, 275, 288, 289, 276, 277], prezentate în cadrul tabelul 3.5. din cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.5.

Pentru a măsura intensitatea corelației, din punct de vedere statistic, între concentrația de nitriți și cea de nitrați din biomasa radiculară a spanacului cultivat în cadrul celor trei variante experimentale, s-a folosit coeficientul de corelație Pearson. Astfel, s-au obținut următoarele valori ale coeficientului de corelație: 0,22 în cazul B1H; 0,506 în cazul B2H și 0,295 pentru B3H. În ceea ce privește corelația între concentrația de nitriți și cea de nitrați din biomasa foliară, au fost obținute corelații semnificative în cazul B3H, fapt ce a generat următorul model de regresie liniară simplă:

■ **B3H:** $NO_3 \text{ rădăcină} = 7864,682 - 462,777 NO_2 \text{ rădăcină}$, ($r^2 \text{ liniar} = 0,54$), (fig. 4.84) [309].

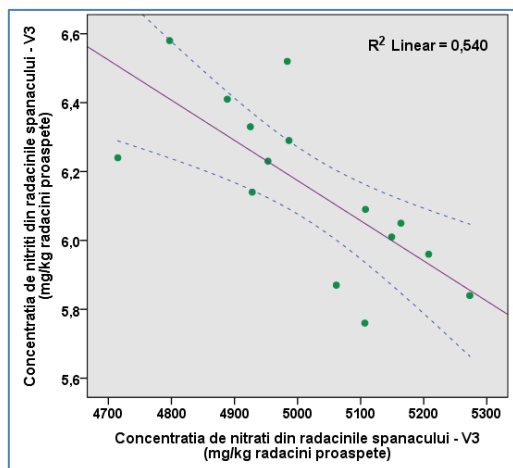


Fig. 4.84. Dependența liniară între concentrația de nitrați și cea de nitriți, manifestată la nivelul biomasei radiculare din B3H

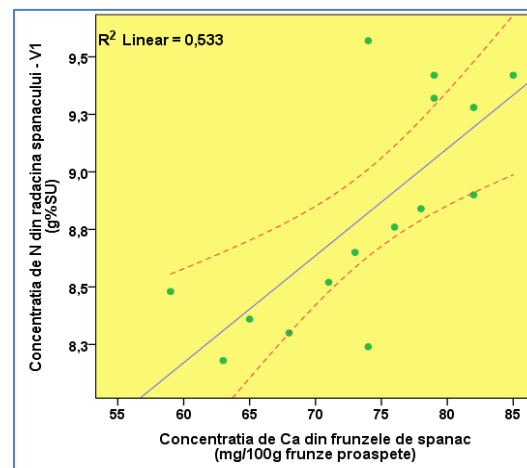


Fig. 4.85. Dependența liniară între concentrația de calciu din frunze și cea de TKN din rădăcină, manifestată la nivelul B1H

Alte modele de regresie liniară simplă obținute în cazul variantelor experimentale, luând în considerare toate analizele chimice efectuate în cadrul prezentului capitol, au fost următoarele:

- **B1H:** $Ca = 11,453 \text{ TKN rădăcină} - 27,104$, (r^2 liniar=0,533), (fig. 4.85);
- **B1H:** $NO_2 \text{ frunze} = 0,627 \text{ TKN frunze} - 0,922$, (r^2 liniar=0,437), (fig. 4.86);
- **B2H:** $Ca = 0,029 NO_3 \text{ rădăcină} + 3668$, (r^2 liniar=0,409), (fig. 4.87);
- **B2H:** $NO_2 \text{ frunze} = 0,291 \text{ TKN rădăcină} - 0,049$, (r^2 liniar=0,458), (fig. 4.88);
- **B3H:** $NO_3 \text{ rădăcină} = 7511,886 - 226,68 \text{ TKN rădăcină}$, (r^2 liniar=0,46), (fig. 4.89).

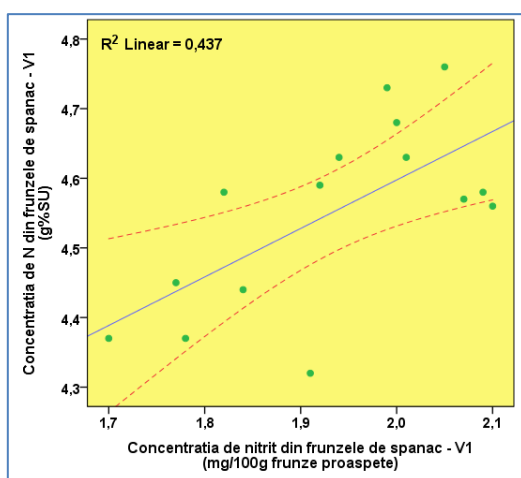


Fig. 4.86. Dependența liniară între concentrația de nitriți și cea de TKN, manifestată la nivelul biomasei foliare din B1H

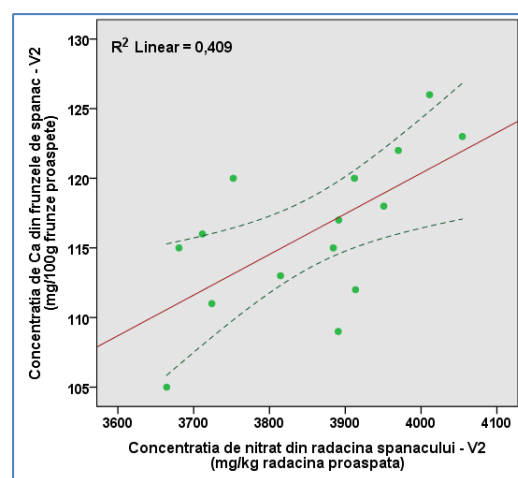


Fig. 4.87. Dependența liniară între concentrația de calciu din frunze și cea de nitrați din rădăcină, manifestată la nivelul B2H

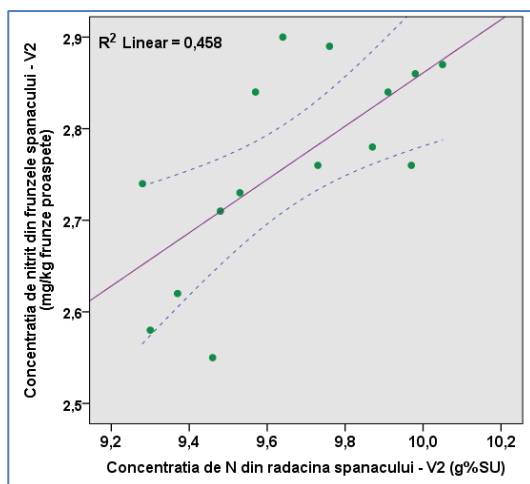


Fig. 4.88. Dependența liniară între concentrația de nitriți din frunze și cea de TKN din rădăcină, manifestată la nivelul biomasei vegetale din B2H

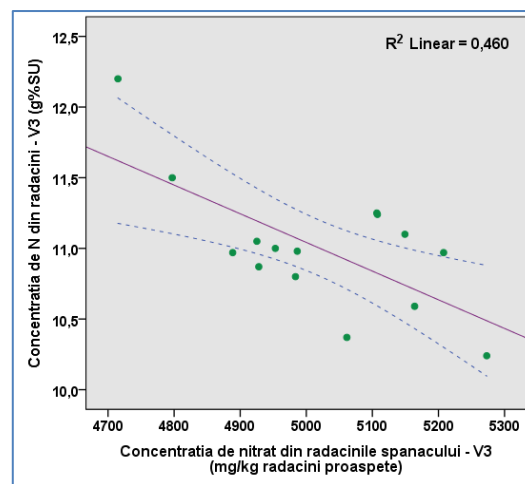


Fig. 4.89. Dependența liniară între concentrația de nitrați și cea de TKN, manifestată la nivelul biomasei radiculare din B3H

Concentrația de nitrați consemnată la nivelul biomasei foliare a spanacului obținut în primele două variante experimentale (B1H și B2H) nu a depășit limita maximă admisă de legislația în vigoare în vederea consumului uman (adult), prezentată în tabelul 3.6 din cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.5. Astfel, cu toate că biomasa de spanac din cadrul variantei experimentale B3H a înregistrat cele mai bune performanțe în ceea ce privește creșterea și dezvoltare, fapt reliefat în cadrul prezentului capitol, secțiunea 4.3.4, acesta nu poate fi comercializată în vederea consumului uman datorită nivelului ridicat al concentrației de nitrați din frunze. Ca atare, folosirea unei densități de cultură a spanacului de 39 plante/m², în condițiile tehnice și tehnologice ale prezentului experiment, nu este recomandată a fi aplicată în condițiile unui obiectiv inițial stabilit de comercializare a biomasei vegetale obținute, în scopul consumului uman.

De asemenea, biomasa de spanac din cele trei variante experimentale, obținută în cadrul prezentului experiment, nu îndeplinește normele de securitate alimentară în vederea consumului acesteia de către copiii de până în 12 ani (maxim 250mg/kg FW), fapt prevăzut în cadrul Ordinului 438/2002 – Ord. MAPAM438 [294]. Spanacul din cadrul primelor două variante experimentale (B1H și B2H) poate fi comercializat pentru consumul uman (adult), acesta îndeplinind normele de securitate în ceea ce privește concentrațiile de nitriți și nitrați

Concentrațiile de nitriți și nitrați din carnea de păstrugă, în condițiile aplicării a patru rații zilnice de furajare (F1 – 2,21% BW; F2 – 1,85% BW; F3 – 1,64% BW și F4 – 1,28% BW), a fost evaluată atât în perioada inițială, la începutul perioadei experimentale, cât și la sfârșitul acesteia. Analizele au fost realizate pe un grup de cinci exemplare din cadrul fiecărei variante experimentale.

Astfel, au fost consemnate următoarele valori medii ale concentrației de nitriți din carnea de păstrugă: 0,21±0,04mg/kg carne de pește în momentul inițial (înainte de începerea perioadei experimentale); 0,41±0,03mg/kg carne de pește în cazul F1; 0,36±0,02mg/kg carne de pește în cazul F2; 0,22±0,02mg/kg carne de pește în cazul F3 și 0,18±0,02mg/kg carne de pește în cazul F4 (fig. 4.90) [309].

Diferențele dintre grupul format din primele două variante experimentale (F1, F2) și cel format din ultimele două variante experimentale (F3, F4) au fost semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). De asemenea, diferențele dintre concentrația de nitriți consemnată în momentul inițial și cea consemnată la final, în cazul F1 și F2, au fost semnificative statistic ($p < 0,05$).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în două subseturi omogene astfel: Initial+F3+F4; F1+F2. Distribuția valorilor din cadrul variantelor experimentale, expusă cu ajutorul diagramelor Q-Q plot (fig. A. 78, fig. A. 79, fig. A. 80, fig. A. 81, fig. A. 82 – anexe, secțiunea 1), prezintă o ușoară înclinație spre stânga a curbei de distribuție în cazul F1 și F3, ceea ce determină o creștere a probabilității în ceea ce privește apariția valorilor extreme de minim.

Cu referire la valorile de nitriți consemnate în momentul inițial, se înregistrează un coeficient de aplatizare mai mare și o înclinație semnificativă spre dreapta a curbei de distribuție, fapt ce determină o probabilitate mai ridicată pentru apariția valorilor extreme de maxim. În cazul F2 și F4 se constată o distribuție liniară, simetrică. Un grad mare de disipare a valorilor în jurul medianei se observă în cazul F2 (fig. 4.90).

În ceea ce privește concentrația de nitrați din carnea de păstrugă, au fost consemnate următoarele valori medii: $33,41 \pm 3,07 \text{ mg/kg}$ carne de pește în momentul inițial (înainte de începerea perioadei experimentale); $55,47 \pm 3,8 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F1; $46,29 \pm 2,77 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F2; $38,4 \pm 2,64 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F3 și $29,58 \pm 2,91 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F4 (fig. 4.91) [309]. Diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) au fost consemnate între primele trei variante experimentale (F1, F2, F3) și de asemenea, între acestea și concentrația de nitrați consemnată în momentul inițial. Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene astfel: Inițial+F4; F1; F2; F3+F4.

Distribuția valorilor din cadrul variantelor experimentale, expusă cu ajutorul diagramelor Q-Q plot (fig. A. 83, fig. A. 84, fig. A. 85, fig. A. 86, fig. A. 87 – anexe, secțiunea 1), prezintă o ușoară înclinație spre stânga a curbei de distribuție în cazul F2 și F3 în timp ce, în cazul celorlalte variante experimentale se înregistrează o distribuție normală. Un grad mare de disipare a valorilor se întâlnește în cazul valorilor consemnate inițial, înainte de începerea experimentului (fig. 4.91).

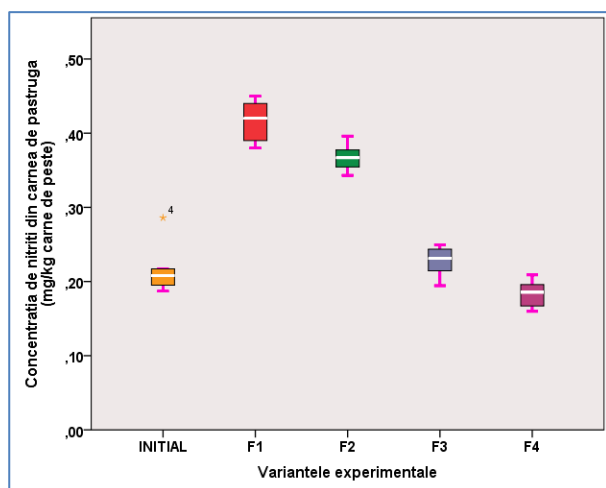


Fig. 4.90. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă

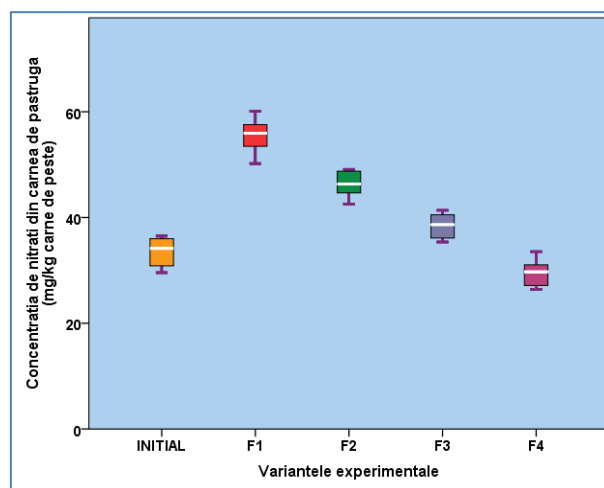


Fig. 4.91. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă

Modelele de regresie liniară simplă obținute în cazul variantelor experimentale (F1, F2, F3, F4), luând în considerare toate analizele chimice efectuate în cadrul prezentului capitol, au fost următoarele:

- **Inițial:** $Ca = 14,967 - 0,129 NO_3$, (r^2 liniar=0,421);
- **F1:** $Ca = 10,897 + 0,206 NO_3$, (r^2 liniar=0,626);
- **F2:** $Ca = 15,352 + 5,038 NO_3$, (r^2 liniar=0,353);
- **F3:** $Ca = 26,799 - 0,371 NO_3$, (r^2 liniar=0,846).

Conținutul de cenușă și substanță uscată a spanacului obținut în condiții acvaponice, în cadrul celor trei variante testate, a fost evaluat la sfârșitul perioadei experimentale (fig. 4.92), fiind raportat la cel consemnat în cazul spanacului obținut în condiții convenționale, pe sol.



Fig. 4.92. Determinarea substanței uscate aferentă triplicatelor celor trei variante experimentale

Substanța uscată a spanacului a fost determinată atât din biomasa foliară, cât și din cea radiculară. Ca atare, **valorile medii a substanței uscate a biomasei foliare a spanacului** din cadrul triplicatului fiecărei variante experimentale, sunt următoarele: B1H (B1H1 – $8,12 \pm 0,07\%$; B1H2 – $8,11 \pm 0,05\%$; B1H3 – $8,1 \pm 0,05\%$); B2H (B2H1 – $8,41 \pm 0,05\%$; B2H2 – $8,45 \pm 0,03\%$; B2H3 – $8,42 \pm 0,03\%$); B3H (B3H1 – $8,82 \pm 0,03\%$; B3H2 – $8,79 \pm 0,04\%$; B3H3 – $8,84 \pm 0,02\%$) (fig. 4.93) [308].

Valorile înregistrate sunt semnificativ mai mari, comparativ cu cele consemnate în dreptul spanacului cultivat în condiții convenționale, pe sol ($7,31 \pm 0,11\%$) (fig. 4.93). De asemenea, se înregistrează diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele trei variante experimentale. Valorile consemnate sunt superioare celor raportate de Roe și colab. (2013) ($6,5\%$) [295], dar sub cele consemnate de Hannatu și colab. (2011) ($18,25\%$) [296], în condiții tehnologice descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.5, paragraful „conținutul de cenușă și substanță uscată a spanacului”.

Conținutul de substanță uscată din biomasa radiculară a spanacului obținut utilizând tehnica acvaponică de cultură în substrat LECA, a înregistrat următoarele valori medii în cadrul triplicatului celor trei variante, la sfârșitul perioadei experimentale: B1H (B1H1 – $7,78 \pm 0,17\%$; B1H2 – $7,9 \pm 0,15\%$; B1H3 – $7,73 \pm 0,19\%$); B2H (B2H1 – $9,57 \pm 0,11\%$; B2H2 – $9,39 \pm 0,14\%$; B2H3 – $9,71 \pm 0,12\%$); B3H (B3H1 – $10,5 \pm 0,13\%$; B3H2 – $10,8 \pm 0,16\%$; B3H3 – $10,01 \pm 0,12\%$) (fig. 4.93). Valorile înregistrate în cadrul variantelor experimentale B2H și B3H sunt superioare celor consemnate în dreptul spanacului cultivat în condiții convenționale, pe sol ($7,8 \pm 0,22\%$) (fig. 4.93). Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) sunt consemnate între cele trei variante experimentale și de asemenea, între grupul format din ultimele două variante (B2H, B3H) și varianta aferentă spanacului obținut în condiții normale pe sol.

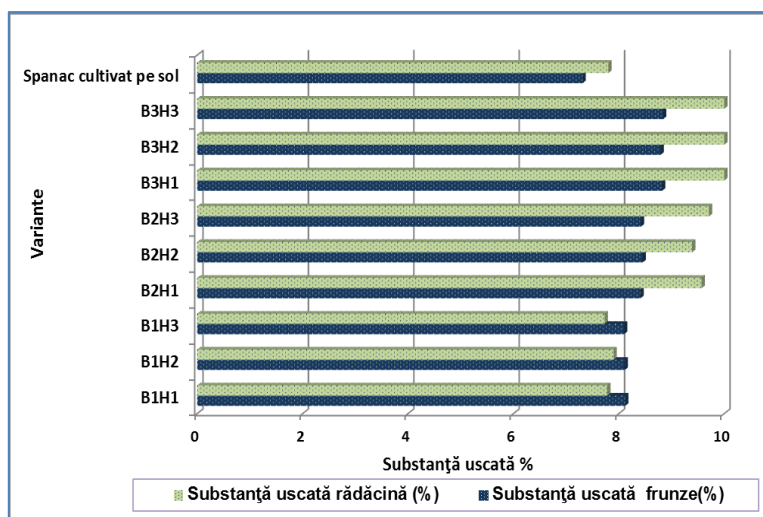


Fig. 4.93. Procentul de substanță uscată din biomasa foliară și cea radiculară a spanacului

Conținutul de cenușă din biomasa foliară a spanacului a înregistrat următoarele valori medii în cadrul triplicatului celor trei variante experimentale: B1H (B1H1 – $1,77 \pm 0,08\%$; B1H2 – $1,75 \pm 0,1\%$; B1H3 – $1,65 \pm 0,07\%$); B2H (B2H1 – $2,03 \pm 0,05\%$; B2H2 – $2,05 \pm 0,04\%$; B2H3 – $2,01 \pm 0,07\%$); B3H (B3H1 – $2,19 \pm 0,07\%$; B3H2 – $2,14 \pm 0,03\%$; B3H3 – $2,21 \pm 0,04\%$) (fig. 4.94) [308]. Valorile înregistrate în cadrul primelor două variante experimentale (B1H și B2H) sunt inferioare celor consemnate în cazul spanacului cultivat în condiții convenționale, pe sol ($2,15 \pm 0,17\%$).

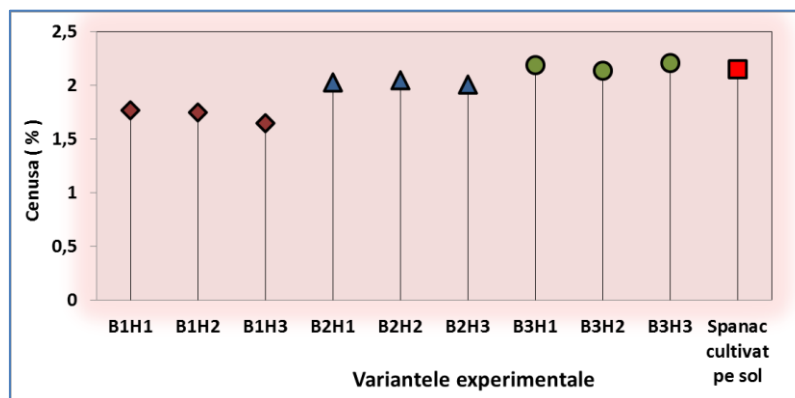


Fig. 4.94. Procentul de cenușă din biomasa foliară a spanacului

Diferențele dintre cele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Diferențele dintre valorile cenușei, consemnate în cazul B3H și cele aferente spanacului obținut în condiții normale pe sol, sunt nesemnificative statistic ($p > 0,05$).

Conținutul de cenușă înregistrat în cadrul variantelor experimentale din cadrul prezentului experiment este superior celui raportat de Umar și colab. (2007) [298] $1,08\%$, Akhter și colab. (2013) [297] $1,26\%$ și Hannatu și colab. (2011) [296] $1,62\%$ și asemănător celui consemnat de Roe și colab. (2013) [295] 2% , în condiții tehnologice descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.5, paragraful „conținutul de cenușă și substanță uscată a spanacului”.

Conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii) a fost determinat atât raportat la suprafața, cât și la masa foliară, la începutul și finalul perioadei experimentale (fig. 4.95).

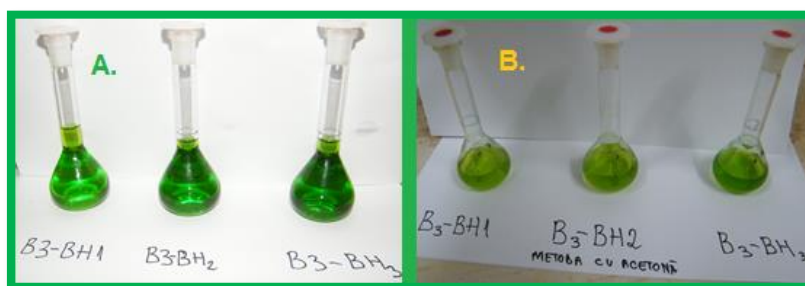


Fig. 4.95. Determinarea pigmentilor verzi clorofilieni și galbeni carotenoizi:
A. raportat la masa foliară; B. raportat la suprafața foliară (foto original)

Astfel, au fost consemnate următoarele valori medii ale clorofilei a, în cadrul celor trei variante experimentale: $0,21 \pm 0,01 \text{ mg/dm}^2$ și $1,02 \pm 0,08 \text{ mg/g}$ – B1H; $0,31 \pm 0,004 \text{ mg/dm}^2$ și $1,28 \pm 0,01 \text{ mg/g}$ – B2H; $0,46 \pm 0,02 \text{ mg/dm}^2$ și $1,39 \pm 0,02 \text{ mg/g}$ – B3H (fig. 4.96 și fig. 4.97) [308]. Clorofila b a înregistrat valori medii de: $0,13 \pm 0,02 \text{ mg/dm}^2$ și $0,48 \pm 0,01 \text{ mg/g}$ – B1H; $0,22 \pm 0,02 \text{ mg/dm}^2$ și $0,56 \pm 0,02 \text{ mg/g}$ – B2H; $0,27 \pm 0,01 \text{ mg/dm}^2$ și $0,85 \pm 0,02 \text{ mg/g}$ – B3H (fig. 4.96 și fig. 4.97) [308]. Valorile medii ale carotenoizilor au fost de $0,15 \pm 0,008 \text{ mg/dm}^2$ – B1H; $0,22 \pm 0,009 \text{ mg/dm}^2$ – B2H și $0,29 \pm 0,07 \text{ mg/dm}^2$ – BH3 (fig. 4.96) [308].

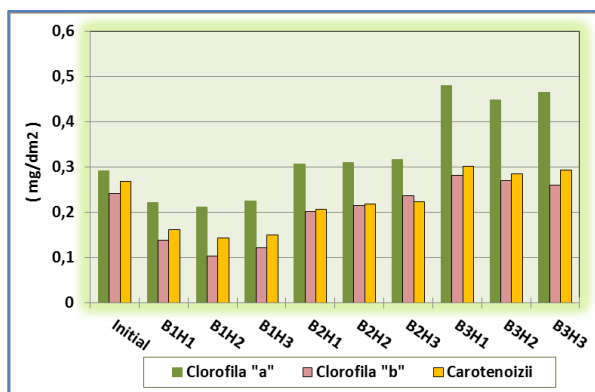


Fig. 4.96. Evoluția pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii), raportați la suprafața foliară

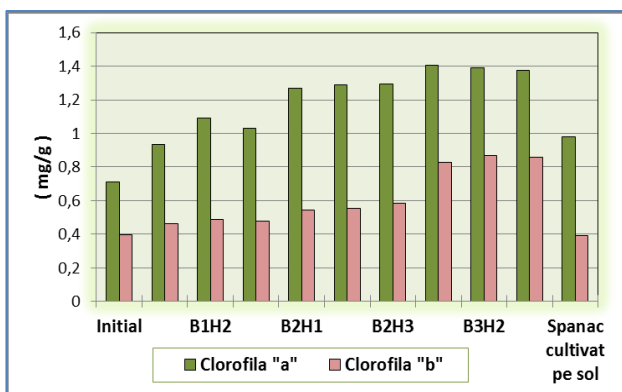


Fig. 4.97. Conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b), raportați la masa foliară

În ceea ce privește valorile clorofilei și a carotenoizilor din răsaduri, înaintea transplantării acestora în unitățile acvaponice din cadrul sistemului recirculant integrat, au fost consemnate următoarele valori medii: clorofila a $0,29 \pm 0,03 \text{ mg/dm}^2$ și $0,71 \pm 0,01 \text{ mg/g}$; clorofila b $0,24 \pm 0,04 \text{ mg/dm}^2$ și $0,39 \pm 0,02 \text{ mg/g}$; carotenoizii $0,27 \pm 0,11 \text{ mg/dm}^2$ (fig. 4.96 și fig. 4.97).

Valorile înregistrate pentru cele trei variante experimentale au fost superioare celor consemnate în cazul spanacului cultivat în condiții convenționale, pe sol, prezentate în CAPITOLUL III, secțiunea 3.3.5, paragraful „conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii)”. Diferențele dintre valorile consemnate în cazul B1H și cele din cadrul B3H sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Nu s-au consemnat diferențe semnificative statistic ($p > 0,05$) în cadrul triplicatelor fiecărei variante experimentale.

4.4. CONCLUZII

Tendința certă la nivel mondial în ceea ce privește implementarea sistemelor recirculante de producție are drept principal deziderat creșterea productivității și totodată limitarea consumului de resurse, precum și a impactului pe care activitatea de acvacultură îl poate genera asupra mediului înconjurător. Integrarea tehnicilor acvaponice de cultură în cadrul sistemelor recirculante poate asigura creșterea profitabilității, dar și caracterul sustenabil al acvaculturii intensive, atât timp cât factorii tehnici și tehnologici și de asemenea, cei legați de managementul producției sunt optimizați. Obiectivele sistemelor integrate rezultate sunt legate de îmbunătățirea managementului calității apei reziduale, optimizarea calității apei tehnologice utilizate în procesul de producție, precum și conversia nutrienților remanenți în biomasă vegetală destinată consumului uman.

Rezultatele prezentului experiment sunt edificatoare în ceea ce privește influența diverselor rapoarte plante (spanac) : pești (păstrugă), induse de practicarea diverselor densități de cultură a biomasei vegetale, asupra dinamicii nutrienților și a capacității de bioremediere a apei tehnologice dintr-un sistem recirculant integrat, în cadrul căruia s-a aplicat tehnica acvaponică de cultură pe substrat LECA.

De asemenea, capacitatea de bioremediere a apei tehnologice prin folosirea substratului de cultură LECA drept unitate de filtrare biologică, a fost identificată în cadrul variantei martor (fără plante, doar substrat LECA).

Au fost evaluate randamentul creșterii spanacului în regim acvaponic, pe substrat LECA, precum și compoziția chimică și caracteristicile calitative ale acestuia, în condițiile celor trei densități de creștere aplicate (BH1-59 plante/ m^2 , BH2-48 plante/ m^2 și BH3-39 plante/ m^2).

Rezultatele au fost convingătoare, în vederea stabilirii potențialului de comercializare a spanacului obținut în vederea consumului uman.

Rezultatele obținute în cadrul prezentului experiment au un grad mare de încredere, dat fiind configurația designului experimental ce a permis triplicatul variantelor experimentale.

Astfel, drept concluzii finale ale studiului realizat, se pot enunța următoarele aspecte:

- Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrația de oxigen dizolvat consemnată în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, au fost înregistrate spre finalul perioadei experimentale, între variantele cu plante (B1H, B2H, B3H) și varianta martor (fără plante, doar substrat LECA de creștere). Acest fapt este o consecință directă a prezenței biomasei radiculare la nivelul substratului de creștere, ceea ce determină o acumulare mai rapidă de substanță organică în cadrul unităților acvaponice în cauză (B1H, B2H, B3H) și ca atare, o scădere a concentrației de oxigen dizolvat consemnată la evacuarea acestora. Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) la nivelul variantelor experimentale cu plante se manifestă între B1H (59 plante/m²) și B3H (39 plante/m²), fapt ce denotă o influență a densităților de cultură a spanacului, aplicate în prezentul experiment, asupra concentrației de oxigen dizolvat de la nivelul unităților acvaponice.
- Concentrația de azot amoniacal a înregistrat o dinamică descendentă în prima parte a perioadei experimentale, urmată de o tendință ascendentă în cea de-a doua jumătate a perioadei. Această dinamică din cadrul primei părți evidențiază eficiența unităților acvaponice în ceea ce privește procesul de bioremediere a apei tehnologice. În cea de-a doua parte a perioadei experimentale, procesele de oxidare de la nivelul substratului de cultură LECA scad în intensitate, fapt ce evidențiază o posibilă apariție a culturilor de bacterii heterotrofe pe suprafața poroasă exterioră a bilelor de hidroton. Diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrația de azot amoniacal consemnată la nivelul punctelor de prelevare situate la evacuarea unității de îndepărtare a solidelor și la alimentarea unității de filtrare biologică pot evidenția existența comunităților bacteriene în zona interioară a conductei de legătură între cele două puncte de prelevare în cauză.
- Diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) între primele trei variante experimentale și varianta martor, în ceea ce privește valorile ratei de îndepărtare a azotului amoniacal, evidențiază absorbția acestuia de către biomasa de spanac existentă și de asemenea, o intensivitate crescută a procesului de oxidare, generată cel mai probabil de apariția comunităților de bacterii autotrofe la nivelul suprafeței radiculare a plantelor.
- Concentrația de nitriți a apei tehnologice, înregistrată în punctul de prelevare situat la evacuarea unității de filtrare biologică, consemnează o evoluție ascendentă în primele săptămâni ale perioadei experimentale datorită intensității procesului de oxidare a azotului amoniacal în nitrit. Evoluția descendentă din ultima parte a perioadei experimentale este considerată drept consecință a scăderii în intensitate a procesului menționat anterior. Diferențele consemnate la începutul experimentului, între concentrația de nitriți înregistrată la evacuarea unității de îndepărtare a solidelor și cea de la alimentarea unității de filtrare biologică devin insesizabile spre sfârșitul perioadei experimentale, o posibilă cauză fiind apariția unui strat de substanță organică în zona interioară a conductei, fapt favorizat de concentrațiile mai mari de solide în suspensie acumulate în cadrul sistemului, pe final de experiment. Concentrația de nitriți consemnată în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice sunt superioare celor înregistrate la alimentarea acestora, atât în cazul primelor trei variante experimentale, cât și în cazul variantei martor, diferențele înregistrate fiind semnificative statistic ($p < 0,05$). Astfel, acest fapt denotă existența

procesului de oxidare a azotului amoniacal în nitrit, la nivelul substratului de creștere LECA. Diferențele consemnate între cele patru variante experimentale (inclusiv varianta martor) au fost ne semnificative statistic ($p > 0,05$)

- Dinamica concentrației de nitrați a apei tehnologice a avut tendință puternic ascendentă, înregistrându-se o acumulare semnificativă de nitrați în cadrul sistemului recirculant integrat, de-a lungul perioadei experimentale. Fluctuațiile consemnate de-a lungul evoluției concentrației de nitrați sunt rezultate ale cerințelor nutriționale manifestate de biomasa de spanac în diversele stadii de dezvoltare, coroborate cu intensitatea procesului de oxidare a nitriților în nitrați, consemnat la nivelul unităților acvaponice.
- Rata de îndepărtare a nitraților a consemnat diferențe statistic semnificative ($p < 0,05$) între prima variantă experimentală și celelalte două variante experimentale (B2H și B3H) și de asemenea, între variantele experimentale cu plante și varianta martor. Ca atare, în anumite condiții experimentale expuse în cadrul prezentului studiu, densitatea de cultură a biomasei vegetale poate influența semnificativ rata de îndepărtare a nitraților în condițiile unui sistem recirculant integrat, folosind tehnica acvaponică de cultură în substrat LECA. Valorile negative ale ratei de îndepărtare a nitraților, consemnate în cadrul variantei martor, confirmă existența procesului de oxidare a nitriților în nitrați la nivelul substratului de cultură LECA.
- Dinamica descendentă a concentrației de fosfor (P_2O_5) din apa tehnologică confirmă caracterul limitativ al acestuia în cadrul sistemelor recirculante integrate. O rată ascendentă de retenție a fosforului (P_2O_5) caracterizează cerințele nutriționale ale biomasei de spanac din cadrul prezentului experiment. Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) sunt consemnate între B1H și celelalte două variante experimentale cu plante (B2H, B3H), manifestate cu precădere în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale. Ca atare, în anumite condiții experimentale expuse în cadrul prezentului studiu, densitatea de cultură a biomasei vegetale poate influența semnificativ rata de retenție a fosforului (P_2O_5) în cadrul unui sistem recirculant integrat, folosind tehnica acvaponică de cultură în substrat LECA. De asemenea, diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) între rata de retenție a fosforului (P_2O_5) consemnată în cadrul primelor trei variante experimentale cu plante (B1H, B2H, B3H) și cea aferentă variantei martor (fără plante, doar LECA) identifică absorbția biomasei vegetale de spanac drept principala cale de retenție a fosforului la nivelul unităților acvaponice. Astfel, prezența substratului de cultură LECA nu influențează semnificativ concentrația de fosfor la nivelul modulului acvaponic.
- Caracterul limitativ al calciului, manifestat în cadrul sistemelor recirculante integrate, este confirmat și în cazul prezentului experiment, dat fiind evoluția descendentă a acestui macroelement secundar, de-a lungul perioadei experimentale. Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește rata de retenție a calciului, au fost consemnate atât între primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor (fără plante, doar substrat LECA), cât și între B1H și celelalte două variante experimentale cu plante (B2H și B3H). Astfel, se poate afirma faptul că evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice se identifică aproape în totalitate cu absorbția acestuia de către biomasa vegetală de spanac la un moment dat. Ca atare, prezența substratului de cultură LECA nu influențează semnificativ concentrația de calciu la nivelul modulului acvaponic. De asemenea, în anumite condiții experimentale expuse în cadrul prezentului studiu, densitatea de cultivare a biomasei vegetale poate influența rata de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice cu substrat LECA și ca atare, dinamica concentrației de calciu în apa tehnologică din cadrul unui sistem recirculant. Este necesar a fi punctată evoluția ratei de retenție a calciului în cadrul variantelor sub considerentul în care o creștere a competiției la nivelul biomasei vegetale în ceea ce privește absorbția de calciu a generat

fluctuații însemnate de-a lungul perioadei experimentale, atât în cazul B1H, cât și la B2H. Comparativ cu primele două variante menționate anterior, în cadrul B3H s-a consemnat o evoluție constantă a ratei de retenție a calciului, cu o ușoară tendință ascendentă spre finalul ciclului de producție.

- Concentrația de magneziu înregistrează o evoluție descendentă de-a lungul perioadei experimentale, în deplină corelație cu rata de retenție a acestuia, manifestată la nivelul unităților acvaponice. De asemenea, se poate afirma că densitățile aplicate în vederea creșterii spanacului influențează semnificativ rata de retenție a magneziului, ținând cont de diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) consemnate între primele trei variante experimentale, în acest sens. Rata de retenție a magneziului în cazul variantei martor este nulă, ceea ce denotă caracterul neutru al substratului LECA asupra dinamicii concentrației de magneziu din apa tehnologică, în cadrul sistemului recirculant integrat.
- Concentrația de potasiu are o evoluție fluctuantă de-a lungul perioadei experimentale, influențată în principal de capacitatea de absorbție a spanacului în diferitele momente ale evoluției acestuia. De asemenea, se poate afirma că densitățile aplicate în vederea creșterii spanacului influențează semnificativ rata de retenție a potasiului, ținând cont de diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) consemnate între primele trei variante experimentale, în acest sens. Valorile foarte mici consemnate în dreptul variantei martor, în ceea ce privește rata de retenție a potasiului, tind să confirme influența nesemnificativă a substratului LECA în ceea ce privește dinamica concentrației de potasiu a apei tehnologice din cadrul unui sistem recirculant integrat.
- Singurul element suplimentat pe parcursul ciclului de creștere a biomasei vegetale a fost fierul. Concentrația acestuia nu a fost suficientă pentru a asigura o creștere optimă a biomasei de spanac și ca atare, o cantitate totală de 112g fier chelat a fost adăugată pe parcursul întregii perioade experimentale, în 7 etape. Astfel, evoluția concentrației de fier din apa tehnologică a fost influențată direct de graficul perioadelor de suplimentare a acestuia, în timp ce rata de retenție a fierului a consemnat o evoluție puternic fluctuantă în cazul primelor două variante experimentale (B1H, B2H), comparativ cu B3H. Densitățile aplicate în vederea creșterii spanacului influențează semnificativ rata de retenție a fierului, ținând cont de diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) consemnate între variantele experimentale. De asemenea, dat fiind valorile foarte mici ale ratei de retenție a fierului, consemnate în cazul B4H-martor, se constată influența nesemnificativă a substratului LECA în ceea ce privește dinamica concentrației de fier a apei tehnologice din cadrul unui sistem recirculant integrat.
- Evoluția ascendentă a concentrației de mangan din apa tehnologică este în deplină corelație cu rata de retenție a acestuia, manifestată la nivelul unităților acvaponice. Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește rata de retenție a manganului sunt consemnate între B1H și B3H, fapt ce conferă posibilitatea de a afirma că densitățile aplicate în vederea creșterii spanacului pot influența dinamica concentrației de mangan din cadrul unui sistem recirculant integrat, în anumite condiții experimentale expuse în cadrul prezentului studiu.
- Valorile concentrațiilor de TOC și COD cresc în raport cu gradul de acumulare a substanței organice în cadrul substratului de creștere, dar și cu nivelul de dezvoltare a suprafeței radiculare a spanacului. Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrația de TOC și COD s-au înregistrat între grupul celor trei variante experimentale cu plante (B1H, B2H, B3H) și varianta martor, în timp ce între primele trei variante experimentale diferențele consemnate au fost nesemnificative statistic ($p > 0,05$). Ca atare, în cadrul prezentului studiu, densitățile aplicate în vederea creșterii spanacului nu au influențat semnificativ concentrația de TOC și COD la nivelul modulului acvaponic, în

schimb prezența plantelor în cadrul unităților acvaponice cu substrat LECA a influențat semnificativ parametrii anterior menționați. Acest fapt se poate datora dezvoltării suprafeței radiculare în cadrul substratului LECA, fapt ce generează o micșorare a spațiilor libere prezente între bilele de hidroton și drept urmare, o capacitate de retenție mai mare a solidelor.

- Evoluția puternic ascendentă a BOD5 este în corelație directă cu valorile concentrației solidelor totale în suspensie (TSS) și respectiv, cu gradul de acumulare a substanței organice la nivelul unităților acvaponice. Diferențe semnificative statistic sunt consemnate între grupul celor trei variante experimentale cu plante (B1H, B2H, B3H) și varianta martor, în timp ce între primele trei variante experimentale diferențele consemnate au fost nesemnificative statistic ($p > 0,05$). Ca atare, în cadrul prezentului studiu, densitatea de cultivare a spanacului nu a influențat semnificativ concentrația de BOD5 la nivelul modulului acvaponic. De asemenea, valorile BOD5 consemnate la evacuarea unităților acvaponice au fost inferioare celor înregistrate în cadrul punctelor de prelevare situate la alimentarea acestora, în primele două săptămâni a perioadei experimentale. Această situație s-a prezentat invers în cadrul ultimei săptămâni a perioadei experimentale, diferențele nefiind însă semnificative statistic ($p < 0,05$). O posibilă cauză generatoare a celor expuse anterior poate fi acumularea de substanță organică la nivelul substratului LECA, efectele fiind vizibile în perioada de final a ciclului de producție.
- Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total la nivelul unității de filtrare biologică, a înregistrat o evoluție ascendentă și o valoare medie optimă pe durata întregii perioade experimentale. Ca atare, se poate constata funcționarea corespunzătoare a unității de filtrare a solidelor, cât și corectitudinea procesului aplicat în vederea activării filtrului trickling.
- Dinamica concentrației de azot din reziduurile fecale are o evoluție ascendentă de-a lungul perioadei experimentale, fapt ce denotă o rată de asimilare mai lentă a proteinei din furaj odată cu mărirea cantității de furaj administrate, urmare firească a sporului de creștere consemnat.
- Cantitatea de azot reținută la nivelul biomasei piscicole înregistrează diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele patru variante experimentale (F1 (G1) – 2,21% BW/zi; F2 (G2) – 1,85% BW/zi; F3 (G3) – 1,64% BW/zi și F4 (G4) – 1,28% BW/zi.). În mare parte, acest fapt este generat de diferențele semnificative în ceea ce privește sporul de creștere, dar și datorită concentrației de azot (TKN) din carnea de păstrugă. Astfel, se poate consemna o creștere a cantității de azot reținută de biomasa piscicolă, proporțională cu valoarea rației zilnice de furajare.
- Concentrația de azot (TKN) din carnea de păstrugă, consemnată la finalul perioadei experimentale, variază semnificativ ($p < 0,05$) în F1 (G1), față de F4 (G4). Astfel, se poate afirma faptul că în cadrul prezentului experiment, aplicarea unor anumite rații zilnice de furajare precum cele menționate anterior, poate influența semnificativ concentrația de azot (TKN) din carnea de păstrugă. De asemenea, diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) sunt observate între concentrația de azot (TKN) din carnea de păstrugă, consemnată la începutul perioadei experimentale și cea de la sfârșitul acesteia.
- Concentrația de azot (TKN) din biomasa radiculară a spanacului este superioară celei înregistrate în cazul biomasei foliare. Diferențe semnificative sunt consemnate între cele trei variante experimentale, în ceea ce privește azotul (TKN) din biomasa radiculară și cea foliară. Varianta experimentală B3H consemnează cele mai mari cantități de azot (TKN) în frunze și rădăcini, urmată fiind de B2H și B1H. Ca atare, concentrația de azot din biomasa radiculară și cea foliară este în raport de inversă proporționalitate cu densitatea de cultivare a spanacului, cultivat în condiții acvaponice folosind tehnica de cultură în substrat LECA.

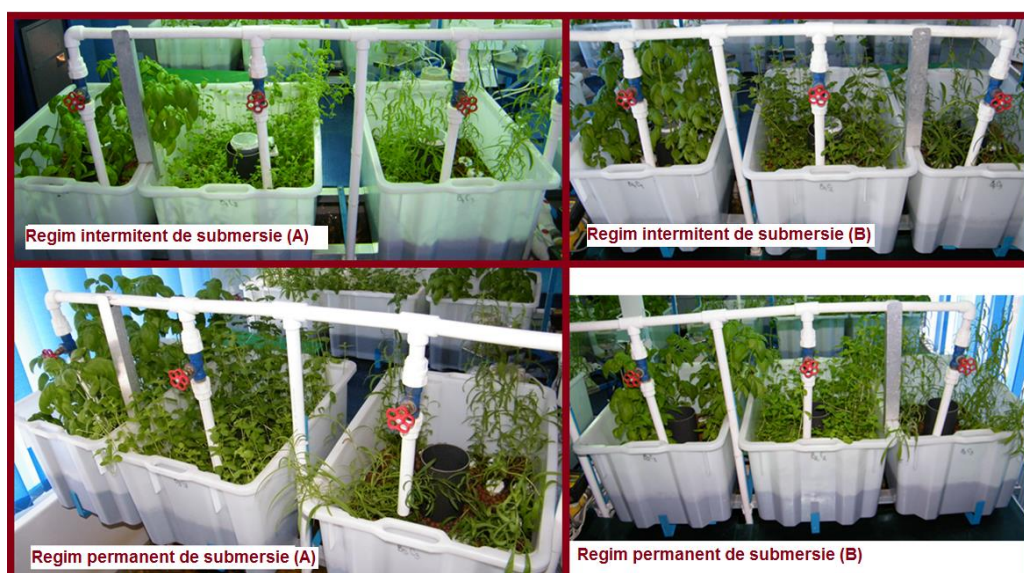
- Bilanțul final al azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat a consemnat o valoare procentuală foarte bună în dreptul biomasei totale de spanac (15,72%) și o valoare optimă în dreptul biomasei piscicole (peste 20%). În ceea ce privește reziduurilor grosiere, valoarea procentuală a azotului regăsit în cadrul acestora, raportată la cantitatea totală de azot introdusă în sistem de-a lungul perioadei experimentale, a fost destul de ridicată (18,71%). Rezultatele înregistrate demonstrează gradul sporit de eficiență a bioremedierii, consemnat în dreptul biomasei de spanac din cadrul sistemului recirculant integrat, în condițiile aplicării tehnicii de cultură pe substrat LECA. De asemenea, ținând cont de cele consemnate în dreptul reziduurilor grosiere și menționate anterior, se poate recomanda o optimizare a rației zilnice de furajare, fapt ce ar valorifica mai bine cantitatea de hrană administrată și ar limita concentrația de azot regăsită la nivelul acestora.
- Concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă a înregistrat diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între grupul format din primele două variante experimentale (F1 (G1), F2(G2)) și restul variantelor. În cazul variantei F3 (G3) nu s-au observat diferențe semnificative statistic ($p > 0,05$) în ceea ce privește concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă înregistrată în momentul inițial și cea consemnată la finalul experimentului. În cazul primelor două variante experimentale (F1 (G1), F2(G2)) s-a constatat o creștere semnificativă ($p < 0,05$) a concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă de-a lungul perioadei experimentale, în timp ce varianta F4 (G4) consemnează o scădere a concentrației de fosfor din carnea de pește, raportat la momentul inițial. Astfel, se poate afirma faptul că rația zilnică de furajare aplicată influențează semnificativ concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă, în anumite condiții experimentale expuse în cadrul prezentului studiu.
- Concentrația de calciu a cărnii de păstrugă, consemnată la finalul perioadei experimentale în cazul primelor două variante (F1 (G1) și F2 (G2)), este semnificativ ($p < 0,05$) mai ridicată comparativ cu valoarea inițială a acesteia. De asemenea, în ceea ce privește variantele experimentale F3 (G3) și F4 (G4), diferențele dintre concentrația inițială și cea finală de calciu din carnea de păstrugă sunt nesemnificative statistic ($p > 0,05$). Ca atare, se poate constata faptul că rația zilnică de furajare aplicată influențează semnificativ concentrația de calciu din carnea de păstrugă, în anumite condiții experimentale expuse în cadrul prezentului studiu.
- Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrațiile de fosfor (P_2O_5) și calciu din biomasa foliară a spanacului s-au consemnat între cele trei variante experimentale. De asemenea, valorile consemnate în cadrul celor trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) sunt semnificativ ($p < 0,05$) mai ridicate, comparativ cu cele obținute în cazul spanacului cultivat convențional, în sol. Excepția afirmației anterioare se regăsește în cazul concentrației de calciu din biomasa foliară a spanacului din cadrul variantei B1H, unde s-au consemnat diferențe nesemnificative statistic ($p > 0,05$) comparativ cu cele înregistrate în cazul spanacului cultivat pe sol. Astfel, se poate concluziona faptul că densitatea de cultură a spanacului a influențat semnificativ concentrația de calciu și fosfor (P_2O_5), atât la nivelul biomasei foliare, cât și la cel al biomasei radiculare. Plantele obținute în regim acvaponic au o calitate superioară în ceea ce privește cantitatea de calciu și fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară, comparativ cu cele cultivate convențional, pe sol.
- În cazul triplicatelor variantei B1H se sesizează o slabă dezvoltare a suprafeței foliare, precum și a celei radiculare, la unele exemplare de spanac. De asemenea, exemplarele în cauză prezintă semne stridente de încrețire a frunzelor, simptome asociate în cadrul literaturii științifice de specialitate unor carențe mari în ceea ce privește absorbția de potasiu și bor.

- Biomasa de spanac din cadrul triplicatelor variantei experimentale B3H a consemnat o creștere și dezvoltare net superioară, comparativ cu celelalte două variante. Astfel, evoluția înălțimii spanacului, sporul de creștere al acestuia, precum și valorile în ceea ce privește suprafața foliară finală sunt edificatoare în scopul susținerii celor menționate anterior. De asemenea, indicatorii tehnologici RGR (rata relativă de creștere) și CGR (rata de creștere) înregistrează valori superioare în cazul B3H, comparativ cu B1H și B2H. Diferențele sunt semnificative statistic ($p < 0,05$).
- Luând în considerare valoarea ratei nete de asimilare (NAR), corelată cu suprafața foliară și de asemenea, cu valoarea indicatorului LAR (ponderea suprafeței foliare), se constată o grosime a frunzelor net superioară în cazul B3H, comparativ cu celelalte două variante experimentale. Acest fapt reprezintă un barometru sugestiv în ceea ce privește calitatea biomasei vegetale de spanac obținute în cadrul B3H. Este necesar însă a fi menționat faptul că acest lucru poate fi influențat și de caracteristicile morfo -biometrice generate de factorii genetici. Calitatea și starea de sănătate bună a spanacului din cadrul B3H este evidențiată și de valorile superioare ale raportului de masă R/S.
- Valoarea indicelui mediu al suprafeței foliare (LAI) este superioară în cazul B3H, comparativ cu celelalte două variante, fapt ce indică o productivitate superioară a spanacului în cadrul acestei variante experimentale.
- Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește concentrația de nitriți și nitrați consemnate la nivelul biomasei radiculare și de asemenea, la cel al biomasei foliare, au fost înregistrate între cele trei variante experimentale. Concentrațiile înregistrate au fost cu mult superioare celor obținute din analiza spanacului cultivat în condiții convenționale, pe sol. Concentrația de nitrați a biomasei foliare aferentă spanacului obținut în cadrul triplicatelor variantei experimentale B3H depășește însă limita maximă admisă pentru consumul uman.
- Concentrațiile finale de nitrați și nitriți din carnea de păstrugă consemnează diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între grupul format din primele două variante experimentale (F1 (G1), F2 (G2)) și cel format din F3 (G3) și F4 (G4). Astfel, se poate afirma că rația zilnică de furajare influențează în mod semnificativ cantitatea de nitriți și nitrați din carnea de păstrugă, în anumite condiții experimentale expuse în cadrul prezentului studiu.
- Concentrația de substanță uscată consemnată atât la nivelul biomasei radiculare, cât și al celei foliare, este superioară în cazul B3H comparativ cu celelalte variante experimentale. De asemenea, comparativ cu valoarea concentrației de substanță uscată a biomasei foliare a spanacului cultivat convențional, pe sol, cea înregistrată în cazul spanacului obținut utilizând tehnici acvaponice este semnificativ ($p < 0,05$) superioară, excepție făcând varianta B1H.
- Concentrația de cenușă înregistrează diferențe nesemnificative ($p > 0,05$) între valorile consemnate în cazul B2H și B3H, comparativ cu cele înregistrate în cazul spanacului cultivat convențional, pe sol.
- Cantitatea de pigmenți verzi, (clorofilieni) și pigmenți galbeni (carotenoizi), a înregistrat valori superioare în cazul B3H, comparativ cu celelalte variante experimentale (B2H și B1H), diferențele dintre variante fiind semnificative statistic ($p < 0,05$).



CAPITOLUL V

POTENȚIALUL DE BIOREMEDIERE ȘI RANDAMENTUL PRODUCȚIEI CULTURII DE BUSUIOC (*Ocimum basilicum*), MENTĂ (*Mentha piperita*) ȘI TARHON (*Artemisia dracunculus* L.), FOLOSIND TEHNICA DE CULTURĂ ÎN SUBSTRAT DE ARGILĂ STRUCTURATĂ (LECA), ÎN REGIM PERMANENT ȘI INTERMITENT DE SUBMERSIE



5.1. IPOTEZA ASUMATĂ

Creșterea eficienței economice, precum și a gradului de sustenabilitate față de mediu a activității industriale de acvacultură reprezintă deziderate certe ale implementării sistemelor acvaponice. Astfel, aplicarea tehnicilor acvaponice în cadrul sistemelor intensive de producție acvacolă a facilitat apariția sistemelor recirculante integrate. Acestea asigură o productivitate ridicată, atât în ceea ce privește biomasa piscicolă, cât și cea vegetală, prin reducerea considerabilă a consumului, de până la 600 de ori față de sistemele de producție tip raceways [311].

Un prim demers ce trebuie realizat în vederea proiectării unui sistem recirculant integrat constă în alegerea tehnicii acvaponice ce urmează a fi aplicată, ținând cont de caracteristicile tehnice și tehnologice ale sistemului recirculant existent. De altfel, după cum Dediu (2009) menționează, integrarea modulului acvaponic în cadrul unui sistem recirculant existent este o problemă de bilanț între reziduurile produse de biomasa piscicolă și cele îndepărtate la nivelul unităților de filtrare și al biomasei vegetale din cadrul unităților acvaponice [211]. Astfel, problematicile legate de tehnica acvaponică utilizată, combinația de specii de pești cu specii de plante, dar și regimul de submersie sunt esențiale în vederea asigurării unei funcționări optime, la capacitate maximă, a unui sistem recirculant integrat.

O proiectare ideală a sistemelor recirculante intergrate presupune integrarea parțială sau în unele cazuri chiar totală, a unității de filtrare biologică în cadrul modulului acvaponic. Tehnica acvaponică folosită în acest sens este cea de cultură pe substrat granular. Ca atare, în cadrul prezentului experiment s-a folosit tehnica acvaponică de cultură pe substrat LECA, format din bile de hidroton obținute prin tratarea termică a argilei. **Drept ipoteză asumată în acest sens, se înaintează supoziția conform căreia substratul LECA, prin rolul acestuia de unitate de filtrare biologică secundară, asigură un mediu prielnic creșterii și dezvoltării biomasei vegetale, înlesnind procesul de absorbție a nutrienților la nivelul suprafeței radiculare.**

În vederea proiectării din punct de vedere hidraulic a modulului acvaponic, sunt luați în considerare, atât parametrii ce vizează rata hiraualică de încărcare și timpul hidraulic de retenție, cât și tipul regimurilor de submersie (permanentă și intermitentă) aplicate la evacuarea unităților acvaponice. Concluziile diverșilor autori, legate de stabilirea unui regim de submersie optim, sunt foarte diverse. Astfel, Lennard și Leonard (2004) consemnează performanțe mai bune atât în ceea ce privește tratarea apei tehnologice, cât și legate de productivitatea biomasei vegetale [126], în condițiile folosirii regimului permanent de submersie. Lewis și colab. (1978) [127], Nair și colab. (1985) [128], McMurtry și colab. (1997) [210] și Sutton și Sutton (1983) [312] caracterizează regimul intermitent de submersie („flood and drain”) drept foarte eficient în vederea intensificării procesului de aerare la nivelul substratului de cultură, consecință firească a eficienței schimbului de gaze cu aerul atmosferic. **Drept ipoteză asumată în acest sens, se înaintează supoziția conform căreia un parametru important în alegerea unui regim de submersie optim este reprezentat de specia de plante cultivată și ca atare, de adaptabilitatea acesteia la diversele condiții mediale. Ca atare, în cazul prezentului experiment s-au folosit trei specii de plante: busuioc (*Ocimum basilicum*), mentă (*Mentha piperita*) și tarhon (*Artemisia dracunculus* L.), aplicând în paralel cele două regimuri de submersie amintite mai sus (regimul permanent și cel intermitent de submersie).**

În ceea ce privește biomasa piscicolă, a fost folosită drept specie de cultură păstruga (*Acipenser stellatus*), în condițiile administrării a două rații de furajare (1% BW și 2% BW). Raționamentul în ceea ce privește alegerea speciei de pește a fost reprezentat strict de considerentul economic, prin prisma faptului că multe din fermele piscicole sturionice semnaleză necesitatea existenței unei surse de venit în primii ani de funcționare din momentul realizării investiției inițiale.

Astfel, ținând seama cele menționate anterior, în cadrul prezentului experiment a fost folosită tehnica de cultură pe substrat LECA, în condițiile aplicării a două regimuri de submersie (permanent și intermitent).

Din cercetării bibliografice efectuate, combinațiile de specii plante – pești utilizate (busuioc „*Ocimum basilicum*” – păstrugă „*Acipenser stellatus*”; mentă „*Mentha piperita*” - păstrugă „*Acipenser stellatus*”; tarhon „*Artemisia dracunculus L.*” - păstrugă „*Acipenser stellatus*”) nu au fost regăsite ca fiind testate până în prezent.

Obiectivul principal al prezentului experiment constă în **identificarea capacității de bioremediere a celor șase variante experimentale testate și anume:**

- busuioc (*Ocimum basilicum*) – păstrugă (*Acipenser stellatus*) în regim de submersie permanent.
- busuioc (*Ocimum basilicum*) – păstrugă (*Acipenser stellatus*) în regim de submersie intermitent.
- mentă (*Mentha piperita*) - păstrugă (*Acipenser stellatus*) în regim de submersie permanent.
- mentă (*Mentha piperita*) - păstrugă (*Acipenser stellatus*) în regim de submersie intermitent.
- tarhon (*Artemisia dracunculus L.*) - păstrugă (*Acipenser stellatus*) în regim de submersie permanent.
- tarhon (*Artemisia dracunculus L.*) - păstrugă (*Acipenser stellatus*) în regim de submersie intermitent.

De asemenea, în acest context, randamentul creșterii biomasei vegetale și compoziția chimică și calitativă a acestora au fost analizate.

Ca atare, prin prezentul studiu se urmărește identificarea variantei experimentale optime (dintre cele menționate anterior) ce trebuie aplicată în scopul obținerii unui raport maxim privind capacitatea de tratare a apei tehnologice - randamentul de creștere a biomasei vegetale - compoziția chimică și calitativă a acestora (corespunzătoare normelor în vigoare, în vederea comercializării producției obținute).

5.2. DESIGN EXPERIMENTAL

Cercetările experimentale din prezentul capitol au avut loc pe durata a 38 de zile calendaristice și au fost desfășurate în cadrul sistemului recirculant integrat al Departamentului de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru – Facultatea de Știința și Ingineria Alimentelor – Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați. Descrierea detaliată a sistemului experimental a fost realizată în CAPITOLUL II, secțiunea 2.1.3. din prezenta lucrare.

Înainte de începerea experimentului, s-a inițiat operațiunea de formare a peliculei biologice, atât la nivelul filtrului biologic tip trickling, cât și la nivelul substratului LECA. Activarea biofiltrului și a substratului de cultură LECA din cadrul unităților acvaponice s-a realizat prin adaosul zilnic de clorură de amoniu (25 mg/L), conform [130, 211].

Materialul piscicol a fost reprezentat de un număr de 92 exemplare de păstrugă „*Acipenser stellatus*”, cu o biomasă medie inițială de 201,72g, descris în detaliu în CAPITOLUL II, secțiunea 2.2 din prezenta lucrare. Exemplarele de păstrugă au fost repartizate în mod egal în cadrul fiecăreia din cele patru unități de creștere din componența sistemului recirculant integrat (23 exemplare / unitate de creștere). În ceea ce privește regimul de hrănire al biomasei piscicole, s-au administrat două rații zilnice de furajare, în duplicat: F1 (B1+B2) – 1% BW/zi și F2 (B3+B4) – 2% BW/zi.

În primele 10 zile din totalul de 38 de zile ale perioadei experimentale, nu s-a administrat hrană biomasei piscicole, acest interval de timp fiind consemnat drept unul de acomodare a biomasei vegetale, transplantată în cadrul unităților acvaponice, la noile condiții mediale.

Trebuie menționat faptul că, apa tehnologică a prezentat de-a lungul acestor zile de acomodare o încărcătură nutrițională optimă, în vederea realizării acestui proces. O cantitate totală de 8912,12g furaj *Clasic Extra 1P* (41% proteină brută) a fost distribuită pe parcursul unei perioade de furajare de 28 de zile. Compoziția biochimică a furajului folosit este redată în prezenta lucrare, în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2., tabel 3.1.

Asigurarea unui regim intermitent de submersie la nivelul unităților acvaponice se realizează utilizând o instalație tip sifon, colaborată cu o dimensionare specifică a secțiunilor conductei de evacuare a fiecărei unități acvaponice. Această instalație este descrisă în cadrul CAPITOLULUI II al prezentei lucrări, fig. 2.15 și fig. 2.16.

Materialul vegetal a fost reprezentat de un număr total de 180 răsaduri de busuioc, mentă și tarhon (60+60+60), obținute în cadrul Complexului Muzeal de Științele Naturii - Galați, descris detaliat în CAPITOLUL II, secțiunea 2.2 din prezenta lucrare. Răsadurile au fost împărțite în șase grupuri, în duplicat, astfel (fig. 5.1):

- 🌿 **Bs. A. CF + Bs. B. CF:** busuioc (74 plante/m²), regim permanent de submersie, duplicat.
- 🌿 **Bs. A. F&D + Bs. B. F&D:** busuioc (74 plante/m²), regim intermitent de submersie, duplicat.
- 🌿 **Mt. A. CF + Mt. B. CF:** mentă (74 plante/m²), regim permanent de submersie, duplicat.
- 🌿 **Mt. A. F&D + Mt. B. F&D:** mentă (74 plante/m²), regim intermitent de submersie, duplicat.
- 🌿 **Th. A. CF + Th. B. CF:** tarhon (74 plante/m²), regim permanent de submersie, duplicat.
- 🌿 **Th. A. F&D + Th. B. F&D:** tarhon (74 plante/m²), regim intermitent de submersie, duplicat.

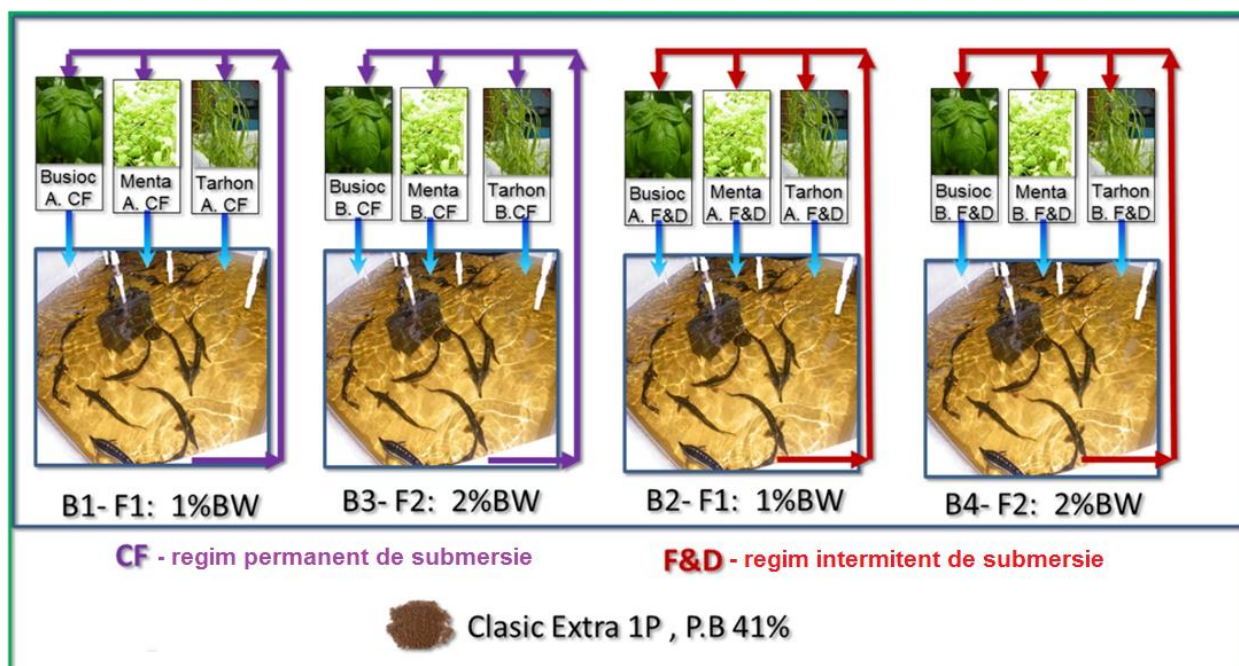


Fig. 5.1. Schema experimentală

Măsurători ale parametrilor fizico-chimici au fost realizate o dată pe săptămână, prin prelevarea de probe de apă dimineața, înaintea administrării hranei. Următorii parametri fizico-chimici ai apei tehnologice au fost monitorizați: azotul amoniacal ($N - NH_4^+$), nitriții ($N - NO_2^-$), nitrații ($N - NO_3^-$), peroxidul de fosfor (P_2O_5), fierul (Fe_3^+), duritatea totală, calciul (Ca_2^+), magneziul (Mg_2^+), alcalinitatea, manganul (Mn_2^+), potasiul (K^+), clorul (Cl^-), consumul chimic de oxigen (COD), carbonul organic total (TOC), consumului biologic de oxigen (BOD5), oxigenul dizolvat, temperatura, pH-ul, turbiditatea și materiile în suspensie (TSS).

Metodele de analiză au fost descrise în CAPITOLUL II, secțiunea 2.3 al prezentei lucrări.

Locurile de prelevare ale probelor de apă au fost următoarele:

- ⊗ alimentarea fiecărei din cele 12 unități acvaponice;
- ⊗ evacuarea fiecărei din cele 12 unități acvaponice;
- ⊗ alimentarea unității de filtrare biologică (filtru tip trickling);
- ⊗ evacuarea unității de filtrare biologică (filtru tip trickling);

În baza rezultatelor obținute din cadrul etapei de monitorizare a concentrației parametrilor chimici ai apei tehnologice, a fost determinată rata de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) și ratele de retenție pentru: nitrați ($\text{N} - \text{NO}_3^-$), peroxid de fosfor (P_2O_5), fier (Fe_3^+), calciu (Ca_2^+), magneziu (Mg_2^+), mangan (Mn_2^+) și potasiu (K^+). În acest scop, s-a aplicat ecuația (1.) exemplificată în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2, ce cuantifică rata de retenție/îndepărtare a nutrienților din cadrul unui sistem, raportată la suprafața unităților acvaponice.

În cadrul prezentului experiment, rata zilnică de schimb a apei tehnologice a fost de până la 5%, compensând astfel pierderile rezultate din evaporare și de asemenea, din operația de autospălare a unității de îndepărtare a solidelor.

Măsurători biometrice amănunțite asupra materialului biologic vegetal au fost realizate atât la inițierea experimentului, cât și la finalul acestuia, conform celor prezentate în cadrul CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2.

Evoluția biometrică a înălțimii plantelor, precum și suprafața foliară a acestora au fost monitorizate, efectuându-se măsurătorile de rigoare atât în momentele de inițiere și de final ale experimentului, cât și după 11 zile de la inițierea acestuia, moment ce are drept simbolistică sfârșitul perioadei de acomodare a biomasei vegetale cu noile condiții mediale și începerea administrării hranei materialului piscicol.

Astfel, în baza ecuațiilor prezentate în CAPITOLUL II, secțiunea 2.4 al prezentei lucrări, s-au determinat următorii indicatori ai randamentului creșterii biomasei vegetale: sporul de creștere [W_p], indicele suprafeței foliare [LAI], rata relativă de creștere [RGR], rata netă de asimilare [NAR], rata de creștere a biomasei vegetale [CGR] și ponderea medie a suprafeței foliare [Avg.LAR].

Probe de țesut muscular și țesut vegetal (frunze și rădăcină) au fost prelevate la inițierea experimentului și la finalul acestuia, de la un număr de 5 exemplare din cadrul fiecărei variante experimentale, cu scopul de a determina concentrațiile de: nitriți, nitrați, azot (TKN), peroxid de fosfor și calciu, idem CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2.

În scopul unei aprecieri juste din punct de vedere calitativ, din probele de țesut vegetal foliar au fost determinate concentrațiile de pigmenți verzi clorofilieni și galbeni carotenoizi, precum și concentrația de substanță uscată și cea a substanțelor minerale totale, idem CAPITOLULUI III, subcapitolul 3.2.

Rezultatele obținute au fost comparate cu cele consemnate în cazul biomaselor vegetale de busuioc (**Bs.MK.**), mentă (**Mt.MK.**) și tarhon (**Th.MK.**) cultivate în condiții convenționale, pe sol.

Prezentul experiment a fost realizat în duplicat, asigurând astfel un grad însemnat de încredere asupra datelor obținute și îndeplinind criteriile de exigență impuse de publicațiile științifice indexate în baze de date internaționale.

5.3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

5.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului

Unul dintre parametri esențiali spre fi menținuți într-un ecart optim pe durata întregii perioade experimentale îl reprezintă temperatura. În cazul plantelor cultivate în regim acvaponic, temperatura apei tehnologice tinde să prezinte un impact mult mai mare asupra creșterii și dezvoltării acestora, comparativ cu temperatura atmosferică. Busuiocul crește și se dezvoltă optim la o temperatură atmosferică cuprinsă între 20 - 25°C, menta la 18 - 20°C, în timp ce ecartul optim corespunzător tarhonului este cuprins între 10 - 21°C [313]. Pe parcursul perioadei experimentale s-a asigurat un ecart de variație a temperaturii atmosferice cuprins între 18,4 – 20,5°C. Acest lucru a fost posibil prin utilizarea instalației de climatizare aflată în dotarea stației pilot în cauză.

În ceea ce privește **dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice**, consemnate la nivelul punctele de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice (Bs.F&D, Bs.CF, Mt.F&D, Mt.CF, Th.F&D, Th.CF) precum și la alimentarea acestora (B1-2F&D, B2-4CF), se observă o tendință în general ascendentă, fără diferențe semnificative statistic ($p>0,05$) între variantele experimentale (fig. 5.2)

Astfel, valorile medii ale temperaturii pe durata întregii perioade experimentale, înregistrate la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $22,46\pm0,42^{\circ}\text{C}$ în cazul Bs.F&D; $22,49\pm0,39^{\circ}\text{C}$ în cazul Bs.CF; $22,48\pm0,43^{\circ}\text{C}$ la Mt.F&D; $22,52\pm0,4^{\circ}\text{C}$ la Mt. CF; $22,44\pm0,43^{\circ}\text{C}$ pentru Th.F&D și $22,49\pm0,39^{\circ}\text{C}$ pentru Th.CF.

La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele temperaturi medii ale apei tehnologice: $22,32\pm0,46^{\circ}\text{C}$ la B1-2F&D și $22,4\pm0,42^{\circ}\text{C}$ la B3-4CF. Valorile temperaturii apei sunt ușor mai ridicate comparativ cu cele ale temperaturii atmosferice, motivul cel mai probabil fiind

reprezentat de poziția sistemului de iluminat, cu lămpi MH (metal-halide). Ca atare, acesta este situat la o distanță de 870 mm față de suprafața substratului LECA de cultură (fig. 2.18 și fig. 2.19 A.), fapt ce determină transferul căldurii degajate de către lămpile MH la nivelul masei de hidroton, care capătă rol de izolator termic în acest caz.

Valorile temperaturii apei de-a lungul întregii perioade experimentale se încadrează în jurul ecartului optim atât pentru creșterea păstrugii [28, 29, 32, 139, 146, 200], cât și pentru cea a busuiocului, mentei și tarhonului [313].

Endut și colab. (2009) testează cinci rate hiraulice de încărcare (HLR: 0,64; 1,28; 1,92; 2,56 și 3,2 m/zi) în condițiile folosirii tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de pietriș și combinația de specii spanac de apă – somn african [133]. Autorii constată o creștere a temperaturii apei pe măsura scăderii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de $27,32^{\circ}\text{C}$ în cazul unui HLR de 3,2 m/zi la un maxim de $28,42^{\circ}\text{C}$ la un HLR de 0,64m/zi [133]. Lennard și Leonard (2004) au realizat o analiză comparativă, testând cele două regimuri de submersie (permanent și intermitent), în condițiile folosirii tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de pietriș și combinația de specii salată verde – cod [126]. Autorii au obținut o valoare medie a temperaturii de $21,9^{\circ}\text{C}$ în cazul regimului intermitent și 22°C în cazul celui permanent

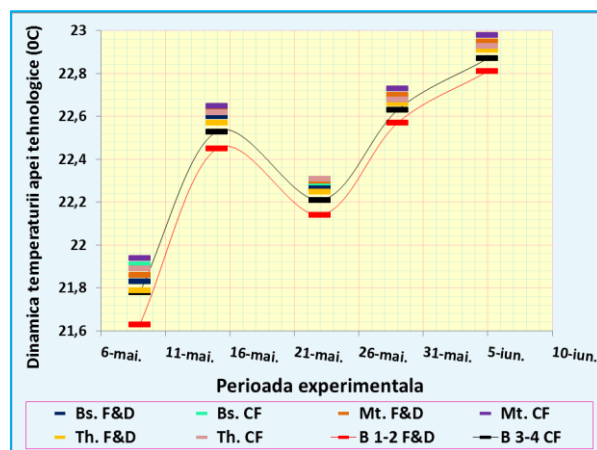


Fig. 5.2. Evoluția temperaturii apei tehnologice

de submersie, consemnând de asemenea, o medie a temperaturii atmosferice de 24°C [126]. Hanson și colab. (2008) au raportat o temperatură medie a apei de 22,22°C pentru folosirea combinației de specii busuioc – tilapia, în condiții acvaponice [79].

Evoluția pH-ului, consemnată la nivelul punctele de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice (Bs.F&D, Bs.CF, Mt.F&D, Mt.CF, Th.F&D, Th.CF) precum și la alimentarea acestora (B1-2F&D, B2-4CF), prezintă o tendință descendentă, fără fluctuații semnificative de-a lungul perioadei experimentale (fig. 5.3). Nivelurile ridicate ale pH-ului, înregistrate în prima jumătate a perioadei experimentale sunt consecință firească a consumului de CO₂ la nivelul biomasei vegetale.

Tendința descendentă a acestuia din cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale poate fi pusă pe seama intensității proceselor de oxidare de la nivelul substratului de cultură LECA. Astfel, o intensitate scăzută a procesului de oxidare, ca urmare directă a acumulării de substanță organică în cadrul substratului LECA, poate determina valori scăzute ale pH-ului.

Valorile medii ale pH-ului, pe durata întregii perioade experimentale, consemnate la evacuarea unităților acvaponice, au fost de 7,14±0,91upH în cazul Bs.F&D; 6,91±0,95upH în cazul Bs.CF; 7,15±0,95upH la Mt.F&D; 6,89±0,96upH la Mt. CF; 7,03±0,95upH pentru Th.F&D și 6,88±0,97upH pentru Th.CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale pH-ului apei tehnologice: 6,95±0,84upH la B1-2F&D și 6,93±0,96upH la B3-4CF.

Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele cu regim intermitent de submersie au fost consemnate în cazul culturilor de busuioc și mentă.

În ceea ce privește tarhonul, nu s-au observat diferențe semnificative între valorile pH-ului consemnat în condițiile aplicării celor două regimuri de submersie (permanent și intermitent). Cel mai probabil, acest lucru denotă implicarea directă a suprafeței radiculare a biomasei vegetale în cadrul

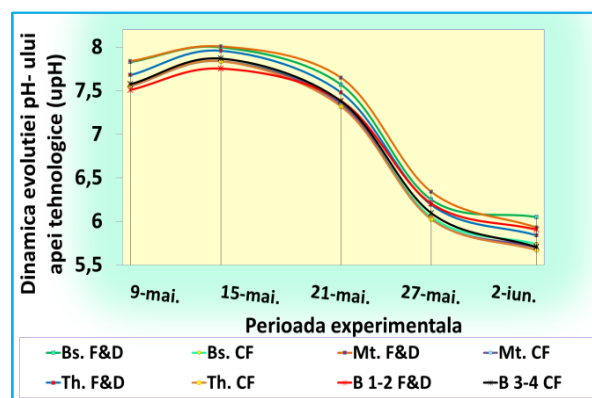


Fig. 5.3. Evoluția pH-ului apei tehnologice

procesului de acumulare a substanței organice la nivelul unităților acvaponice și prin urmare, în caracterizarea intensității proceselor de oxidare de la nivelul substratului de cultură LECA.

Din punct de vedere statistic, nu s-au observat diferențe semnificative între variantele experimentale unde a fost aplicat același regim de submersie, în condițiile diverselor specii de plante (busuioc, mentă, tarhon) testate. De asemenea, trebuie menționat faptul că diferențele dintre valorile consemnate la alimentarea unităților acvaponice nu au fost semnificative statistic ($p > 0,05$).

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”) au constatat o creștere a pH-ului apei pe măsura scăderii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de 7,28upH în cazul unui HLR de 3,2 m/zi la un maxim de 7,48upH la un HLR de 0,64m/zi [133].

Lennard și Leonard (2004), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au raportat o valoare medie a pH-ului de 6,8upH în cazul regimului intermitent și 6,9upH în cazul celui permanent [126]. Hanson și colab. (2008) au raportat o valoare medie a pH-ului apei tehnologice de 6,32upH pentru folosirea combinației de specii busuioc – tilapia, în condiții acvaponice [79].

Dediu și colab. (2012) testează doi timpi hidraulici de retenție (HRT: 5,4min și 2,7min), corespunzători unor debite de alimentare a unităților acvaponice de 8L/min, respectiv 12L/min [130]. Astfel, în cazul unui HRT de 5,4min a fost raportată o valoare medie a pH-ului la alimentarea – evacuarea unității acvaponice de 7,14 - 7,23 upH, în timp ce pentru un HRT de 2,7min, valoarea medie a pH-ului la alimentarea – evacuarea unității acvaponice este de 7,04 - 7,15upH [130].

Concentrația de oxigen dizolvat (DO) a înregistrat o evoluție descendentă la nivelul sistemului recirculant integrat, în timp ce, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuare unităților acvaponice, s-a consemnat o evoluție relativ constantă, cu fluctuții mai accentuate în ultima parte a perioadei experimentale (fig. 5.4).

Evoluția descendentă a concentrației de oxigen dizolvat poate fi determinată de creșterea progresivă a cantității de substanță organică în cadrul sistemului recirculant integrat. Acest fapt, poate fi cauzat în mare parte de creșterea biomasei piscicole și ca atare, încărcarea sistemului recirculant aproape de capacitatea sa portantă maximă. În aceste condiții, unitatea de îndepărtare a solidelor grosiere devine mai puțin eficientă, caz raportat în cadrul majorității studiilor științifice ce implică folosirea sistemelor recirculante integrate. De asemenea, tendința ușor descendentă în cazul concentrației de DO consemnată la evacuarea unităților acvaponice poate fi determinată de acumulării semnificative de substanță organică la nivelul substratului de cultură LECA.

Valorile medii ale concentrației de DO, pe durata întregii perioade experimentale, consemnate la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $7,3 \pm 0,42 \text{ mg/L}$ în cazul Bs.F&D; $7,09 \pm 0,5 \text{ mg/L}$ în cazul Bs.CF; $7,4 \pm 0,35 \text{ mg/L}$ la Mt.F&D; $7,01 \pm 0,68 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $7,28 \pm 0,26 \text{ mg/L}$ pentru Th.F&D și $7,11 \pm 0,49 \text{ mg/L}$ pentru Th.CF.

La alimentarea unităților acvapons-au consemnat următoarele medii ale concentrației de DO a apei tehnologice: $8,11 \pm 0,8 \text{ mg/L}$ la B1-2 F&D și $8,01 \pm 0,79 \text{ mg/L}$ la B3-4CF.

De asemenea, valorile concentrației de DO, consemnate în punctul de prelevare situat la alimentarea unității de filtrare biologică a fost de $8,97 \pm 0,7 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acesteia s-a înregistrat o medie de $8,72 \pm 1,15 \text{ mg/L}$.

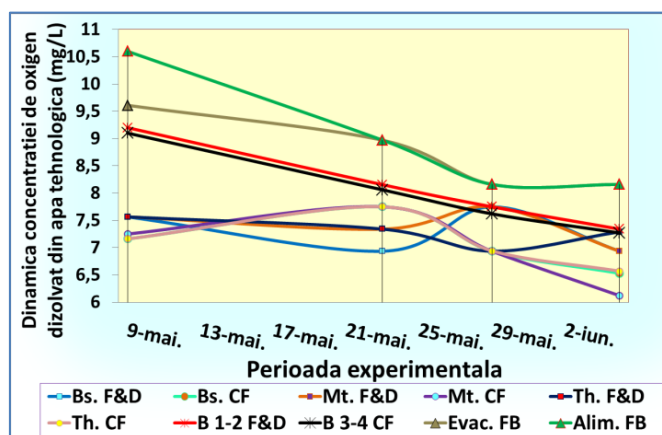


Fig. 5.4. Concentrația de DO la nivelul unităților acvaponice și al unităților de filtrare

Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie au fost consemnate în cazul culturilor de busuioc și mentă. În ceea ce privește tarhonul, nu s-au observat diferențe semnificative între valorile pH-ului consemnate în condițiile aplicării celor două regimuri de submersie (permanent și intermitent). Cel mai probabil, în cazul tarhonului intervine o problemă legată de adaptabilitate, dar și de existența diverselor caracteristici morfo-biometrice generate de factorii genetici.

De asemenea, diferențe semnificative ($p < 0,05$) s-au înregistrat între variantele cu mentă și cele cu tarhon, ambele în regim intermitent de submersie și între variantele cu tarhon și grupul format din cele cu busuioc și mentă, toate în regim permanent de submersie. Astfel, putem afirma că regimul intermitent de submersie a confirmat ipoteza enunțată inițial, asigurând astfel un grad de aerare superior la nivelul substratului LECA, comparativ cu regimul permanent

de submersie, în cazul culturilor de busuioc și mentă. În cazul tarhonului, datorită conformației rădăcinii ce are tendința de a se dezvolta pe verticală și nu în plan orizontal, nu s-a realizat o micșorare a spațiilor libere dintre bilele de hidroton și ca atare, nu au existat diferențe în ceea ce privește aerarea la nivelul substratului între cele două regimuri de submersie studiate.

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), a constatat o creștere a concentrației de DO a apei pe măsura creșterii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de 4,12mg/L în cazul unui HLR de 0,64 m/zi la un maxim de 4,82mg/L la un HLR de 3,2 m/zi [133].

Lennard și Leonard (2004), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au raportat o concentrație medie a DO din apă de 7,24mg/L în cazul regimului intermitent de submersie și 7,43mg/L în cazul celui permanent [126].

Dediu și colab. (2012), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „evoluția pH-ului”), au raportat o valoare medie a concentrației de DO, la alimentarea – evacuarea unității acvaponice în condițiile unui HRT de 5,4min, de 5,52 – 6,26mg/L, în timp ce pentru un HRT de 2,7min valorile concentrației de DO la alimentarea - evacuarea unităților acvaponice au fost 6,27 – 6,37mg/L [130].

Evoluția concentrației de azot amoniacal a înregistrat o tendință ascendentă mai accentuată în cadrul variantelor experimentale unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie (fig. 5.5 i. și ii.), comparativ cu cele supuse unui regim permanent de submersie (fig. 5.5. xi. și xii.).

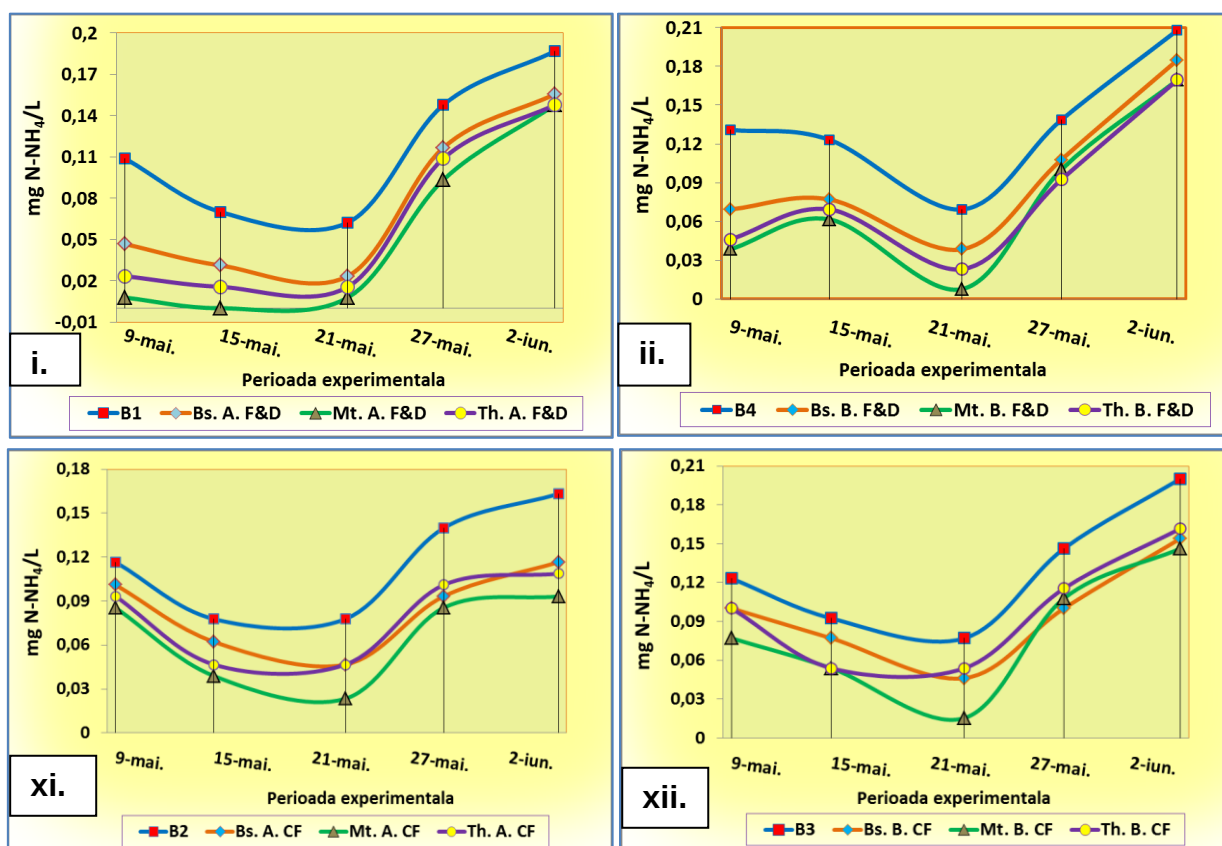


Fig. 5.5. Evoluția concentrației de N-NH₄ la nivelul unităților acvaponice
(i. și ii. – variantele experimentale cu regim intermitent de submersie, în duplicat;
xi. și xii. – variantele experimentale cu regim permanent de submersie, în duplicat)

Se observă o concentrație de $N-NH_4$ mai redusă la mijlocul perioadei experimentale, fapt posibil a fi generat de creșterea în intensitate a procesului de oxidare a azotului amoniacal în nitriți, atât la nivelul substratului LECA, cât și la nivelul unității de filtrare biologică. De asemenea, cerințele nutriționale ale biomasei vegetale pot fi menționate printre posibilele cauze ale scăderii concentrației de azot amoniacal, menționată anterior. Creșterea concentrației de azot amoniacal pe final de experiment este o consecință a acumulării de substanță organică în cadrul sistemului recirculant integrat. Ca atare, bacteriile heterotrofe devin preponderente, în detrimentul celor nitrificatoare autotrofe, fapt ce determină o scădere în intensitate a procesului de oxidare a $N-NH_4$ în $N-NO_2$.

Valorile medii ale concentrației de $N-NH_4$, pe durata întregii perioade experimentale, consemnate la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $0,07 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. A. F&D și $0,09 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. B. F&D; $0,08 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. A. CF și $0,1 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. B. CF; $0,05 \pm 0,4 \text{ mg/L}$ la Mt. A. F&D și $0,08 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ la Mt. B. F&D; $0,07 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ la Mt. A. CF și $0,08 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ la Mt. B. CF; $0,06 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ pentru Th. A. F&D și $0,08 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ Th. B. F&D; $0,08 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ pentru Th. A. CF și $0,1 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ Th. B. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de $N-NH_4$ a apei tehnologice: $0,12 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ la B1. F&D; $0,13 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ la B4. F&D; $0,11 \pm 0,04 \text{ mg/L}$ la B2. CF și $0,13 \pm 0,05 \text{ mg/L}$ la B3. CF. De asemenea, valorile concentrației de $N-NH_4$, consemnate în punctul de prelevare situat la alimentarea unității de filtrare biologică a fost de $0,12 \pm 0,05 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acesteia s-a înregistrat o medie de $0,06 \pm 0,04 \text{ mg/L}$.

În ceea ce privește valorile concentrației de azot amoniacal consemnate la nivelul modulului acvaponic, se observă un grad mare de disipare în jurul mediei pentru variantele experimentale în cazul cărora a fost aplicat un regim intermitent de submersie, comparativ cu cele cu regim permanent de submersie (fig. A2. 1 – anexe, secțiunea 2). Legat de concentrațiile parametrului anterior menționat la nivelul unității de filtrare biologică, se observă o distribuție ușor înclinată spre dreapta în cazul evacuării filtrului biologic și un interval de disipare al valorilor asemănător cu cel consemnat la alimentare (fig. A2. 2 – anexe, secțiunea 2).

Lennard și Leonard (2004), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au raportat absența concentrației de azot amoniacal din apă după prima săptămână experimentală [126]. Dediu și colab. (2012), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „evoluția pH-ului”), au raportat o valoare medie a concentrației de TAN, la alimentarea – evacuarea unității acvaponice în condițiile unui HRT de 5,4min, de $0,43 - 0,51 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru un HRT de 2,7min valorile concentrației de TAN la alimentarea - evacuarea unităților acvaponice au fost $0,39 - 0,47 \text{ mg/L}$ [130].

Concentrația de nitriți ($N-NO_2$) la nivelul modulului acvaponic înregistrează o evoluție fluctuantă în cazul tuturor variantelor experimentale și diferențe mult mai sesizabile între unitățile acvaponice cu biomasă vegetală diferită ca specie, din cadrul variantei experimentale unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie (fig. 5.6).

Valorile medii ale concentrației de $N-NO_2$, pe durata întregii perioade experimentale, consemnate la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $0,11 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. A. F&D și $0,1 \pm 0,01 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. B. F&D; $0,09 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. A. CF și $0,09 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. B. CF; $0,12 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ la Mt. A. F&D și $0,12 \pm 0,01 \text{ mg/L}$ la Mt. B. F&D; $0,09 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ la Mt. A. CF și $0,1 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ la Mt. B. CF; $0,11 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ pentru Th. A. F&D și $0,11 \pm 0,01 \text{ mg/L}$ Th. B. F&D; $0,09 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ pentru Th. A. CF și $0,09 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ Th. B. CF.

La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de $N-NO_2$ a apei tehnologice: $0,09 \pm 0,03 \text{ mg/L}$ la B1. F&D; $0,09 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ la B4. F&D; $0,08 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ la B2. CF și $0,08 \pm 0,02 \text{ mg/L}$ la B3. CF. De asemenea, valorile concentrației de $N-NO_2$, consemnate în punctul de prelevare situat la alimentarea unității de filtrare biologică a

fost de $0,14 \pm 0,02 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acesteia s-a înregistrat o medie de $0,07 \pm 0,03 \text{ mg/L}$.

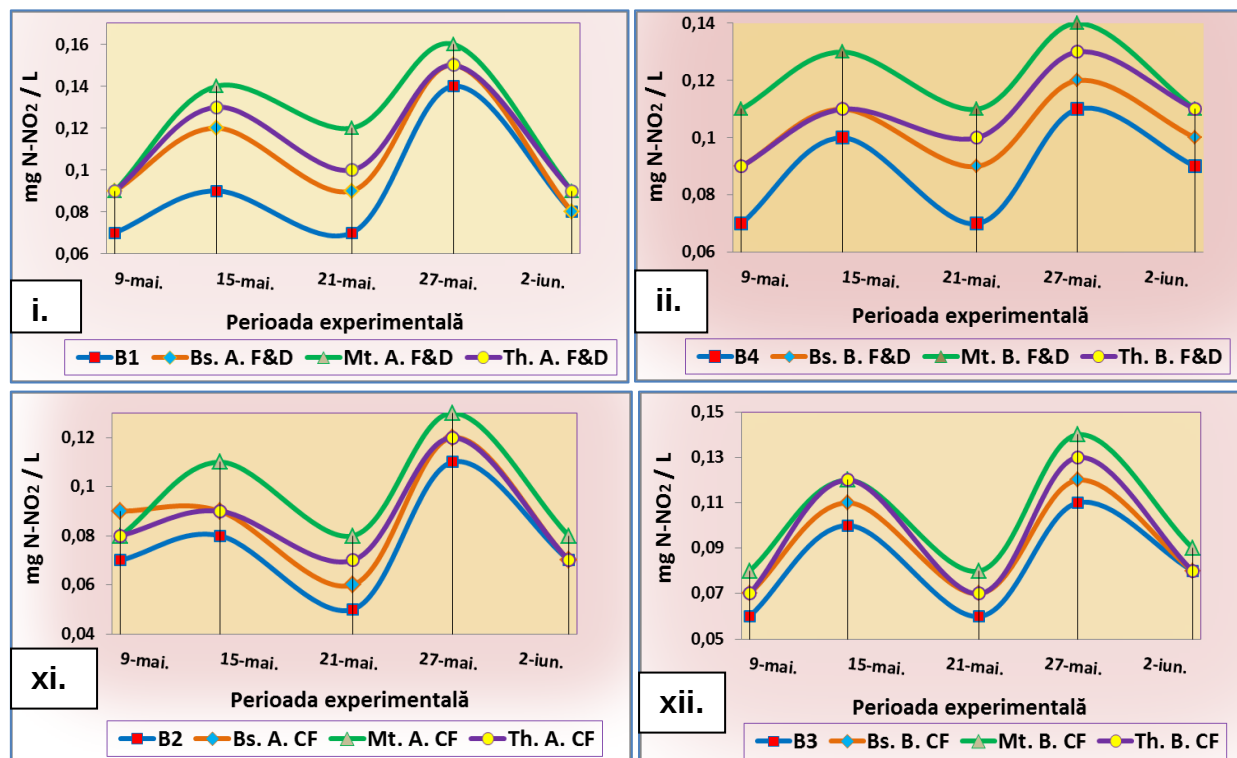


Fig. 5.6: Evoluția concentrației de N-NO_2 la nivelul unităților acvaponice
(i. și ii. – variantele experimentale cu regim intermitent de submersie, în duplicat;
xi. și xii. – variantele experimentale cu regim permanent de submersie, în duplicat)

În ceea ce privește valorile concentrației de N-NO_2 înregistrate la nivelul modului acvaponic se observă o curbă de distribuție înclinată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă în cazul variantelor experimentale supuse unui regim intermitent de submersie (fig. A2. 3 – anexe, secțiunea 2). De asemenea, variantele experimentale supuse unui regim permanent de submersie prezintă un grad scăzut de disipare a valorilor în jurul mediei, comparativ cu cele în cazul cărora a fost aplicat regimul intermitent de submersie (fig. A2. 3 – anexe, secțiunea 2).

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au constatat o creștere a ratei de îndepărtare a nitriților din apă pe măsura creșterii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de 67,2% în cazul unui HLR de 0,64 m/zi la un maxim de 89,5% la un HLR de 3,2 m/zi [133].

Lennard și Leonard (2004), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au raportat absența concentrației de nitriți din apă după prima săptămână experimentală [126].

Concentrația de nitrați (N-NO_3) la nivelul unităților acvaponice a înregistrat o tendință puternic ascendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 5.7). Au fost consemnate diferențe mult mai sesizabile între unitățile acvaponice cu biomasă vegetală diferită ca specie, din cadrul variantei experimentale unde a fost aplicat regimul permanent de submersie (fig. 5.7 xi. și xii.).

Evoluția puternic ascendentă a concentrației de nitrați poate fi determinată de ratele zilnice foarte scăzute (maxim 5%) de schimb a apei tehnologice, fapt menționat și în cadrul secțiunii 5.2 a prezentului capitol. Se poate concluziona o dinamică de evoluție a nitraților mai pozitivă în cazul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie, în special cele cu biomasă vegetală de busuioc și mentă (fig. 5.7).

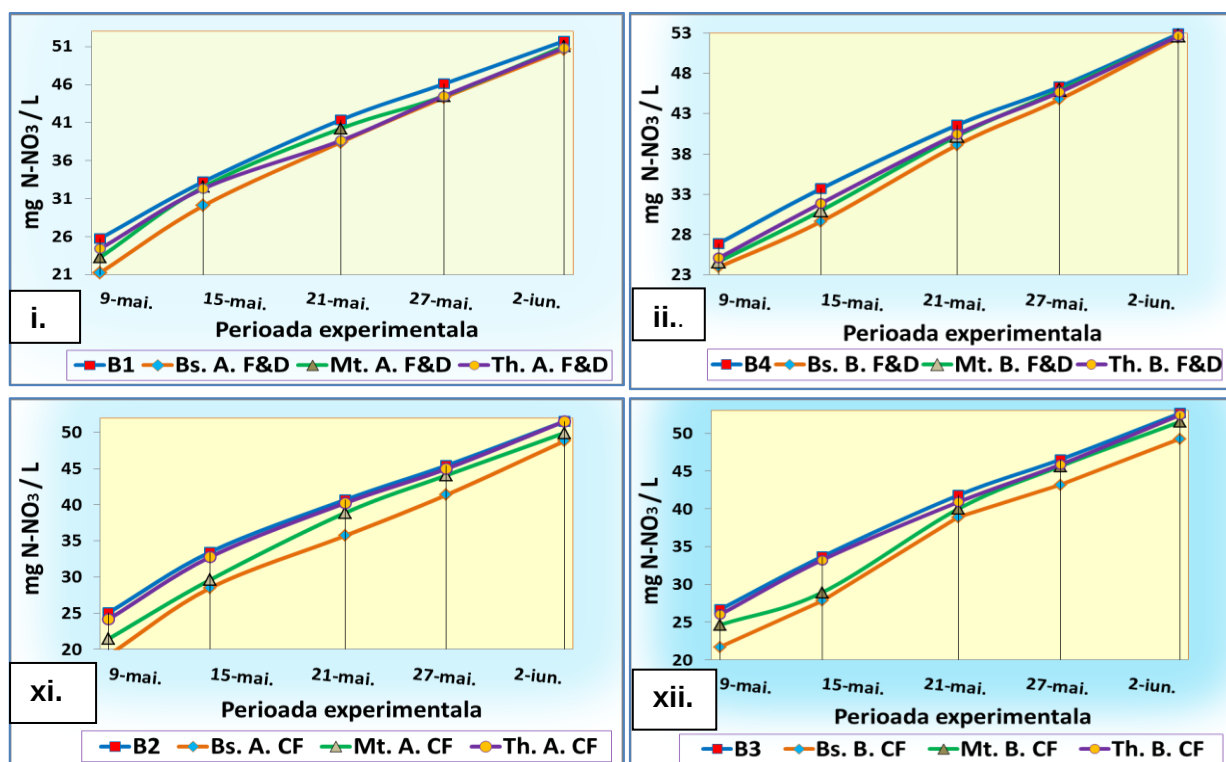


Fig. 5.7. Evoluția concentrației de $N-NO_3$ la nivelul unităților acvaponice
(i. și ii. – variantele experimentale cu regim intermitent de submersie, în duplicat;
xi. și xii. – variantele experimentale cu regim permanent de submersie, în duplicat)

Valorile medii ale concentrației de $N-NO_3$, pe durata întregii perioade experimentale, consemnate la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $36,92 \pm 11,59 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. A. F&D și $37,97 \pm 11,43 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. B. F&D; $34,71 \pm 11,44 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. A. CF și $36,16 \pm 11,26 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. B. CF; $38,33 \pm 10,77 \text{ mg/L}$ la Mt. A. F&D și $38,87 \pm 11,25 \text{ mg/L}$ la Mt. B. F&D; $36,79 \pm 11,37 \text{ mg/L}$ la Mt. A. CF și $38,15 \pm 11,25 \text{ mg/L}$ la Mt. B. CF; $38,15 \pm 10,3 \text{ mg/L}$ pentru Th. A. F&D și $39,14 \pm 10,92 \text{ mg/L}$ Th. B. F&D; $38,74 \pm 10,63 \text{ mg/L}$ pentru Th. A. CF și $39,69 \pm 10,38 \text{ mg/L}$ Th. B. CF.

La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de $N-NO_3$ a apei tehnologice: $39,64 \pm 10,31 \text{ mg/L}$ la B1. F&D; $40,27 \pm 10,25 \text{ mg/L}$ la B4. F&D; $39,23 \pm 10,31 \text{ mg/L}$ la B2. CF și $40,27 \pm 10,29 \text{ mg/L}$ la B3. CF. De asemenea, valorile concentrației de $N-NO_3$, consemnate în punctul de prelevare situat la alimentarea unității de filtrare biologică a fost de $42,62 \pm 11,33 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acesteia s-a înregistrat o medie de $57,08 \pm 4,23 \text{ mg/L}$.

În ceea ce privește valorile concentrației de $N-NO_3$ consemnate la nivelul modului acvaponic, se observă o distribuție simetrică în jurul mediei, în timp ce valorile nitratilor înregistrate la evacuarea unității de filtrare biologică au un interval de dispere scăzut și o histogramă a distribuției orientată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă a intervalului de variație (fig. A2. 4 – anexe, secțiunea 2).

Lennard și Leonard (2004), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au raportat o concentrație de nitrați din apă de $13,3 \text{ mg/L}$ în cazul regimului intermitent de submersie și $11,8 \text{ mg/L}$ în cazul celui permanent [126].

Dediu și colab. (2012), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „evoluția pH-ului”), au raportat o valoare medie a concentrației de $N-NO_3$, la alimentarea – evacuarea unității acvaponice în condițiile unui HRT de 5,4min, de $32,52 - 37,59 \text{ mg/L}$, în timp ce pentru un HRT

de 2,7min valorile concentrației de TAN la alimentarea - evacuarea unităților acvaponice au fost 34,52 – 39,93mg/L [130].

Evoluția concentrației de fosfor, cuantificată drept P_2O_5 , a înregistrat o tendință puternic ascendentă în cadrul tuturor variantelor experimentale, până la începutul ultimei săptămâni a perioadei experimentale (fig. 5.8). Evoluția din ultima săptămână a perioadei experimentale este determinată de necesitățile nutriționale ale biomasei vegetale din cadrul fiecărei variante experimentale, precum și de caracteristicile morfo-biometrice ale plantelor, generate de factorii genetici.

Evoluția descendentă din prima săptămână a perioadei experimentale indică o absorbție mare de fosfor la nivelul biomasei vegetale, semn că perioada de acomodare a acestora cu noile condiții mediale și anume, primele 10 zile de după transplantarea răsadurilor (prezentată detaliat în cadrul secțiunii 5.2 a prezentului capitol), a fost benefică în vederea asigurării unei creșteri și dezvoltări optime.

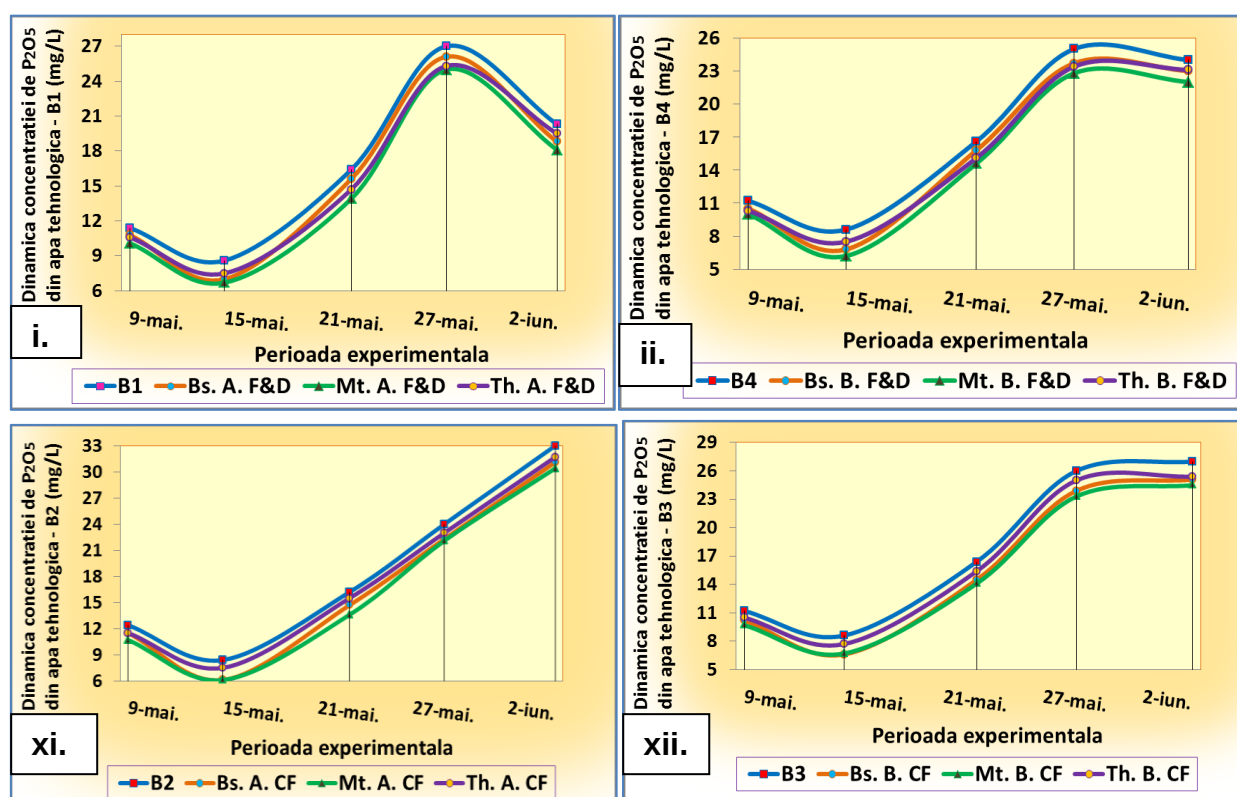


Fig. 5.8. Evoluția concentrației de P_2O_5 la nivelul unităților acvaponice
(i. și ii. – variantele experimentale cu regim intermitent de submersie, în duplicat;
xi. și xii. – variantele experimentale cu regim permanent de submersie, în duplicat)

Valorile medii ale concentrației de P_2O_5 , pe durata întregii perioade experimentale, consemnate la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $15,66 \pm 7,37$ mg/L în cazul Bs. A. F&D și $15,96 \pm 7,47$ mg/L în cazul Bs. B. F&D; $17,14 \pm 8,76$ mg/L în cazul Bs. A. CF și $16,06 \pm 8,21$ mg/L în cazul Bs. B. CF; $14,76 \pm 7,13$ mg/L la Mt. A. F&D și $15,12 \pm 7,29$ mg/L la Mt. B. F&D; $16,58 \pm 9,68$ mg/L la Mt. A. CF și $15,66 \pm 7,98$ mg/L la Mt. B. CF; $15,52 \pm 7,08$ mg/L pentru Th. A. F&D și $15,88 \pm 7,26$ mg/L Th. B. F&D; $17,84 \pm 9,63$ mg/L pentru Th. A. CF și $16,8 \pm 8,15$ mg/L la Th. B. CF.

La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de P_2O_5 a apei tehnologice: $16,74 \pm 7,29$ mg/L la B1. F&D; $17,08 \pm 7,37$ mg/L la B4. F&D; $18,8 \pm 9,8$ mg/L la B2. CF și $17,84 \pm 8,39$ mg/L la B3. CF. De asemenea, valorile concentrației de P_2O_5 , consemnate în punctul de prelevare situat la alimentarea unității de filtrare biologică a fost

de $19,06 \pm 10,44 \text{ mg/L}$, în timp ce la evacuarea acesteia s-a înregistrat o medie de $16,9 \pm 9,5 \text{ mg/L}$.

În ceea ce privește valorile concentrației de P_2O_5 consemnate la nivelul modulului acvaponic, se observă un interval de variație mai mare al extremelor față de medie în cazul variantelor experimentale în cazul cărora a fost aplicat regimul permanent de submersie, comparativ cu cele care funcționează în regim intermitent de submersie (fig. A2. 5 – anexe, secțiunea 2). De asemenea, trebuie punctată orientarea histogramei de distribuției spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă a intervalului de variație, fapt întâlnit în cazul variantelor cu regim permanent de submersie (fig. A2. 5 – anexe, secțiunea 2).

Lennard și Leonard (2004), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au raportat o concentrație de PO_4 din apă de $4,04 \text{ mg/L}$ în cazul regimului intermitent de submersie și $3,87 \text{ mg/L}$ în cazul celui permanent [126].

Evoluția concentrației de calciu a înregistrat o tendință descendentă în prima săptămână a studiului, urmată de o creștere până la sfârșitul perioadei experimentale, fapt valabil în cazul variantelor unde s-a aplicat un regim intermitent de submersie (fig. 5.9). În ceea ce privește variantele supuse unui regim permanent de submersie, evoluția descendentă a concentrației de calciu, consemnată în punctele de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, a fost menținută până la jumătatea perioadei experimentale, urmată firesc apoi de o creștere accentuată până la finalul studiului în cauză (fig. 5.10).

Evoluția diferită a celor două grupuri de variante experimentale poate fi determinată de o adaptabilitate mai bună a biomasei vegetale la regimul permanent de submersie, fapt ce se manifestă printr-o absorbție de nutrienți mai considerabilă, cu referință la calciu în cazul de față.

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește concentrației de calciu consemnată de-a lungul întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $88,6 \pm 20,27 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $87,86 \pm 18,57 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. CF; $88,5 \pm 20,12 \text{ mg/L}$ la Mt. F&D și $87,52 \pm 18,52 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $89,12 \pm 20,07 \text{ mg/L}$ pentru Th. F&D și $89,16 \pm 18,38 \text{ mg/L}$ la Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de calciu a apei tehnologice: $90,8 \pm 20,19 \text{ mg/L}$ la B. F&D și $90,6 \pm 18,57 \text{ mg/L}$ la B. CF.

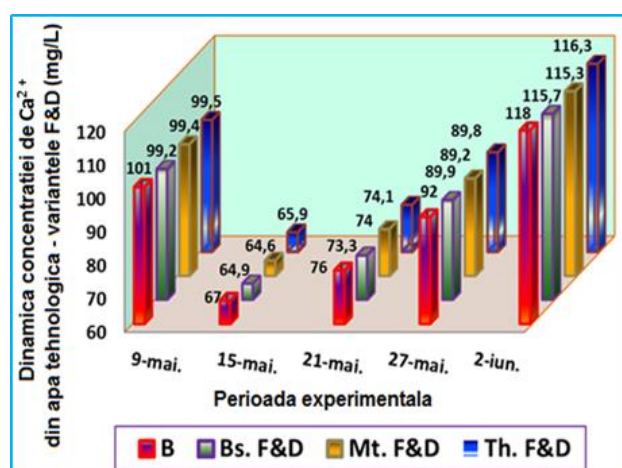


Fig. 5.9. Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice, în cadrul variantelor experimentale cu regim intermitent de submersie

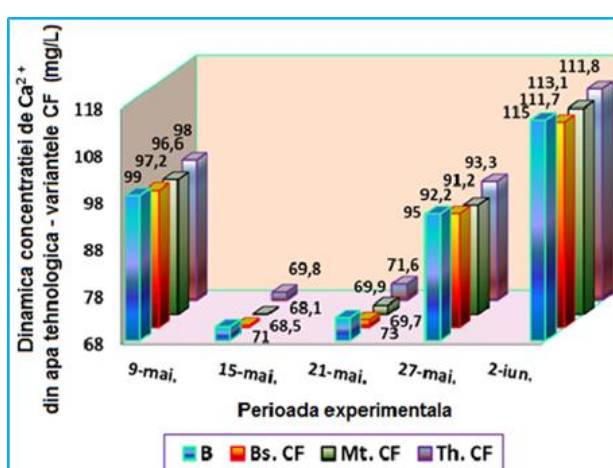


Fig. 5.10. Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice, în cadrul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie

Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie

au fost consemnate în cazul culturilor de busuioc și mentă. În ceea ce privește tarhonul, nu s-au observat diferențe semnificative statistic ($p > 0,05$) între valorile concentrației de calciu, obținute în condițiile aplicării celor două regimuri de submersie (permanent și intermitent).

În ceea ce privește valorile concentrației de calciu consemnate la nivelul modulului acvaponic, se observă o orientare a histogramei de distribuției spre dreapta și de asemenea, un grad ridicat de dispărare a valorilor în jurul mediei, fapt valabil în cazul tuturor variantelor experimentale (fig. A2. 6 – anexe, secțiunea 2).

Valorile concentrației de calciu din apa tehnologică, consemnate în cadrul prezentului experiment, sunt superioare celor raportate de alți autori ($13,57 - 44\text{mg/L}$) [134] care au aplicat tehnica acvaponică de cultură pe substrat în condiții tehnologice descrise detaliat în cadrul CAPITOLULUI IV, secțiunea 4.3.1, paragraful „evoluția concentrației de calciu”.

Evoluția concentrației de magneziu a avut o tendință descendentă, manifestată cu precădere în cadrul ultimelor cinci zile ale perioadei experimentale (fig. 5.11). Astfel, această dinamică indică un grad de acomodare ridicat a biomasei vegetale la noile condiții mediale. De asemenea, evoluția confirmă caracteristica limitativă a magneziului de-a lungul unei perioade lungi de timp, în cadrul unui sistem recirculant integrat.

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește concentrația de magneziu consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $32,28 \pm 9,92\text{mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $35,92 \pm 9,7\text{mg/L}$ în cazul Bs. CF; $35,06 \pm 9,92\text{mg/L}$ la Mt. F&D și $35,32 \pm 9,81\text{mg/L}$ la Mt. CF; $35,42 \pm 9,8\text{mg/L}$ pentru Th. F&D și $36,28 \pm 9,4\text{mg/L}$ la Th.CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de magneziu a apei tehnologice: $35,7 \pm 9,73\text{mg/L}$ la B. F&D și $36,6 \pm 9,32\text{mg/L}$ la B. CF.

Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie au fost consemnate, fapt valabil pentru toate cele trei specii de plante (busuioc, mentă, tarhon) (fig. 5.11). De asemenea, diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) au fost consemnate în condițiile comparării valorilor medii ale concentrației de magneziu consemnate în cadrul unităților acvaponice cu diferite specii de biomasă vegetală (fig. 5.11).

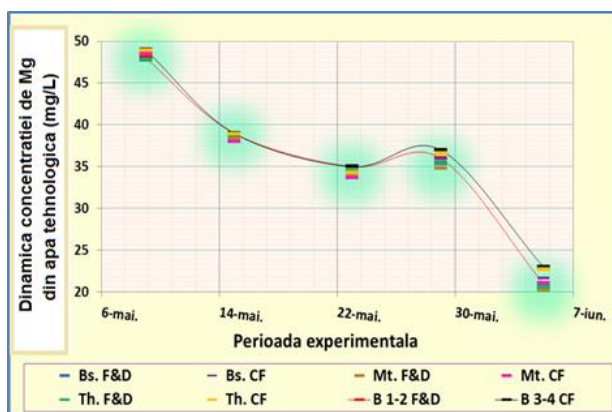


Fig. 5.11. Evoluția concentrației de magneziu la nivelul unităților acvaponice

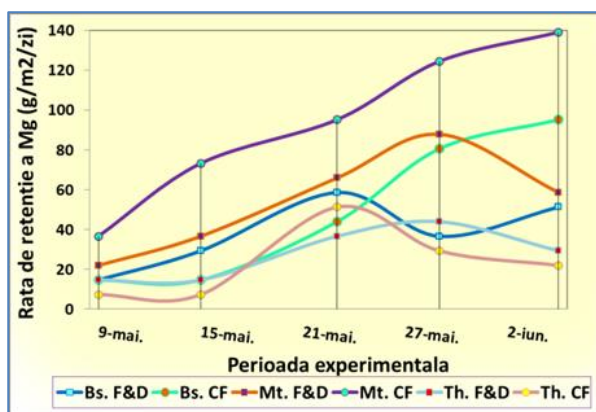


Fig. 5.12. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice

Evoluția ratei de retenție a magneziului confirmă dinamica concentrației de magneziu din cadrul sistemului recirculant integrat. Astfel, se poate distinge o evoluție ferm ascendentă a ratei de retenție a magneziului în cadrul variantelor supuse unui regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie (fig. 5.12).

Cea mai semnificativă dinamică a ratei de retenție a magneziului este consemnată în cadrul biomasei vegetale de mentă, cultivată în regim permanent de submersie, unde se observă valori superioare comparativ cu celelalte variante experimentale, pe tot parcursul

studiului (fig. 5.12). Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește rata de retenție a magneziului consemnată pe durata întregii perioade experimentale la nivelul unităților acvaponice, au fost de $38,06 \pm 17,47 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. F&D și $49,78 \pm 27,11 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. CF; $54,17 \pm 25,67 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. F&D și $93,69 \pm 40,88 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. CF; $27,82 \pm 13,09 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. F&D și $23,42 \pm 16,23 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Th. CF.

Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie au fost consemnate, în cazul tuturor variantelor experimentale, exceptând cele ce implică biomasa vegetală de tarhon (fig. 5.12).

Așadar, se poate concluziona o influență semnificativă a regimului de submersie aplicat, asupra evoluției ratei de retenție a magneziului, în cazul biomasei vegetale de busuioc și mentă (fig. 5.12). În cazul tarhonului, acesta prezintă o adaptabilitate asemănătoare în cadrul ambelor regimuri de submersie aplicate. Biomasa de mentă consemnează cea mai mare rată de retenție a magneziului, urmată de cea de busuioc și tarhon, ordinea rămânând neschimbată în cadrul ambelor regimuri de submersie aplicate (fig. 5.12). Valorile concentrației de magneziu din cadrul prezentului studiu sunt superioare celor raportate în cazul altor studii asemănătoare ($0,6 - 5,37 \text{ mg/L}$), ce au analizat dinamica nutrienților în condițiile folosirii tehnicii acvaponice pe substrat [134], în condiții tehnologice expuse în cadrul CAPITOLULUI IV, secțiunea 4.3.1., paragraful „evoluția pH-ului”.

Evoluția concentrației de potasiu a avut o tendință descendentă, manifestată mai accentuat la sfârșitul primei jumătăți a perioadei experimentale (fig. 5.13). Acest lucru este firesc deoarece, potasiul este cunoscut drept principalul macronutrient care asigură creșterea biomasei experimentale.

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește concentrația de potasiu consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice au fost de $15,55 \pm 3,8 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $15,66 \pm 3,84 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. CF; $15,21 \pm 3,86 \text{ mg/L}$ la Mt. F&D și $15,28 \pm 4 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $15,51 \pm 3,87 \text{ mg/L}$ pentru Th. F&D și $15,75 \pm 3,8 \text{ mg/L}$ la Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de potasiu a apei tehnologice: $15,68 \pm 3,79 \text{ mg/L}$ la B. F&D și $15,9 \pm 3,81 \text{ mg/L}$ la B. CF.

Valori superioare se pot observa în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie (fig. 5.13). De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetale, variantele cu tarhon înregistrează cele mai mari valori ale concentrației de potasiu, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de busuioc și apoi de mentă (fig. 5.13).

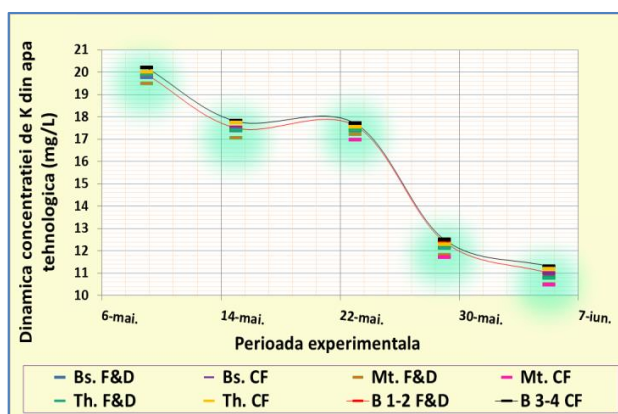


Fig. 5.13. Evoluția concentrației de potasiu la nivelul unităților acvaponice

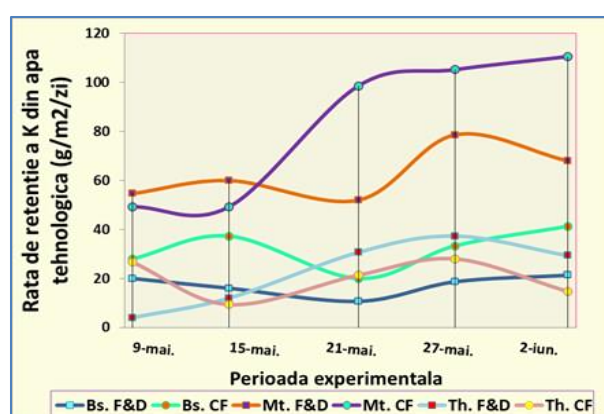


Fig. 5.14. Evoluția ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice

Rata de retenție a potasiului (fig. 5.14) consemnează o dinamică relativ constantă în cazul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc și mentă, supuse unui regim intermitent de submersie. În cazul regimului permanent de submersie, rata de retenție a potasiului înregistrează o dinamică ascendentă, afirmație valabilă pentru biomasele vegetale menționate anterior (fig. 5.14). Legat de variantele experimentale cu biomasă de tarhon, lucrurile se prezintă total opus celor menționate în cazul busuiocului și a mentei. Astfel, tarhonul cultivat în regim permanent de submersie prezintă o dinamică relativ constantă a ratei de retenție a potasiului, în timp ce o evoluție ușor ascendentă a retenției de potasiu se constată în cazul celui cultivat în regim intermitent de submersie (fig. 5.14).

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește rata de retenție a potasiului consemnată pe durata întregii perioade experimentale la nivelul unităților acvaponice, au fost de $17,32 \pm 4,21 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. F&D și $31,97 \pm 8,31 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. CF; $62,6 \pm 10,82 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. F&D și $82,58 \pm 30,69 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. CF; $22,64 \pm 14 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. F&D și $19,98 \pm 7,94 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Th. CF. Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie au fost consemnate, în cazul tuturor variantelor experimentale.

De asemenea, au fost consemnate diferențe semnificative ($p < 0,05$) între variantele experimentale cu specii diferite de biomasă vegetală (busuioc, mentă, tarhon), dar cu același regim de submersie (fig. 5.14). Biomasa de mentă consemnează cea mai mare rată de retenție a potasiului, urmată de cea de busuioc și tarhon, ordinea menționată fiind valabilă în cazul variantelor unde a fost aplicat un regim permanent de submersie (fig. 5.14). În cazul celor cu regim intermitent de submersie, mentă înregistrează cea mai mare retenție de potasiu, urmată de biomasa de tarhon și apoi cea de busuioc (fig. 5.14).

Astfel, se poate concluziona faptul că atât specia de cultură, cât și regimul de submersie aplicat influențează direct dinamica și valorile ratei de retenție a potasiului, în condițiile tehnologice precizate în prezentul experiment. Concentrațiile de potasiu din actualul studiu experimental au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii [78, 134, 149, 219], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.1, paragraful „evoluția concentrației de potasiu”) și în cadrul CAPITOLULUI IV, secțiunea 4.3.1, paragrafulul „evoluția pH-ului”.

5.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului

În vederea realizării unei imagini clare și aprofundate asupra proceselor de absorbție a nutrienților manifestate la nivelul biomaselor vegetale utilizate în cadrul prezentului experiment (busuioc, mentă, tarhon), în condiții tehnologice distincte (utilizarea tehnicii acvaponice de cultură pe substrat LECA și a diverselor regimuri de submersie), este necesară o caracterizare a dinamicii microelementelor la nivelul fiecărei unități acvaponice.

Dat fiind caracterul limitativ al fierului în cadrul sistemelor recirculante integrate, de-a lungul perioadei experimentale a prezentului studiu s-au adăugat 100g fier chelat ($20 \text{ g} \times 5$ etape). Adaosul a avut loc în cadrul unității de decantare, la următoarele date calendaristice: 7 mai, 12 mai, 18 mai, 23 mai și 29 mai.

Astfel, **evoluția concentrației de fier** de-a lungul perioadei experimentale înregistrează o tendință generală descendentă în cazul tuturor variantelor testate (fig. 5.15). O particularitate în ceea ce privește dinamica concentrației de fier din cadrul variantelor experimentale supuse unui regim intermitent de submersie, o reprezintă tendința ascendentă manifestată în perioada de început a ultimei săptămâni de experiment (fig. 5.15). Acest lucru poate fi motivat de o perioadă de acomodare mai lungă a biomasei vegetale cu noile condiții mediale sau din contră, poate fi

considerat drept etapă a unui model de creștere general valabil în cazul aplicării regimului de submersie anterior menționat în cadrul tehnicii acvaponice pe substrat de cultură LECA.

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește concentrația de fier consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $0,74 \pm 0,17 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $0,71 \pm 0,18 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. CF; $0,67 \pm 0,18 \text{ mg/L}$ la Mt. F&D și $0,59 \pm 0,2 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $0,72 \pm 0,17 \text{ mg/L}$ pentru Th. F&D și $0,74 \pm 0,17 \text{ mg/L}$ la Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de fier a apei tehnologice: $0,81 \pm 0,15 \text{ mg/L}$ la B. F&D și $0,82 \pm 0,14 \text{ mg/L}$ la B. CF.

Valori superioare ale concentrației de fier se pot observa în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim intermitent de submersie, comparativ cu cele cu regim permanent de submersie ($p < 0,05$), fapt valabil pentru biomasele de busuioc și mentă (fig. 5.15).

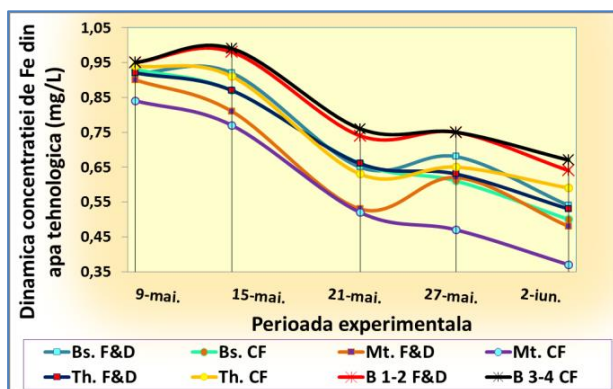


Fig. 5.15. Evoluția concentrației de fier la nivelul unităților acvaponice

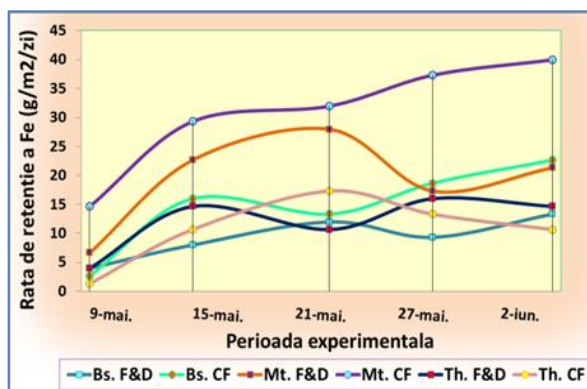


Fig. 5.16. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice

În cazul tarhonului situația se prezintă total opus, valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrației de fier la evacuarea unităților acvaponice fiind consemnate în condițiile aplicării regimului permanent de submersie (fig. 5.15). De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetală, variantele cu tarhon înregistrează cele mai mari valori ale concentrației de fier la nivelul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de busuioc și apoi mentă ($p < 0,05$) (fig. 5.15).

Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice prezintă o dinamică ascendentă, manifestată în deosebi în cazul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie (fig. 5.16). Astfel, se poate distinge o dinamică puternic ascendentă în cazul variantelor experimentale cu biomasă de mentă în regim permanent de submersie, în timp ce la polul opus se află variantele cu biomasă de tarhon, cultivat în condițiile aplicării aceluiași regim de submersie (fig. 5.16). Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește rata de retenție a fierului consemnată pe durata întregii perioade experimentale la nivelul unităților acvaponice, au fost de $9,33 \pm 3,64 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. F&D și $14,65 \pm 7,53 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. CF; $19,18 \pm 7,97 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. F&D și $30,64 \pm 9,87 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. CF; $11,99 \pm 4,89 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. F&D și $10,66 \pm 5,88 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Th. CF.

Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost utilizat regimul intermitent de submersie au fost consemnate în cazul tuturor variantelor experimentale, exceptând cele cu biomasă de tarhon. De asemenea, au fost obținute diferențe semnificative ($p < 0,05$) între variantele experimentale cu specii diferite de biomasă vegetală (busuioc, mentă, tarhon), dar cu același regim de submersie (fig. 5.16). Biomasa de mentă consemnează cea mai mare rată de retenție a fierului, urmată de cea de busuioc și tarhon, ordinea menționată fiind valabilă în cazul variantelor unde a fost aplicat un regim permanent de submersie (fig. 5.16). În cazul celor cu

regim intermitent de submersie, mentă înregistrează cea mai mare retenție de fier, urmată de biomasa de tarhon și apoi cea de busuioc (fig. 5.16).

Concentrațiile de fier din actualul studiu experimental au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii [149, 195, 222], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraful „evoluția concentrației de fier”).

Dinamica concentrației de mangan din apa tehnologică, pe parcursul perioadei experimentale, a consemnat o tendință puternic descendentă în prima săptămână de experiment, urmată de o evoluție constantă până la sfârșitul perioadei experimentale (fig. 5.17).

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește concentrația de mangan consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $0,68 \pm 0,15 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $0,7 \pm 0,15 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. CF; $0,6 \pm 0,17 \text{ mg/L}$ la Mt. F&D și $0,64 \pm 0,17 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $0,65 \pm 0,16 \text{ mg/L}$ pentru Th. F&D și $0,67 \pm 0,16 \text{ mg/L}$ - Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de mangan a apei tehnologice: $0,7 \pm 0,14 \text{ mg/L}$ la B. F&D și $0,71 \pm 0,15 \text{ mg/L}$ la B. CF.

Valori superioare ale concentrației de mangan se pot observa în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.17). De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetală, variantele cu busuioc înregistrează cele mai mari valori ale concentrației de mangan, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de tarhon și apoi mentă ($p < 0,05$), fapt valabil în cazul ambelor regimuri de submersie testate (fig. 5.17).

Rata de retenție a manganului consemnează o evoluție foarte diferită, în funcție de regimul de submersie aplicat și de specia de biomasă vegetală din cadrul unităților acvaponice în cauză (fig. 5.18). Astfel, în ceea ce privește variantele experimentale cu biomasă de busuioc, acestea au înregistrat o evoluție relativ constantă de-a lungul întregii perioade experimentale (fig. 5.18). Fluctuații mari în evoluție au fost consemnate în cazul variantelor experimentale cu tarhon și regim permanent de submersie și mentă în regim intermitent de submersie (fig. 5.18).

Variantele cu evoluția ascendentă cea mai pronunțată sunt cele ce implică cultivarea tarhonului în regim intermitent de submersie și a mentei în regim permanent de submersie (fig. 5.18). Așadar, se poate concluziona faptul că evoluția ratei de retenție a manganului este influențată semnificativ de specia de biomasă vegetală cultivată și de asemenea, regimul de submersie aplicat. Din prezentul experiment nu se poate însă deduce o corelație bine definită între factorii ce produc variația ratei de retenție a manganului, menționați anterior.

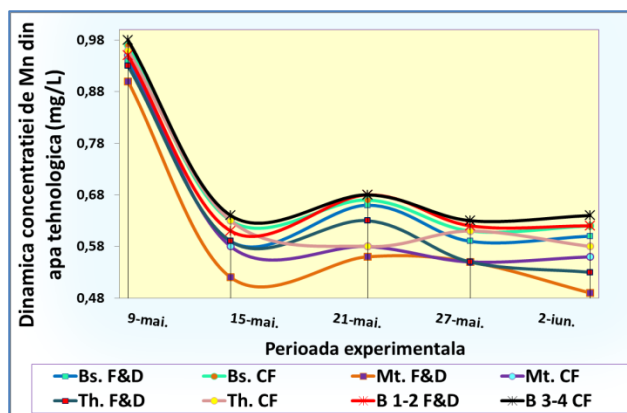


Fig. 5.17. Evoluția concentrației de mangan la nivelul unităților acvaponice

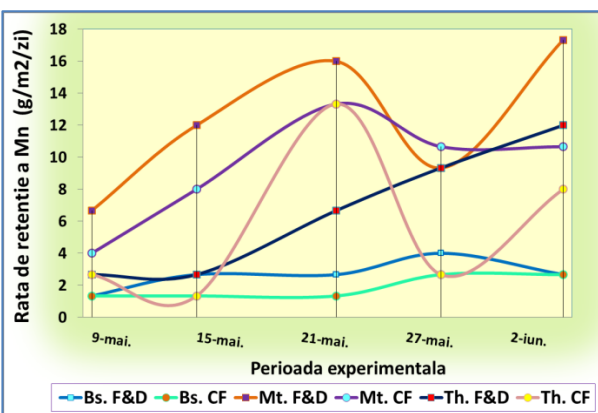


Fig. 5.18. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul unităților acvaponice

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește rata de retenție a manganului consemnată pe durata întregii perioade experimentale la nivelul unităților acvaponice, au fost de

$2,67 \pm 0,94 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. F&D și $1,86 \pm 0,73 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. CF; $12,25 \pm 4,46 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. F&D și $9,32 \pm 3,52 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. CF; $6,66 \pm 3,1 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. F&D și $5,59 \pm 3,08 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ -Th. CF.

Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie, au fost consemnate în cazul tuturor variantelor experimentale (fig. 5.18).

De asemenea, au fost obținute diferențe semnificative ($p < 0,05$) între variantele experimentale cu specii diferite de biomasă vegetală (busuioc, mentă, tarhon), dar cu același regim de submersie (fig. 5.18). Biomasa de mentă consemnează, pe departe, cea mai mare rată de retenție a manganului, urmată de cea de tarhon și busuioc, ordinea menționată fiind valabilă în cazul ambelor regimuri de submersie testate (fig. 5.18).

Concentrațiile de mangan din actualul studiu experimental au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii [134, 149, 178, 195], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2 (paragraful „concentrația de mangan”) și al CAPITOLULUI IV, secțiunea 4.3.2. (paragraful „evoluția concentrației de mangan”).

Evoluția concentrației de clor în cadrul sistemului recirculant integrat are o tendință ascendentă în prima jumătate a perioadei experimentale, aceasta devenind însă constantă spre finalul ciclului de creștere a biomasei vegetale (fig.5.19). Media concentrației de clor în cadrul sistemului recirculant integrat a fost de $49,44 \pm 3,53 \text{ mg/L}$, fără diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) la nivelul variantelor experimentale.

Valorile consemnate au fost obținute în condițiile aplicării unei rate zilnice de schimb a apei tehnologice de până la 5% din totalul masei de apă existente la un moment dat în cadrul sistemului recirculant integrat.

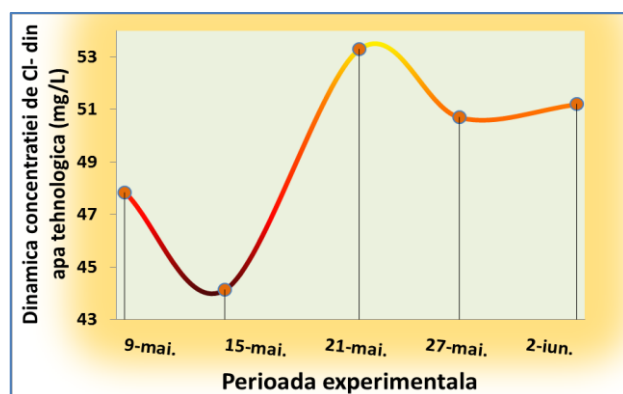


Fig. 5.19. Evoluția concentrației de clor la nivelul sistemului recirculant integrat

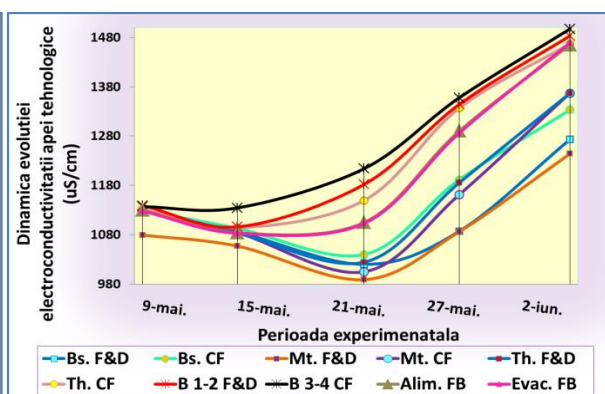


Fig. 5.20. Evoluția electroconductivității (EC) la nivelul unităților acvaponice

Electroconductivitatea (EC) apei tehnologice reprezintă expresia cantității totale de ioni din apa tehnologică [211]. Evoluția EC a înregistrat o tendință ascendentă, manifestată îndeosebi în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale (fig. 5.20).

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește EC consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice au fost de $1119 \pm 94,51 \text{ } \mu\text{S/cm}$ în cazul Bs. F&D și $1157,4 \pm 112,59 \text{ } \mu\text{S/cm}$ în cazul Bs. CF; $1091,1 \pm 93,7 \text{ } \mu\text{S/cm}$ la Mt. F&D și $1149,3 \pm 135,1 \text{ } \mu\text{S/cm}$ la Mt. CF; $1157,9 \pm 130,95 \text{ } \mu\text{S/cm}$ pentru Th. F&D și $1235,7 \pm 159,68 \text{ } \mu\text{S/cm}$ la Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale EC apei tehnologice: $1248,8 \pm 161,07 \text{ } \mu\text{S/cm}$ la B. F&D și $1268 \pm 156,8 \text{ } \mu\text{S/cm}$ la B. CF.

La alimentarea unității de filtrare biologică a fost consemnată o valoare medie a EC de $1214,8 \pm 161,72 \text{ } \mu\text{S/cm}$, în timp ce, la evacuare s-a înregistrat o medie de $1213,8 \pm 163,62 \text{ } \mu\text{S/cm}$.

Valori superioare ale EC se observă în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie.

De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetală, variantele cu tarhon înregistrează cele mai mari valori ale EC, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de busuioc și apoi mentă ($p < 0,05$), fapt valabil în cazul ambelor regimuri de submersie testate (fig. 5.20).

Dediu și colab. (2012), în condițiile tehnologice descrise anterior (paragraful „evoluția pH-ului”), au raportat o valoare medie a EC, la alimentarea – evacuarea unității acvaponice în condițiile unui HRT de 5,4min, de $574,4 \mu\text{S/cm}$ – $577,6 \mu\text{S/cm}$, în timp ce pentru un HRT de 2,7min valorile medii ale EC la alimentarea - evacuarea unităților acvaponice au fost $573,5 \mu\text{S/cm}$ – $574,7 \mu\text{S/cm}$ [130].

Hanson și colab. (2008) au raportat o valoare medie EC apei tehnologice de $1624,91 \mu\text{S/cm}$ pentru folosirea combinației de specii busuioc – tilapia, în condiții acvaponice [79]. Valorile consemnate în cadrul prezentului experiment au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii experimentale [76, 125, 130, 134, 195], prezentate detaliat în cadrul CAPITOLELOR III și IV, secțiunile 3.3.2 și 4.3.2, paragraful „electroconductivitatea (EC)”.

Duritatea totală a apei prezintă o dinamică descendentă în prima jumătate a perioadei experimentale, urmată de o evoluție ascendentă, mai slabă în intensitate față de cea menționată anterior, în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale (fig. 5.21).

Astfel, au fost obținute următoarele valori medii între duplicate, în ceea ce privește duritatea totală a apei, consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice: $22,05 \pm 3,29^\circ\text{dH}$ în cazul Bs. F&D și $22,03 \pm 3,16^\circ\text{dH}$ în cazul Bs. CF; $21,99 \pm 3,28^\circ\text{dH}$ la Mt. F&D și $21,87 \pm 3,16^\circ\text{dH}$ la Mt. CF; $22,17 \pm 3,23^\circ\text{dH}$ pentru Th. F&D și $22,33 \pm 3,15^\circ\text{dH}$ Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au obținut următoarele medii ale durității totale a apei tehnologice: $22,53 \pm 3,24\text{mg/L}$ la B. F&D și $22,64 \pm 3,13\text{mg/L}$ la B. CF.

Valori superioare ale durității totale se pot observa în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim intermitent de submersie, comparativ cu cele cu regim permanent de submersie ($p < 0,05$), situație valabilă pentru biomasele de busuioc și mentă (fig. 5.21).

În cazul tarhonului, rezultatele sunt radical diferite, acestea indicând o adaptabilitate mai bună în ceea ce privește retenția anumitor nutrienți, în cazul variantelor cu regim intermitent de submersie (fig. 5.21).

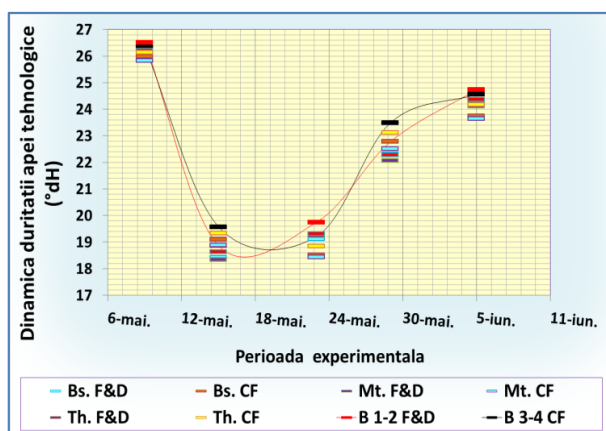


Fig. 5.21 Evoluția durității totale la nivelul unităților acvaponice

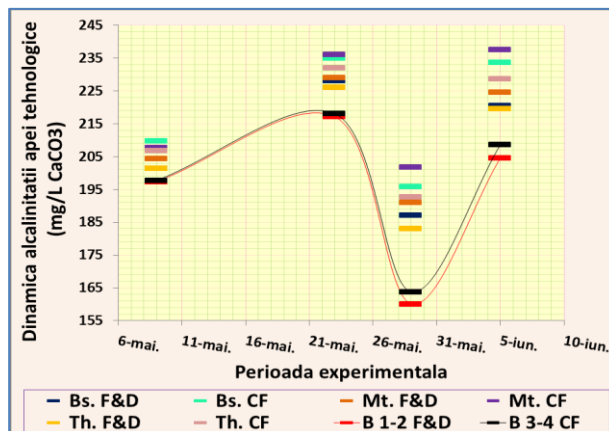


Fig. 5.22: Evoluția alcalinității la nivelul unităților acvaponice

De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetală, variantele cu tarhon înregistrează cele mai mari valori ale durtății totale, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de busuioc și apoi mentă ($p < 0,05$), fapt valabil în cazul ambelor regimuri de submersie testate (fig. 5.21).

Valorile durtății totale, obținute în cadrul prezentului studiu, se încadrează în ecartul raportat de alți autori ($3,5 - 32^{\circ}\text{dH}$) [149], în condiții tehnologice descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraful „durtatea totală a apei”.

Alcalinitatea apei tehnologice a consemnat o evoluție fluctuantă de-a lungul perioadei experimentale, cu extreme maxime obținute după primele 12 zile de la începutul experimentului, urmate de extremele minime, înregistrate după încă 5 zile (fig. 5.22). Corelațiile dintre alcalinitate și valoarea pH-ului și respectiv a concentrației de CO_2 , sunt atent analizate în cadrul sistemelor acvaponice, cu precăderea în cazul unor culturi vegetale a căror cicluri de creștere și dezvoltare presupun perioade lungi de timp.

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește alcalinitatea consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $209 \pm 18,58 \text{ mg/L CaCO}_3$ în cazul Bs. F&D și $218,56 \pm 19,1 \text{ mg/L CaCO}_3$ în cazul Bs. CF; $212,3 \pm 17,74 \text{ mg/L CaCO}_3$ la Mt. F&D și $220,81 \pm 18,69 \text{ mg/L CaCO}_3$ la Mt. CF; $207,55 \pm 19,35 \text{ mg/L CaCO}_3$ pentru Th. F&D și $215,06 \pm 18,6 \text{ mg/L CaCO}_3$ pentru Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale alcalinității apei tehnologice: $194,81 \pm 24,5 \text{ mg/L CaCO}_3$ la B.F&D și $197,06 \pm 23,7 \text{ mg/L CaCO}_3$ la B. CF.

Valori superioare ale alcalinității, obținute la evacuarea unităților acvaponice, se observă în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$), situație valabilă în cazul tuturor biomaselor vegetale (busuioc, mentă, tarhon) (fig. 5.22). De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetală, variantele cu mentă înregistrează cele mai mari valori ale alcalinității, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de busuioc și apoi tarhon ($p < 0,05$), fapt valabil în cazul ambelor regimuri de submersie testate (fig. 5.22).

Valorile alcalinității, consemnate în cadrul prezentului experiment, s-au încadrat în intervalele de variație raportate de alți autori ($99 - 513 \text{ mg/L}$), în cadrul unor studii asemănătoare [177, 149], descrise amănunțit în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraful „alcalinitatea apei tehnologice” [149, 226].

Evoluția consumului chimic de oxigen (COD) înregistrează o tendință puternic ascendentă de-a lungul întregii perioade experimentale (fig. 5.23). Astfel, funcționarea substratului de cultură LECA drept mediu filtrator în vederea îndepărtării solidelor groiere este descrisă și în cadrul CAPITOLULUI IV, secțiunea 4.3.2, paragraf „evoluția consumului chimic de oxigen (COD)”. Acest lucru determină acumularea solidelor groiere la nivelul substratului LECA, proces influențat în mare măsură și de gradul de dezvoltare și caracteristicile morfo - biometrice a suprafeței radiculare corespunzătoare diverselor specii de plante cultivate în regim acvaponic (fig. 5.24).

În decursul timpului, substanța organică acumulată la nivelul substratului LECA are tendința de a se decanta, fapt întâlnit în special în cazul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim intermitent de submersie. Astfel, s-a observat că folosirea acestui regim de submersie înlesnește procesul de decantare a substanței organice la baza unităților acvaponice și de asemenea, facilitează evacuarea acesteia cu ajutorul sistemului de evacuare tip sifon clopot „siphon bell” de care dispune.

Ca atare, se poate afirma faptul că folosirea unui regim intermitent de submersie asigură un oarecare grad de autocurățare a substratului LECA, în comparație cu regimul permanent de submersie. Această afirmație este sprijinită de valorile medii dintre duplicate, în ceea ce

privește concentrația COD consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice și anume: $82,33 \pm 22,54 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $84,8 \pm 22,23 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. CF; $82,23 \pm 22,77 \text{ mg/L}$ la Mt. F&D și $83,6 \pm 23,16 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $81,53 \pm 22,03 \text{ mg/L}$ pentru Th. F&D și $84,08 \pm 21,1 \text{ mg/L}$ - Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației COD a apei tehnologice: $84,01 \pm 21,1 \text{ mg/L}$ la B. F&D și $84,6 \pm 21,7 \text{ mg/L}$ la B. CF.

Valori superioare ale concentrației COD se pot observa în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.23). De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetală, variantele cu busuioc înregistrează cele mai mari valori ale concentrației COD, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de mentă și apoi tarhon, fapt valabil în cazul regimului permanent de submersie ($p > 0,05$) (fig. 5.23).

În cadrul variantelor cu regim intermitent de submersie, busuiocul a înregistrat cele mai mari concentrații de COD consemnate la evacuarea unităților acvaponice în cauză, urmat de tarhon și mentă ($p < 0,05$) (fig. 5.23).

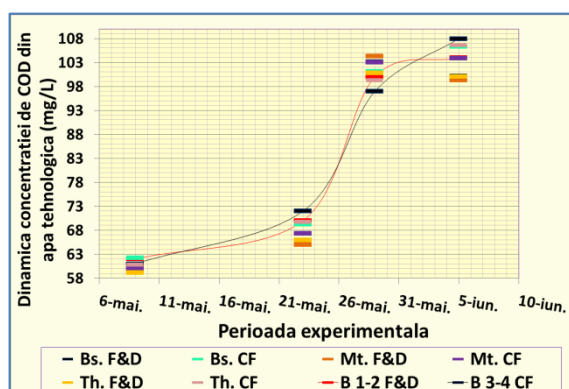


Fig. 5.23. Evoluția concentrației de COD la nivelul unităților acvaponice

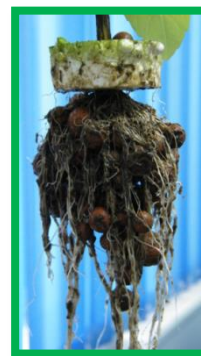


Fig. 5.24. Acumularea de substanță organică la nivelul suprafeței radiculare a biomasei vegetale (foto original)

Ghaly și colab. (2005) au studiat potențialul de fitoremediere a diverselor specii de plante, utilizând drept sursă de apă efluentul rezultat din acvacultură, mai exact creșterea somnului [156]. Astfel, au fost raportate următoarele ecarturi de variație a concentrației COD consemnată la evacuarea unităților acvaponice: $490\text{--}1120 \text{ mg/L}$ în cazul lucernei, $390\text{--}970 \text{ mg/L}$ la variantele cu trifoi, $485\text{--}970 \text{ mg/L}$ la variantele cu secară și $405\text{--}545 \text{ mg/L}$ pentru orz [156].

Concentrația de COD consemnată la alimentarea unităților acvaponice a înregistrat o valoare medie de 240 mg/L [156]. Valorile foarte mari ale concentrației de COD consemnate în studiul anterior, în raport cu cele înregistrate în prezentul experiment, pot fi motivate de condițiile tehnologice distincte, studiul nefiind întreprins în cadrul unui sistem recirculant integrat precum prezentul, ci într-un sistem acvaponic deschis.

Evoluția concentrației de TOC (carbon organic total) înregistrează o tendință ascendentă de-a lungul perioadei experimentale, mai proeminentă în cazul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie (fig. 5.25). Implicațiile monitorizării TOC la nivelul unui sistem recirculant integrat, de-a lungul unui ciclu de producție, sunt prezentate detaliat în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraful „evoluția concentrației de TOC”.

Ca atare, valori superioare ale concentrației TOC se pot observa în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.25). De asemenea, în ceea ce privește

specia de biomasă vegetală, variantele cu tarhon înregistrează cele mai mari valori ale concentrației TOC, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de busuioc și apoi mentă, fapt valabil în cazul ambelor regimuri de submersie ($p > 0,05$) (fig. 5.25).

Diferențele sesizate indică faptul că, unitățile acvaponice cu biomasă de mentă au reținut o cantitate mai mare din substanța organică introdusă în cadrul acestora prin intermediul efluentului rezultat din creșterea păstrugii, comparativ cu cele cu biomasă de mentă sau tarhon. Acest lucru poate fi motivat în mare măsură de gradul de dezvoltare al suprafeței radiculare. Astfel, menta are rădăcini ce cresc foarte ramificat, atât pe direcție orizontală, cât și pe verticală, acoperind o suprafață mare la nivelul substratului LECA.

Tarhonul în schimb, are o suprafață radiculară tip țărș, ce se dezvoltă cu precădere în plan vertical, fapt ce determină o suprafață de acoperire mai mică, la nivelul substratului LECA.

Rădăcinile busuiocului se dezvoltă elipsoidal, captând o bună parte din substanța organică pe suprafața specifică hidrotonului, pe care îl acoperă (fig. 5.24).

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește concentrația de TOC consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $31,06 \pm 14,21 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $34,8 \pm 16,75 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. CF; $30,73 \pm 13,8 \text{ mg/L}$ la Mt. F&D și $34,34 \pm 16,07 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $31,43 \pm 14,88 \text{ mg/L}$ pentru Th. F&D și $34,75 \pm 18,21 \text{ mg/L}$ - Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de TOC a apei tehnologice: $29,66 \pm 17,06 \text{ mg/L}$ la B. F&D și $33,27 \pm 20,72 \text{ mg/L}$ la B. CF.

Valori superioare ale concentrației de TOC se pot observa în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.25).

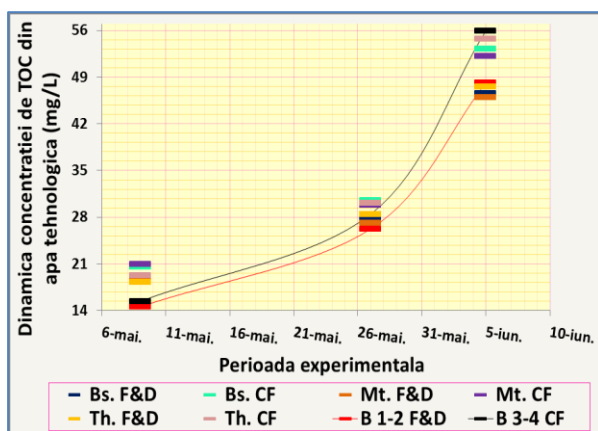


Fig. 5.25. Evoluția concentrației de TOC la nivelul unităților acvaponice

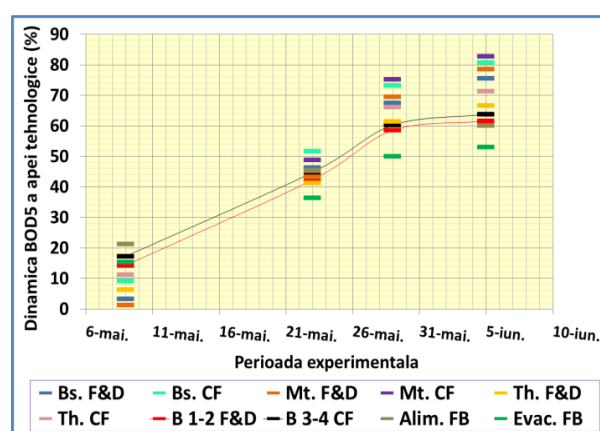


Fig. 5.26. Evoluția BOD5 la nivelul unităților acvaponice

Necesarul biochimic de oxigen (BOD5) a consemnat o evoluție ascendentă de-a lungul perioadei experimentale, prezentând totuși o tendință constantă spre finalul celor 38 de zile (fig. 5.26). Dinamica BOD5 prezintă o corelație în raport cu anumiți parametri sugestivi în vederea evaluării gradului de acumulare a substanței organice la nivelul unităților acvaponice și anume, COD și TOC.

Valori procentuale superioare ($p < 0,05$) au fost consemnate în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, în cazul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie, față de cele cu regim intermitent de submersie (fig. 5.26).

Acest lucru indică o acumulare mai intensă de substanță organică în cadrul unităților acvaponice cu regim permanent de submersie, fapt ce confirmă ipoteza din cadrul paragrafului „evoluția consumului chimic de oxigen (COD)”, referitoare la capacitatea sistemului de

evacuare tip sifon clopot de a înlesni procesul de decantare a substanței organice în interiorul unității acvaponice și de asemenea, de a facilita evacuarea acesteia.

Valorile medii dintre duplicate în ceea ce privește BOD₅, consemnate pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $48,18 \pm 22,26\%$ în cazul Bs. F&D și $53,74 \pm 22,1\%$ în cazul Bs. CF; $48,18 \pm 24,64\%$ la Mt. F&D și $53,25 \pm 24,55\%$ la Mt. CF; $43,93 \pm 17,35\%$ pentru Th. F&D și $48,49 \pm 17,26\%$ - Th. CF.

La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale BOD₅: $44,18 \pm 11,63\%$ la B. F&D și $46,49 \pm 12,16\%$ la B. CF. Valori procentuale superioare ale BOD₅ se observă în cazul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc și mentă, față de cele cu tarhon ($p < 0,05$) (fig. 5.26).

La alimentarea unității de filtrare biologică se consemnează o valoare medie procentuală a BOD₅ de $44,21 \pm 6,43\%$ în timp ce, la evacuarea acesteia se înregistrează o medie de $38,67 \pm 7,13\%$. Diferențele sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au constatat o creștere a valorii procentuale a BOD₅, consemnate la evacuarea unităților acvaponice, pe măsura creșterii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de $47,3\%$ în cazul unui HLR de $0,64 \text{ m/zi}$ la un maxim de $65,5\%$ la un HLR de $3,2 \text{ m/zi}$ [133].

Valorile procentuale obținute pentru BOD₅ în cazul prezentului experiment, se încadrează în ecartul celor raportate în cadrul altor studii asemănătoare ($47,3 - 65,5\%$), descrise în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.3.2, paragraful „necesarul biochimic de oxigen (BOD₅)” [133].

Totalul solidelor în suspensie (TSS) a consemnat o evoluție relativ constantă în prima jumătate a perioadei experimentale, urmată de o tendință puternic ascendentă, prezentă până la sfârșitul experimentului (fig. 5.27).

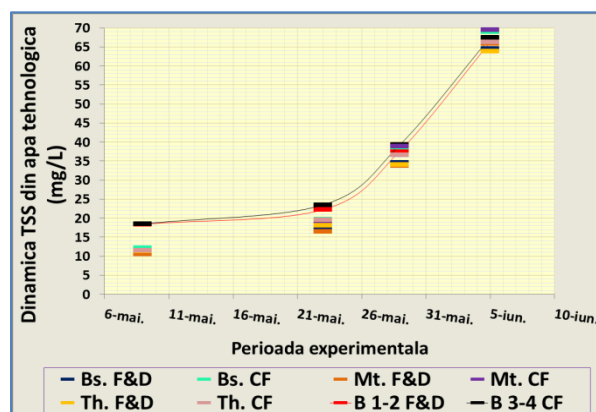


Fig. 5.27. Evoluția concentrației de TSS la nivelul unităților acvaponice

Evoluția TSS este în corelație directă cu dinamica COD, TOC și BOD₅, fapt ce confirmă capacitatea substratului de cultură LECA de a îndepărta solidele din masa apei și funcționarea eficientă a acestuia în acest sens, de-a lungul primei jumătăți a perioadei experimentale. În a doua jumătate a perioadei experimentale are loc o acumulare considerabilă de substanță organică la nivelul unităților acvaponice, fapt ce determină scăderea eficienței acestora în vederea îndepărtării solidelor din masa apei (fig. 5.27).

De asemenea, un posibil fenomen caracteristic în special variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim intermitent de submersie, constă în îndepărtarea unor cantități mari de solide sedimentate la baza unității acvaponice, la intervale de timp neregulate, fapt datorat modului în care a fost proiectat sistemul de evacuare tip sifon clopot.

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește concentrația de TSS consemnată pe durata întregii perioade experimentale, la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $32,02 \pm 13,85 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. F&D și $34,9 \pm 15,32 \text{ mg/L}$ în cazul Bs. CF; $31,75 \pm 14,86 \text{ mg/L}$ la Mt. F&D și $34,65 \pm 16,01 \text{ mg/L}$ la Mt. CF; $31,89 \pm 13,4 \text{ mg/L}$ pentru Th. F&D și $33,58 \pm 14,26 \text{ mg/L}$ - Th. CF. La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale concentrației de TSS a apei tehnologice: $36,17 \pm 13,74 \text{ mg/L}$ la B. F&D și $37,25 \pm 14,06 \text{ mg/L}$ la B. CF.

Valori superioare ale concentrației de TSS se observă în cazul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc, față de cele cu tarhon și mentă (fig. 5.27).

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au constatat o creștere a ratei de îndepărtare a TSS, manifestată la nivelul unităților acvaponice, pe măsura creșterii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de 67% în cazul unui HLR de 0,64 m/zi la un maxim de 82,9% la un HLR de 3,2 m/zi [133].

Ghaly și colab. (2005), în condiții tehnologice menționate anterior (paragraf „evoluția consumului chimic de oxigen (COD)”, au fost raportate următoarele ecarturi de variație a concentrației TSS consemnată la evacuarea unităților acvaponice: 1240-2630mg/L în cazul lucernei, 1050 – 2330mg/L la variantele cu trifoi, 2440 – 3780mg/L la variantele cu secară, 1690 – 2260mg/L pentru orz și 1290 – 1740mg/L [156]. Aceștia au menționat de asemenea, o rată de retenție a TSS la nivelul unităților acvaponice, cuprinsă între 54,7 – 91% [156].

Valorile foarte mari ale TSS consemnate în studiul anterior, în raport cu cele înregistrate în prezentul experiment, pot fi argumentate pe baza condițiilor tehnologice distincte, studiul nefiind întreprins în cadrul unui sistem recirculant integrat precum prezentul, ci într-un sistem acvaponic deschis, fapt precizat de altfel și în cadrul paragrafului „evoluția consumului chimic de oxigen (COD)”.

Turbiditatea apei tehnologice a consemnat o dinamică ușor ascendentă la nivelul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, în timp ce raportat la punctele de prelevare situate la alimentarea acestora și la alimentarea și evacuarea unității de filtrare biologică a prezentat fluctuații semnificative (fig. 5.28). În evaluarea dinamicii turbidității trebuie luată în calcul și ipoteza menționată în cadrul CAPITOLULUI IV, secțiunea 4.3.2, paragraful „turbiditatea”, conform căreia erodarea hidrotanului, proces manifestat în timp, poate influența semnificativ valorile turbidității la un moment dat.

Se observă valori superioare ale turbidității în cazul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie, față de cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.28). De asemenea, în ceea ce privește specia de biomasă vegetală, variantele cu mentă înregistrează cele mai mari valori ale turbidității, în cadrul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, urmate fiind de cele cu biomasă de busuioc și apoi tarhon, fapt valabil în cazul ambelor regimuri de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.28).

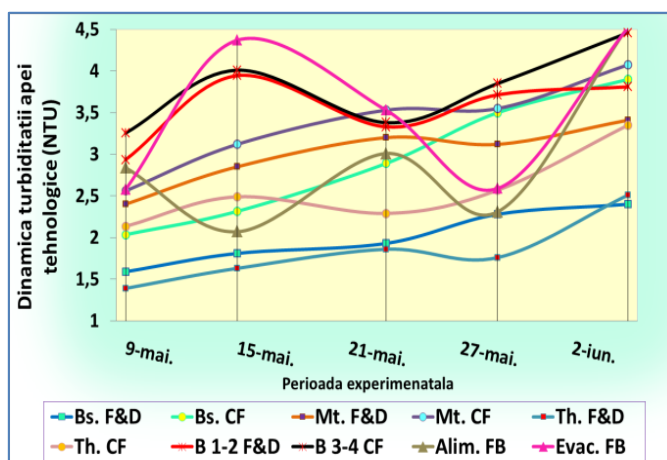


Fig. 5.28. Evoluția turbidității la nivelul unităților acvaponice

Valorile medii dintre duplicate, în ceea ce privește turbiditatea apei, consemnată pe durata întregii perioade experimentale la evacuarea unităților acvaponice, au fost de $2 \pm 0,33$ NTU în cazul Bs. F&D și $2,93 \pm 0,78$ NTU în cazul Bs. CF; $2,99 \pm 0,38$ NTU la Mt. F&D și $3,37 \pm 0,56$ NTU la Mt. CF; $1,83 \pm 0,42$ NTU pentru Th. F&D și $2,57 \pm 0,47$ NTU - Th. CF.

La alimentarea unităților acvaponice s-au consemnat următoarele medii ale turbidității apei tehnologice: $3,55 \pm 0,41$ NTU la B. F&D și $3,79 \pm 0,49$ NTU la B. CF. Valorile turbidității apei tehnologice consemnate la alimentarea unității de filtrare biologică au fost de $2,95 \pm 0,96$ NTU, în timp ce la evacuarea acesteia s-a consemnat o valoare medie de $3,52 \pm 0,93$ NTU.

Valorile obținute în prezentul studiu, în ceea ce privește turbiditatea, au fost superioare celor raportate de Blidariu și colab. (2013) în condițiile folosirii în regim acvaponic a combinației de specii șalău – salată verde [253]. Acest lucru poate fi argumentat prin faptul că prezentul

studiu a fost realizat prin folosirea tehnicii acvaponice de cultură pe substrat LECA, în timp ce Blidariu și colab. (2013) [253] au folosit tehnica acvaponică de cultură pe suport flotabil.

Astfel, acest fapt reprezintă încă un argument în vederea susținerii ipotezei menționate anterior, referitoare la dependența directă dintre valoarea turbidității apei tehnologice și gradul de eroziune a hidrotonului.

5.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului

Azotul, fosforul și calciul sunt cele trei macroelemente de bază, a căror concentrație în cadrul unui sistem recirculant integrat poate fi optimizată prin diverse tehnici nutriționale sau acvaponice, astfel încât să se asigure un deziderat important al activității economice în cauză și anume, maximizarea productivității biomasei piscicole și a celei vegetale și ca atare, creșterea profitabilității.

Astfel, necesitatea cunoașterii bilanțului fiecăruia dintre cele trei macroelemente amintite este oportună în vederea dimensionării raporturilor de masă (biomasa piscicolă:biomasa vegetală) necesare a fi aplicate pe durata întregului ciclu de producție, în diverse condiții tehnologice.

Bilanțul azotului

În vederea determinării bilanțului azotului, s-a evaluat rata de îndepărtare a azotului la nivelul unităților acvaponice precum și cantitatea de azot din carnea de păstrugă, din suprafața foliară și radiculară a biomasei vegetale și de asemenea, din cantitatea de reziduuri fecale, drept procent din totalul azotului introdus în cadrul sistemului recirculant integrat, prin intermediul furajului distribuit, de-a lungul perioadei experimentale.

Ca atare, în ceea ce privește evoluția **ratei de îndepărtare a TAN**, aceasta consemnează o tendință ascendentă în cazul variantelor supuse unui regim permanent de submersie, în timp ce variantele în cadrul cărora a fost aplicat regimul intermitent de submersie au prezentat o dinamică relativ constantă, cu fluctuații însemnate, de-a lungul perioadei experimentale (fig. 5.29).

Valorile medii ale ratei de îndepărtare a TAN, consemnate în rândul duplicatelor tuturor variantelor experimentale, sunt următoarele: $0,31 \pm 0,12 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. A. F&D și $0,30 \pm 0,1 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. B. F&D; $0,25 \pm 0,16 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Bs. A. CF și $0,26 \pm 0,17 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Bs. B. CF; $0,44 \pm 0,16 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ aferent Mt. A. F&D și $0,45 \pm 0,14 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ aferent Mt. B. F&D; $0,38 \pm 0,2 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Mt. A. CF și $0,36 \pm 0,18 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Mt. B. CF; $0,38 \pm 0,15 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. A. F&D și $0,40 \pm 0,12 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. B. F&D; $0,23 \pm 0,17 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cadrul Th. A. CF și $0,22 \pm 0,14 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cadrul Th. B. CF.

Valorile obținute sunt influențate în mare parte de intensitatea proceselor de oxidare de la nivelul substratului de cultură LECA.

Tyson și colab. (2012) precizează dependența directă, semnificativă, a proceselor de oxidare din cadrul unui substrat de cultură format din perlit, de valorile pH-ului [226]. În cadrul prezentului experiment se constată diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie (fig. 5.29).

Astfel, valorile superioare ale ratei de îndepărtare TAN înregistrate în cazul variantelor experimentale cu regim intermitent de submersie, denotă o intensitate superioară a procesului de oxidare a amoniacului în nitriți. Acest fapt este posibil a fi generat de eliminarea mai eficientă a substanței organice de la nivelul unităților acvaponice și de asemenea, de asigurarea unui grad mai ridicat în ceea ce privește aerarea substratului de cultură.

De asemenea, au fost consemnate diferențe semnificative ($p < 0,05$) între variantele experimentale cu specii diferite de biomasă vegetală (busuioc, mentă, tarhon), dar cu același regim de submersie (fig. 5.29).

Biomasa de mentă consemnează cea mai mare rată de îndepărtare a TAN-ului, urmată de cea de tarhon și busuioc, ordinea menționată fiind valabilă în cazul variantelor unde a fost aplicat un regim intermitent de submersie (fig. 5.29).

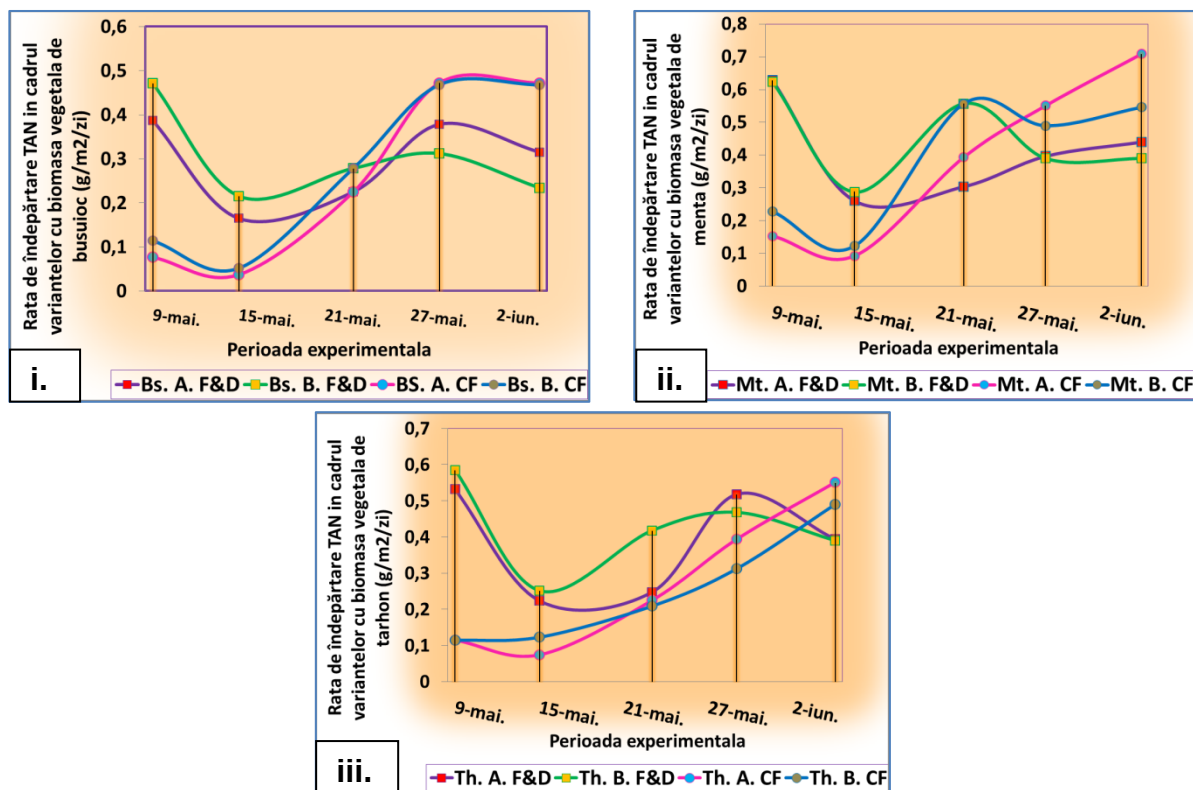


Fig. 5.29. Evoluția ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul unităților acvaponice:

i – variantele experimentale cu biomasă de busuioc; ii – variantele experimentale cu biomasă de mentă; iii – variantele experimentale cu biomasă de tarhon.

În cazul celor cu regim permanent de submersie, menta înregistrează cea mai mare rată de îndepărtare a TAN-ului, urmată de biomasa de busuioc și apoi de cea de tarhon (fig. 5.29). Acest lucru este explicabil, luând în considerare faptul că menta are suprafața radiculară cel mai puternic ramificată, aceasta folosind drept substrat pentru dezvoltarea bacteriilor autotrofe.

În ceea ce privește rata de îndepărtare a TAN-ului, consemnată la nivelul modulului acvaponic, se observă o distribuție simetrică în jurul mediei, valabilă pentru toate variantele experimentale (fig. A2. 7 – anexe, secțiunea 2).

Un grad superior de disipare a valorilor în jurul mediei se poate consemna în cazul variantelor experimentale supuse unui regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie (fig. A2. 7 – anexe, secțiunea 2).

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), a constatat o creștere a ratei de îndepărtare a TAN, manifestată la nivelul unităților acvaponice, pe măsura creșterii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de 64,1% în cazul unui HLR de 0,64 m/zi la un maxim de 78,3% la un HLR de 3,2 m/zi [133].

Dediu și colab. (2012), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraf „evoluția pH-ului”) au raportat o valoare procentuală a ratei de îndepărtare a TAN-ului de 69,86% în cazul unui HRT de 2,7min și 74,44% pentru un HRT de 5,4min [130].

Rata de îndepărtare a nitraților înregistrează o evoluție generală descendentă, cu fluctuații semnificative în cazul variantelor cu regim permanent de submersie și biomasă de busuioc și mentă și al celor cu regim intermitent de submersie și biomasă de tarhon (fig. 5.30). Valorile medii ale ratei de îndepărtare a nitraților consemnate în rândul duplicatelor tuturor variantelor experimentale sunt următoarele: $7,14 \pm 3,44 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. A. F&D și $6,07 \pm 3,1 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. B. F&D; $11,91 \pm 3,15 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Bs. A. CF și $10,84 \pm 3,3 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Bs. B. CF; $3,72 \pm 1,79 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ aferent Mt. A. F&D și $3,69 \pm 2,46 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ aferent Mt. B. F&D; $6,17 \pm 2,79 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Mt. A. CF și $5,59 \pm 3,05 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Mt. B. CF; $2,93 \pm 1,95 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. A. F&D și $2,97 \pm 1,83 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. B. F&D; $1,31 \pm 0,88 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cadrul Th. A. CF și $1,55 \pm 0,68 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cadrul Th. B. CF.

Valorile obținute sunt influențate de regimul de submersie aplicat, intensitatea proceselor de oxidare a nitriților în nitrați și de asemenea, de capacitatea speciilor de plante în cauză de a reține azotul sub formă de nitrați din apa tehnologică.

S-au constatat diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele supuse regimului intermitent de submersie (fig. 5.30).

Valorile superioare ale ratei de îndepărtare a nitraților înregistrate în cazul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc și mentă cultivate în regim permanent de submersie ($p < 0,05$), evidențiază o adaptabilitate mai bună a acestor specii de plante la condițiile tehnologice date (fig. 5.30). Pe de altă parte, variantele cu biomasă de tarhon consemnează o rată de îndepărtare a nitraților mai bună în cazul aplicării unui regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.30). Ca atare, specia de biomasă vegetală este hotărâtoare în ceea ce privește aplicarea unui anume regim de submersie, necesar asigurării unui grad ridicat de tratare a apei tehnologice pe tot parcursul perioadei experimentale.

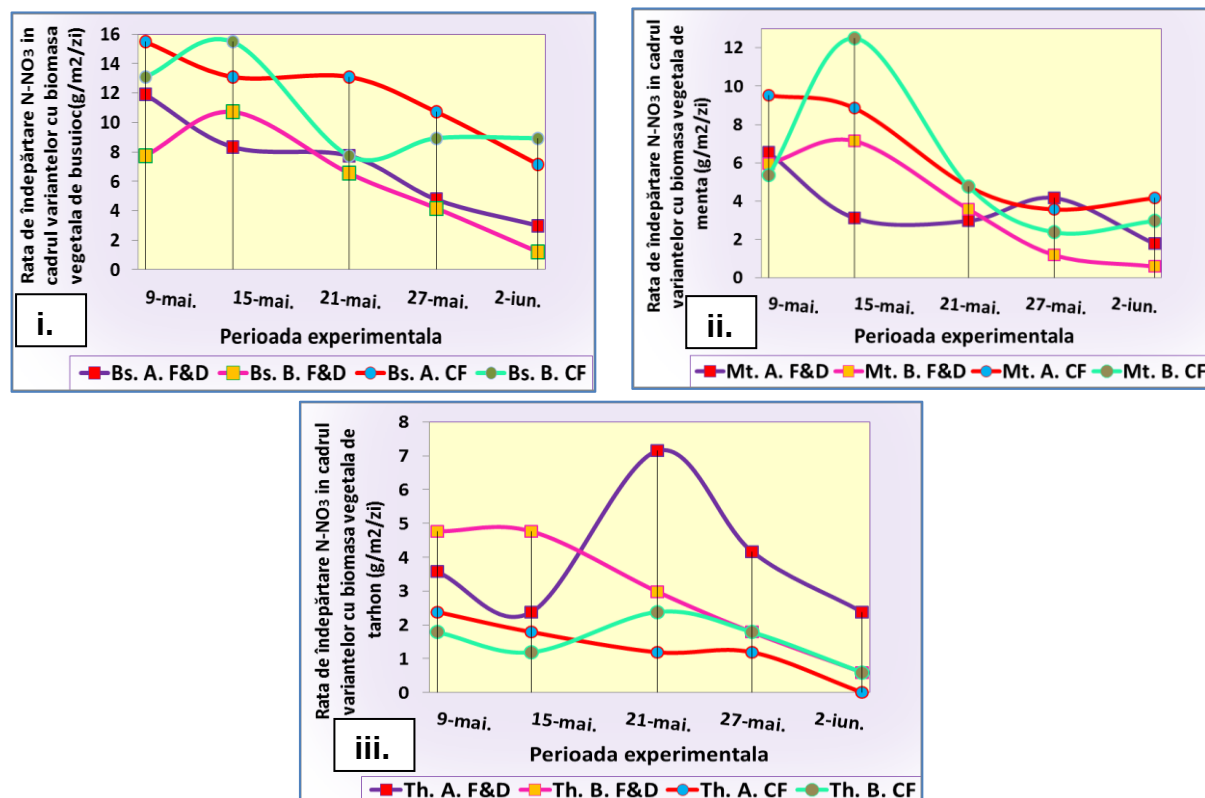


Fig. 5.30. Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul unităților acvaponice: i. – variantele experimentale cu biomasă de busuioc; ii. – variantele experimentale cu biomasă de mentă; iii. – variantele experimentale cu biomasă de tarhon.

Au fost obținute diferențe semnificative ($p < 0,05$) între variantele experimentale cu specii diferite de biomasă vegetală (busuioc, mentă, tarhon), dar cu același regim de submersie (fig. 5.30). Biomasa de busuioc consemnează cea mai mare rată de îndepărtare a nitraților, urmată de cea de mentă și tarhon ($p < 0,05$), ordinea menționată fiind valabilă în cazul tuturor variantelor experimentale (fig. 5.30). Astfel, intensitatea proceselor de oxidare, colaborată cu cea a absorbției biomasei vegetale, recomandă busuiocul drept specia de plante cu potențialul de fitoremediere cel mai mare, din cadrul speciilor testate. Intensitatea proceselor de oxidare a amoniacului în nitriți, înregistrată la nivelul unităților acvaponice, poate fi un factor decisiv ce a condus la obținerea acestei ierarhizări.

În ceea ce privește rata de îndepărtare a nitraților consemnată la nivelul modulului acvaponic, se observă un grad superior de disipare a valorilor în jurul mediei, în cadrul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc, comparativ cu cele cu mentă și tarhon (fig. A2.8 – anexe, secțiunea 2). De asemenea, variantele experimentale cu biomasă de tarhon, în regim permanent de submersie, au prezentat o distribuție simetrică, cu intervale scurte de disipare a valorilor în jurul mediei (fig. A2.8 – anexe, secțiunea 2). Variantele experimentale cu biomasă de mentă consemnează diferențe mici între valorile extreme și grupul de valori distribuit în jurul mediei, fapt ce generează o arie mai plată a suprafeței delimitate de histograma de distribuție (fig. A.2.8 – anexe, secțiunea 2).

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”) au constatat o creștere a ratei de îndepărtare a nitraților, manifestată la nivelul unităților acvaponice, pe măsura scăderii valorii ratei hidraulice de încărcare, de la un minim de 42,3% în cazul unui HLR de 3,2 m/zi la un maxim de 62,4% la un HLR de 0,64 m/zi [133].

Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VTR), consemnată la nivelul unității de filtrare biologică, înregistrează o tendință slab ascendentă, cu fluctuații semnificative de-a lungul perioadei experimentale (fig. 5.31). Astfel, în cadrul prezentului experiment a fost consemnat un ecart de variație a VRT cuprins între 1,2 – 2,67g/m³/zi, cu o valoare medie de 1,95g/m³/zi.

Valorile înregistrate au fost superioare celor raportate în cadrul altor studii experimentale [230, 231], descrise în CAPITOLULUL III, secțiunea 3.3.3, paragraful „rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total”. Cu toate acestea, având în vedere caracteristicile constructive ale unității de filtrare biologică, se poate afirma faptul că, aceasta a funcționat la limita inferioară a parametrilor optimi. O posibilă cauză poate fi reprezentată de acumularea consistentă de substanță organică la nivelul sistemului recirculant integrat, spre sfârșitul perioadei experimentale, fapt confirmat și de evoluțiile COD, TOC, BOD5 și TSS (fig. 5.23, fig. 5.25, fig. 5.26 și fig. 5.27).

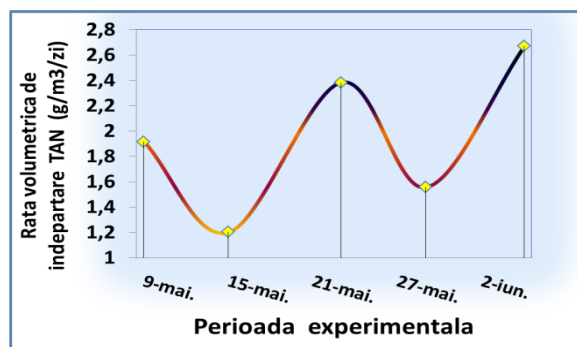


Fig. 5.31. Evoluția ratei volumetrice de îndepărtare a azotului amoniacal total (VRT)

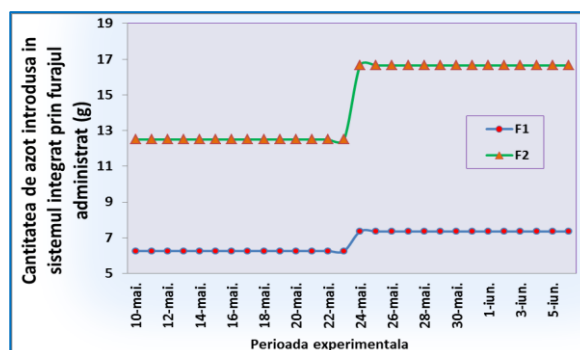


Fig. 5.32. Evoluția cantității de azot introduse în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

Fluctuațiile în evoluția VRT pot fi generate de regimul intermitent de submersie al unităților acvaponice. Astfel, precum a fost menționat anterior, o evacuare în regim intermitent de submersie asigură o rată de îndepărtare mai bună, aleatorie în evoluție, a substanței organice acumulate la baza unităților acvaponice. Acest fapt poate determina fluctuații ale VRT și ca atare o eficiență mai scăzută a unității de filtrare biologică. Trebuie precizat faptul că, în aceste condiții, funcționarea unității de îndepărtare a solidelor grosiere a fost în limitele normale prescrise pentru caracteristicile tehnice ale acesteia. Pentru atingerea unor performanțe optime de funcționare, Zarski și colab. (2010) recomandă o perioadă de 10 zile de monitorizare a unităților de filtrare biologică, după terminarea procesului de activare al acestora [314].

Cantitatea de azot introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a fost de 598,43g (F1 – 190,44g și F2 – 407,99g), cu o medie zilnică de 21,38g/zi (F1 – 6,8g/zi și F2 – 14,57g/zi). Trebuie menționat faptul că de-a lungul perioadei experimentale s-a distribuit o cantitate de 8884,12g furaj *Clasic Extra 1P* (41%P). Concentrația proteică a furajului administrat a fost verificată prin analize de laborator, aplicând metoda *Kjeldahl* și consemnând astfel o concentrație în proteină de 42,1%. Cantitatea totală de azot (TKN) introdusă în cadrul sistemului s-a calculat folosind concentrația proteică obținută în urma analizei de laborator. La mijlocul perioadei experimentale, biomasa piscicolă a fost cântărită și astfel, cantitatea zilnică de hrană administrată a fost recalculată în funcție de sporul de creștere consemnat (fig. 5.32).

Evoluția concentrației de azot (TKN) din reziduurile fecale înregistrează o tendință puternic ascendentă în prima jumătate a perioadei experimentale, urmată de o dinamică descendentă de-a lungul celei de-a doua jumătăți, menținută până la finalul experimentului (fig. 5.33). Analiza compoziției chimice a reziduurilor fecale este foarte utilă în vederea stabilirii cu exactitate a bilanțului diverselor macroelemente, la nivelul unui sistem recirculant integrat. Studiile recente, precum cel condus de Jamu și Piedrahita (2002) [315], au inclus rezultatele obținute din analiza sedimentelor și a reziduurilor fecale în cadrul unui model de analiză ecologică a integrării activității industriale de acvacultură cu cea de agricultură.

În cadrul prezentului experiment a fost consemnat un ecart de variație a concentrației de azot (TKN) din reziduurile fecale cuprins între 4,73 – 5,58g%SU, cu o valoare medie de $4,05 \pm 0,36$ g%SU.

Trebuie precizat faptul că, evoluția descendentă a azotului din reziduurile fecale coincide cu momentul recalculării cantității zilnice de hrană distribuită, ca urmare a sporului de creștere consemnat la nivelul biomasei piscicole, până în respectivul moment (fig. 5.32 și fig. 5.33).

Astfel, se poate concluziona o creștere a ratei de asimilare a proteinelor de către biomasa de păstrugă, odată cu creșterea disponibilității acestora, generată de suplimentarea cantității zilnice de hrană distribuită.

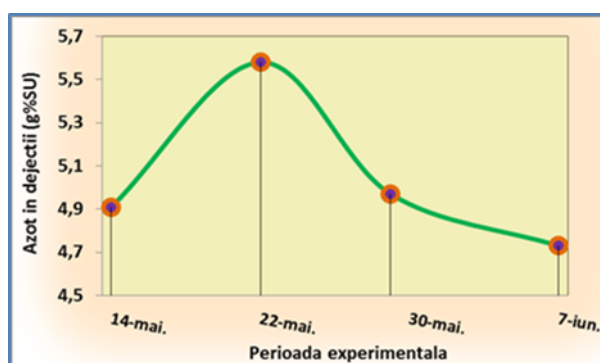


Fig. 5.33. Evoluția concentrației de azot din reziduurile fecale

Azotul (TKN) din carnea de păstrugă a fost determinat prin metoda *Kjeldahl*, analiza fiind efectuată pe un lot de 5 exemplare, atât la începutul, cât și la finalul perioadei experimentale. Astfel, a fost consemnată o valoare medie de $2,57 \pm 0,08$ g% TKN pentru întreg lotul experimental, în perioada premergătoare celei experimentale (fig. 5.34 și fig. 5.35). La finalul perioadei experimentale s-au înregistrat valori medii de $2,68 \pm 0,09$ g% în cazul F1

(variantele unde a fost aplicată o rație de furajare de 1%BW, pe duplicat) și $2,85 \pm 0,06\%$ în cazul F2 (rație de furajare 2%BW, pe duplicat).

Diferențele dintre concentrațiile inițiale și cele consemnate la finalul perioadei experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) doar în cazul F2 (2%BW). De asemenea, diferențele dintre cele două variante experimentale (F1 și F2) sunt semnificative statistic ($p < 0,05$).

Cantitatea de azot reținută în carnea de păstrugă pe durata perioadei experimentale a înregistrat o valoare medie de 2,27g/exemplar în cazul F1 și 4,83g/exemplar la F2 (fig. 5.34).

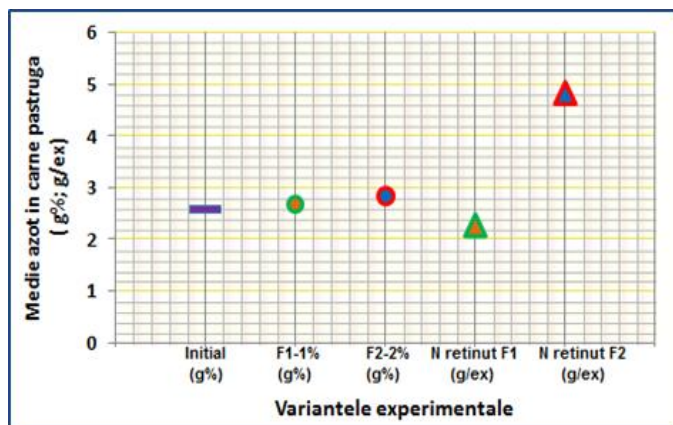


Fig. 5.34. Azotul (TKN) din carnea de păstrugă

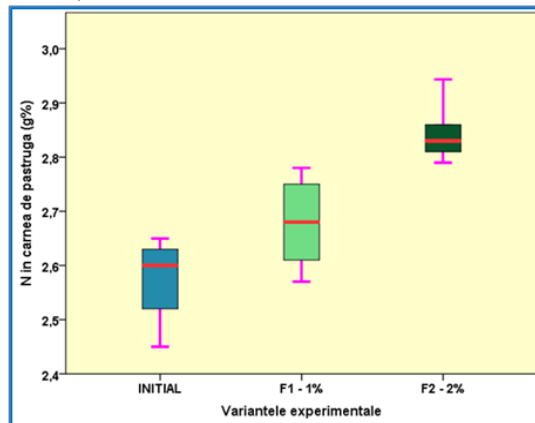


Fig. 5.35. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din carnea de păstrugă

Diferențele dintre cele două variante experimentale, în ceea ce privește cantitatea medie de azot reținută de către fiecare exemplar, sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Trebuie precizat faptul că diferențele consemnate au fost influențate în mare măsură și de sporul de creștere net superior, înregistrat în dreptul variantei experimentale F2 (2%BW), comparativ cu F1 (1%BW).

În ceea ce privește distribuția valorilor concentrației de TKN din carnea de păstrugă, consemnată înainte de începerea perioadei experimentale, se observă o curbă de distribuție înclinată spre dreapta, cu probabilități ridicate pentru valori extreme în partea stângă a intervalului (fig. 5.35).

Astfel, se poate concluziona faptul că folosirea unei rații de furajare de 2% influențează semnificativ concentrația de TKN din carnea de păstrugă, crescută în condițiile tehnologice exemplificate în cadrul prezentului capitol.

Concentrația de azot (TKN) din frunzele și rădăcinile biomasei vegetale, obținute în condiții acvaponice utilizând două regimuri de submersie (permanent și intermitent), a fost determinată pe un eșantion de 5 plante din cadrul fiecăreia din variantele experimentale menționate, pe duplicat (fig. 5.36 și fig. 5.37). De asemenea, același protocol de lucru a fost aplicat și în cazul busuiocului, mentei și tarhonului obținute în condiții convenționale, pe sol cu o valoare medie a TKN de 0,37%.

Astfel, au fost înregistrate următoarele valori medii ale **concentrației de azot (TKN) din biomasa foliară a busuiocului cultivat în regim acvaponic**, pe duplicat: $2,05 \pm 0,23\%$ SU (substanță uscată) în cadrul Bs. A. F&D și $2,1 \pm 0,32\%$ SU în cadrul Bs. B. F&D; $2,9 \pm 0,31\%$ SU pentru Bs. A. CF și $3,03 \pm 0,33\%$ SU pentru Bs. B. CF (fig. 5.36). Busuiocul cultivat pe sol (Bs. MK.) a înregistrat o concentrație medie a TKN de $2,19 \pm 0,33\%$ SU (fig. 5.36). La începutul perioadei experimentale, concentrația de TKN din biomasa foliară a răsadurilor de busuioc, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Bs. Inițial), a consemnat o valoare medie de $1,49 \pm 0,31\%$ SU (fig. 5.36).

Diferențele consemnate între cele două variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). De asemenea, diferențe semnificative ($p < 0,05$) se constată între valoarea concentrației de TKN din suprafața foliară a busuiocului obținut convențional pe sol și cel obținut în condiții acvaponice, în cazul variantelor unde a fost aplicat un regim permanent de submersie.

Concentrația de TKN consemnată la începutul perioadei experimentale, la nivelul suprafeței foliare a răsadurilor de busuioc, a fost semnificativ mai scăzută ($p < 0,05$) comparativ cu cea consemnată la finalul experimentului, fapt valabil în cazul ambelor variante experimentale (cu regim permanent (CF) și intermitent (F&D) de submersie). Nu s-au consemnat diferențe semnificative între duplicatele variantelor experimentale cu biomasă de busuioc ($p > 0,05$).

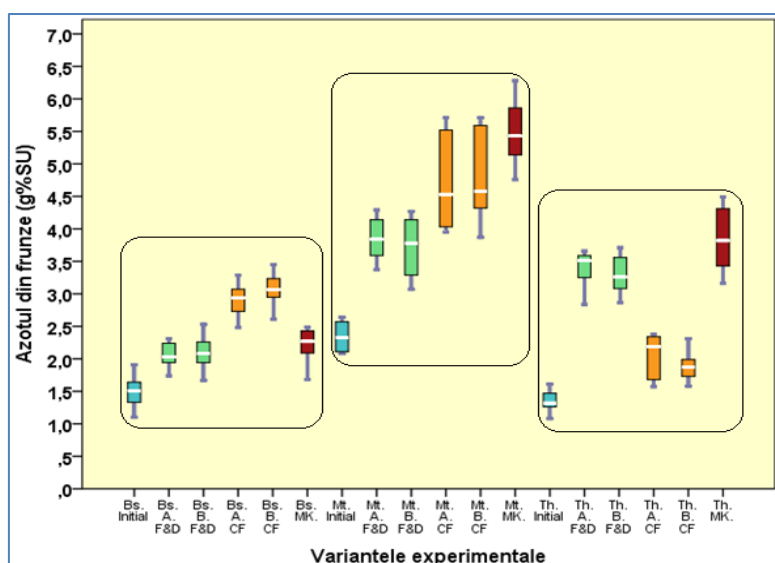


Fig. 5.36. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului

Valorile medii ale *concentrației de azot (TKN) din biomasa foliară a mentei, cultivată în regim acvaponic*, pe duplicat, au fost următoarele: $3,84 \pm 0,38\text{g\% SU}$ (substanță uscată) în cadrul Mt. A. F&D și $3,71 \pm 0,51\text{g\%SU}$ în cadrul Mt. B. F&D; $4,75 \pm 0,82\text{g\%SU}$ pentru Mt. A. CF și $4,82 \pm 0,81\text{g\%SU}$ pentru Mt. B. CF (fig. 5.36). Menta cultivată pe sol (Mt. MK.) a înregistrat o concentrație medie a TKN de $5,49 \pm 0,6\text{g\%SU}$ (fig. 5.36).

La începutul perioadei experimentale, concentrația de TKN din biomasa foliară a răsadurilor de mentă, transplantați în cadrul unităților acvaponice (Mt. Inițial), a consemnat o valoare medie de $2,35 \pm 0,26\text{g\%SU}$ (fig. 5.36).

Diferențele obținute între cele două variante, la finalul perioadei experimentale, sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). De asemenea, diferențe semnificative ($p < 0,05$) se constată între valoarea concentrației de TKN din suprafața foliară a mentei obținută convențional pe sol și cea obținută în condiții acvaponice, fapt valabil în cazul ambelor regimuri de submersie aplicate.

Concentrația de TKN consemnată la începutul perioadei experimentale, la nivelul suprafeței foliare a răsadurilor de mentă, a fost semnificativ mai scăzută ($p < 0,05$) comparativ cu cea consemnată la finalul experimentului, în cazul ambelor variante experimentale (cu regim permanent (CF) și intermitent (F&D) de submersie). Nu s-au consemnat diferențe semnificative între duplicatele variantelor experimentale cu biomasă de mentă ($p > 0,05$).

Valorile medii ale *concentrației de azot (TKN) din biomasa foliară a tarhonului, cultivat în regim acvaponic*, pe duplicat, au fost următoarele: $3,37 \pm 0,33\text{g\% SU}$ (substanță uscată) în

cadrul Th. A. F&D și $3,19 \pm 0,29\text{g\%SU}$ în cadrul Th. B. F&D; $2,02 \pm 0,38\text{g\%SU}$ pentru Th. A. CF și $1,89 \pm 0,28\text{g\%SU}$ pentru Th. B. CF (fig. 5.36). Tarhonul cultivat pe sol (Th. MK.) a înregistrat o concentrație medie a TKN de $3,84 \pm 0,54\text{g\%SU}$ (fig. 5.36).

La începutul perioadei experimentale, concentrația de TKN din biomasa foliară a răsadurilor de tarhon, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Th. Inițial), a consemnat o valoare medie de $1,34 \pm 0,2\text{g\%SU}$ (fig. 5.36). Diferențele consemnate între cele două variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). De asemenea, diferențe semnificative ($p < 0,05$) se constată între valoarea concentrației de TKN din suprafața foliară a tarhonului obținut convențional pe sol și cel obținut în condiții acvaponice, fapt valabil în cadrul ambelor regimuri de submersie aplicate.

Concentrația de TKN consemnată la începutul perioadei experimentale, la nivelul suprafeței foliare a răsadurilor de tarhon, a fost semnificativ mai scăzută ($p < 0,05$) comparativ cu cea consemnată la finalul experimentului, în cazul ambelor variante experimentale (cu regim permanent (CF) și intermitent (F&D) de submersie). Nu s-au consemnat diferențe semnificative între duplicatele variantelor experimentale cu biomasă de tarhon ($p > 0,05$).

Astfel, se poate concluziona o concentrație de TKN din biomasa foliară a busuiocului și a mentei, superioară în cazul variantelor în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$). Acest lucru denotă o adaptabilitate mai bună a biomaselor de busuioc și mentă la condițiile mediale existente în cadrul unităților unde a fost aplicat regimul permanent de submersie.

În cazul tarhonului situația se prezintă radical opus, acesta consemnând valori mai ridicate a TKN din biomasa foliară în cazul aplicării unui regim intermitent, comparativ cu regimul permanent de submersie. Ca atare, se poate constata adaptabilitatea mai bună a acestei specii de plante la condițiile mediale ce se regăsesc la nivelul unităților acvaponice cu sistem de evacuare proiectat pentru asigurarea unui regim intermitent de submersie. Diferențe semnificative între concentrațiile de TKN consemnate la nivelul biomasei foliare au fost consemnate între cele trei specii de plante testate (busuioc, mentă și tarhon).

Dzida (2010) a raportat o concentrație a TKN din biomasa foliară a busuiocului cuprinsă între $5,25 - 5,41\text{g\%SU}$ [316]. Grzeszczuk și Jadczyk (2008) raportează o concentrație a TKN din biomasa foliară a tarhonului cuprinsă între $0,57 - 1,16\text{g\%SU}$ [317] în timp ce, alte surse științifice [318, 319] raportează concentrații de $3,64\text{g\%SU}$. Este necesar a fi menționat faptul că, valorile consemnate în cadrul studiilor prezentate anterior [316, 317, 318, 319] corespund biomaselor de busuioc și tarhon cultivate convențional pe sol, întrucât cercetări asemănătoare celor prezentate în cadrul prezentului capitol nu au fost întreprinse până în prezent. Această situație a fost constatată în urma unei analize amănunțite a literaturii de specialitate disponibilă spre a fi accesată.

Valorile medii ale *concentrației de azot (TKN) din biomasa radiculară a busuiocului cultivat în regim acvaponic*, pe duplicat, au fost următoarele: $3,92 \pm 0,58\text{g\%SU}$ (substanță uscată) în cadrul Bs. A. F&D și $3,4 \pm 0,5\text{g\%SU}$ în cadrul Bs. B. F&D; $4,73 \pm 0,71\text{g\%SU}$ pentru Bs. A. CF și $5,45 \pm 0,58\text{g\%SU}$ pentru Bs. B. CF (fig. 5.37). La începutul perioadei experimentale, concentrația de TKN din biomasa radiculară a răsadurilor de busuioc, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Bs. Inițial) a consemnat o valoare medie de $3,09 \pm 0,48\text{g\%SU}$ (fig. 5.37).

Diferențele obținute între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Concentrația de TKN consemnată la începutul perioadei experimentale, la nivelul suprafeței radiculare a răsadurilor de busuioc, a fost semnificativ mai scăzută ($p < 0,05$) comparativ cu cea consemnată la finalul experimentului, fapt valabil în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie

Valorile medii ale *concentrației de azot (TKN) din biomasa radiculară a mentei cultivate în regim acvaponic*, pe duplicat au fost următoarele: $5,38 \pm 0,61 \text{ g\% SU}$ (substanță uscată) în cadrul Mt. A. F&D și $5,88 \pm 0,52 \text{ g\% SU}$ în cadrul Mt. B. F&D; $7,31 \pm 0,37 \text{ g\% SU}$ pentru Mt. A. CF și $8,11 \pm 0,47 \text{ g\% SU}$ pentru Mt. B. CF (fig. 5.37). La începutul perioadei experimentale, concentrația de TKN din biomasa radiculară a răsadurilor de mentă, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Mt. Inițial) a înregistrat o valoare medie de $3,52 \pm 0,42 \text{ g\% SU}$ (fig. 5.37).

Diferențele consemnate între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Concentrația de TKN consemnată la începutul perioadei experimentale, la nivelul suprafeței radiculare a răsadurilor de mentă, a fost semnificativ mai scăzută ($p < 0,05$) comparativ cu cea consemnată la finalul experimentului, fapt valabil în cadrul ambelor regimuri de submersie aplicate.

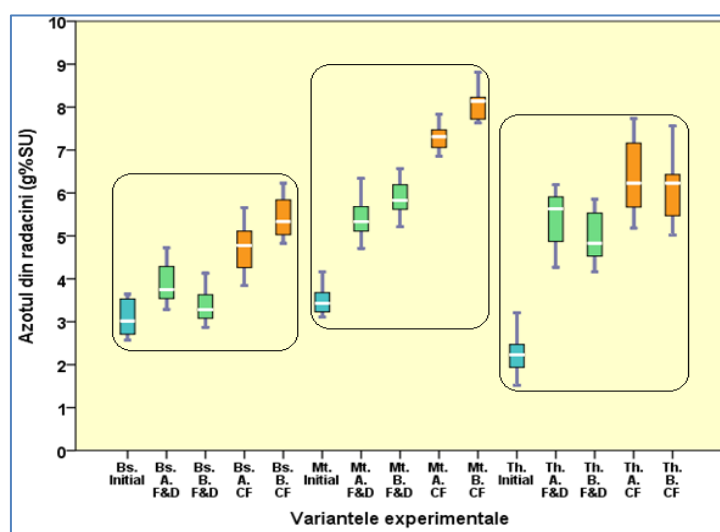


Fig. 5.37. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului

Valorile medii ale *concentrației de azot (TKN) din biomasa radiculară a tarhonului, cultivat în regim acvaponic*, pe duplicat, au fost următoarele: $5,37 \pm 0,79 \text{ g\% SU}$ (substanță uscată) în cadrul Th. A. F&D și $4,98 \pm 0,7 \text{ g\% SU}$ în cadrul Th. B. F&D; $6,39 \pm 1,05 \text{ g\% SU}$ pentru Th. A. CF și $6,14 \pm 0,98 \text{ g\% SU}$ pentru Th. B. CF (fig. 5.37). La începutul perioadei experimentale, concentrația de TKN din biomasa radiculară a răsadurilor de tarhon, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Th. Inițial), a consemnat o valoare medie de $2,27 \pm 0,63 \text{ g\% SU}$ (fig. 5.37).

Diferențele obținute între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). Concentrația de TKN consemnată la începutul perioadei experimentale, la nivelul suprafeței radiculare a răsadurilor de tarhon, a fost semnificativ mai scăzută ($p < 0,05$) comparativ cu cea consemnată la finalul experimentului, fapt valabil în cadrul ambelor regimuri de submersie aplicate.

Astfel, se poate conchide o concentrație de TKN din biomasa radiculară a mentei și a tarhonului superioară celei consemnate în cazul busuiocului, în condițiile aplicării unui regim intermitent de submersie ($p < 0,05$).

În ceea ce privește variantele cu regim permanent de submersie, menta a înregistrat cea mai mare valoare a concentrației TKN din biomasa radiculară, urmată în ordine de tarhon și busuioc ($p < 0,05$). De asemenea, se observă o rată de acumulare a azotului la nivelul biomasei radiculare considerabil mai ridicată, comparativ cu cea consemnată la nivelul biomasei foliare (fig. 5.36 și fig. 5.37).

Prin cuantificarea informațiilor prezentate anterior în acest subcapitol (5.3.3), a rezultat bilanțul azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat (tabel 5.1). Similar cu principii

menționate anterior (capitolul III, secțiunea 3.3.3), cantitatea de azot neregăsită la nivelul compartimentelor studiate ale sistemului este considerată fie ca parte a deșeurilor eliminate prin spălare la nivelul unității de îndepărtare a solidelor, fie eliminată sub formă de azot liber.

Se constată o eficiență mai mare în ceea ce privește procentul de retenție al azotului, manifestată în cadrul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie, fapt valabil pentru biomasa de mentă și cea de busuioc (tabel. 5.1).

Biomasa de tarhon înregistrează o valoare procentuală superioară în ceea ce privește retenția azotului, în cazul variantei experimentale unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie.

De asemenea, biomasa piscicolă în cadrul căreia s-a administrat o rație zilnică de furajare de 2%BW a consemnat un procent mai mult decât dublu de retenție a azotului (37,05%), comparativ cu varianta experimentală unde s-a folosit o rație zilnică de administrare a hranei de 1%BW (tabel. 5.1).

Tabelul 5.1. Bilanțul azotului total din sistemul recirculant integrat

Componenta		Conținut în N (g)	Pondere (%)
Input	Furaj (41%P)	598,4	100
Plante	<i>Busuioc în regim intermitent de submersie (Bs. F&D)</i>	12,4	2,07
	<i>Busuioc în regim permanent de submersie (Bs. CF)</i>	17,5	2,91
	<i>Mentă în regim intermitent de submersie (Mt. F&D)</i>	13,37	2,24
	<i>Mentă în regim permanent de submersie (Mt. CF)</i>	22,65	3,78
	<i>Tarhon în regim intermitent de submersie (Th. F&D)</i>	8,96	1,49
	<i>Tarhon în regim permanent de submersie (Th. CF)</i>	4,23	0,72
Pești	F1 - <i>Acipenser stellatus</i> (1% BW)	103,96	17,37
	F2 - <i>Acipenser stellatus</i> (2% BW)	221,72	37,05
Reziduuri grosiere		158,99	26,56
Furaj neconsumat + Azot transformat		34,6	5,84

Astfel, un procent de 13% din totalul cantității de azot introdusă în sistemul recirculant integrat, de-a lungul perioadei experimentale, se regăsește la nivelul biomasei vegetale (fig. 5.38).

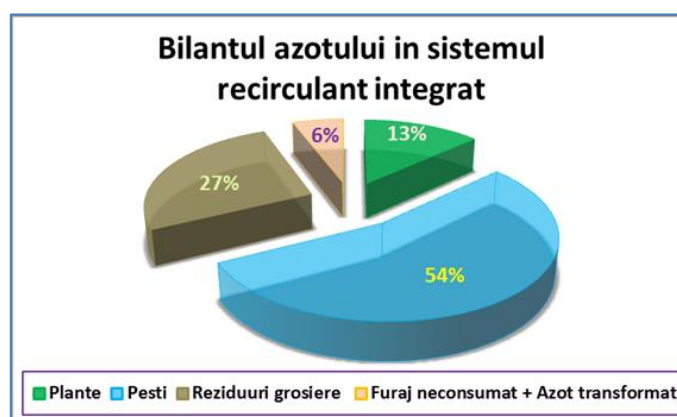


Fig. 5.38. Cuantificarea procentuală a azotului la nivelul compartimentelor studiate

Procentul este inferior celui raportat de Lu și Huang (2010), care au studiat potențialul de fitoremediere al *Nymphaea tetragona* și *Pontederia cordata*, obținând o rată de retenție a azotului de 23,51%, respectiv 45,13% [320]. Rao și colab. (2007) raportează o rată de îndepărtare a azotului de 1,09g/m²/zi în condițiile folosirii busuiocului franțuzesc [321]. Dediu (2009) și Dediu (2011) raportează procente asemănătoare cu cele consemnate în prezentul

studiu, în ceea ce privește retenția azotului de către biomasa vegetală, prin aplicarea tehnicii acvaponice DWC și anume 15,79%, respectiv 10,17% [211, 216].

Licamele (2009) obține un procent de retenție a azotului de către biomasa vegetală, din cantitatea totală introdusă în cadrul sistemului, de 5,22% [195]. Dediu și colab. (2012) raportează un procent de 19,46% din totalul azotului introdus în sistem, regăsit la nivelul biomasei de salată verde [130], în timp ce Rakocy (1980) consemnează o valoare procentuală mai mică, cuprinsă între 7 – 8,6% [311].

Graber și Junge (2009) studiază capacitatea de fitoremediere a culturilor acvaponice de vinete, roșii și castraveți, obținând rate de îndepărtare a azotului de $3\text{g/m}^2/\text{zi}$, $0,6\text{g/m}^2/\text{zi}$ și respectiv $0,4\text{g/m}^2/\text{zi}$ [76]. Quillere și colab. (1995) constată o rată diferită de retenție a azotului la nivelul biomasei vegetale, în funcție de perioada de încadrare a ciclului de producție pe durata anului calendaristic, cuprinsă între 8,5% și 31% [182].

La nivelul biomasei piscicole se regăsește un procent din azotul total introdus în sistem de 54% (fig. 5.38), superior celor raportate de Licamele (2009) 5,97% [195], Quillere și colab. (1995) 18-32% [182] Rafiee și Saad (2005) 27,87 – 36,56% [134] și Dediu (2009, 2011) 29,98%, respectiv 26,7% [211, 216].

În ceea ce privește reziduurile grosiere, acestea cuantifică 27% din totalul azotului introdus în sistem (fig. 5.38). Lazzari consemnează un procent de azot în reziduurile grosiere de până la 43% din totalul azotului introdus prin furaj, la nivelul sistemului de creștere [322], o valoare superioară fiind consemnată de Shpigel și colab. (1993) și anume, între 30 – 65% [323].

Furajul neconsumat și azotul transformat cuantifică, în cadrul prezentului studiu, 6% din totalul azotului introdus în sistem prin intermediul furajului (fig. 5.38). Valoarea este mai mare comparativ cu cea raportată de Licamele (2009) 3,88% [195], dar cu mult inferioară celor raportate de Rafiee și Saad (2005) 14,94 – 23,64% [134], Quillere și colab. (1995) aproximativ 40% [182], Dediu (2009, 2011) 54,23%, respectiv 63,11% [211, 216].

Ca atare, concluzionând cele prezentate anterior, se poate constata un grad foarte ridicat de digestibilitate a proteinei din furaj la nivelul biomasei piscicole și de asemenea, ipoteza conform căreia biomasele de busuioc, mentă și tarhon prezintă potențial ridicat de bioremediere este confirmată.

Bilanțul fosforului și al calciului

Determinarea bilanțului fosforului și al calciului s-a efectuat prin evaluarea ratei de retenție a acestor două macroelemente, manifestată la nivelul unităților acvaponice, precum și prin evaluarea cantitativă a acestora din carnea de păstrugă, din biomasa vegetală existentă și de asemenea, din cantitatea de reziduuri fecale.

Ca atare, în ceea ce privește evoluția **ratei de retenție a fosforului (P_2O_5)**, aceasta consemnează o tendință ascendentă în cazul variantelor supuse unui regim permanent de submersie (fig. 5.39). În ceea ce privește variantele cu regim intermitent de submersie, acestea au o evoluție diferită, în funcție de specia de biomasă vegetală supusă experimentărilor (fig. 5.39).

Astfel, în cazul busuiocului cultivat în regim intermitent de submersie, rata de retenție a fosforului (P_2O_5) a consemnat o dinamică relativ constantă, cu fluctuații semnificative de-a lungul perioadei experimentale (fig. 5.39. i.).

Rata de retenție a fosforului (P_2O_5) aferentă unităților acvaponice cu regim intermitent de submersie și biomasă de mentă a înregistrat o dinamică ascendentă, cu fluctuații în cadrul ultimei săptămâni a perioadei experimentale (fig. 5.39. ii.), în timp ce în cazul biomasei de tarhon, o dinamică ascendentă s-a manifestat până în ultima săptămână a perioadei experimentale, moment ce a reprezentat startul evoluției puternic descendente (fig. 5.39. iii.).

Valorile medii ale ratei de retenție a fosforului (P_2O_5), consemnate în rândul duplicatelor tuturor variantelor experimentale, sunt următoarele: $10,51 \pm 4,32 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. A. F&D și $10,9 \pm 4,13 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. B. F&D; $16,16 \pm 5,04 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Bs. A. CF și $17,33 \pm 4,32 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Bs. B. CF; $19,27 \pm 4,32 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ aferent Mt. A. F&D și $19,08 \pm 4,44 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ aferent Mt. B. F&D; $21,61 \pm 3,98 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Mt. A. CF și $21,22 \pm 4,69 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Mt. B. CF; $11,87 \pm 4,43 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. A. F&D și $11,68 \pm 3,23 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. B. F&D; $9,34 \pm 2,13 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cadrul Th. A. CF și $10,12 \pm 3,27 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cadrul Th. B. CF.

Se constată diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele supuse regimului intermitent de submersie, în cazul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc (fig. 5.39. i.). Diferențe semnificative ($p < 0,05$) sunt observate între variantele experimentale cu specii diferite de biomasă vegetală (busuioc, mentă, tarhon), dar cu același regim de submersie (fig. 5.39), exceptând diferențele dintre variantele cu biomasă de busuioc și cele cu tarhon, unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie ($p > 0,05$).

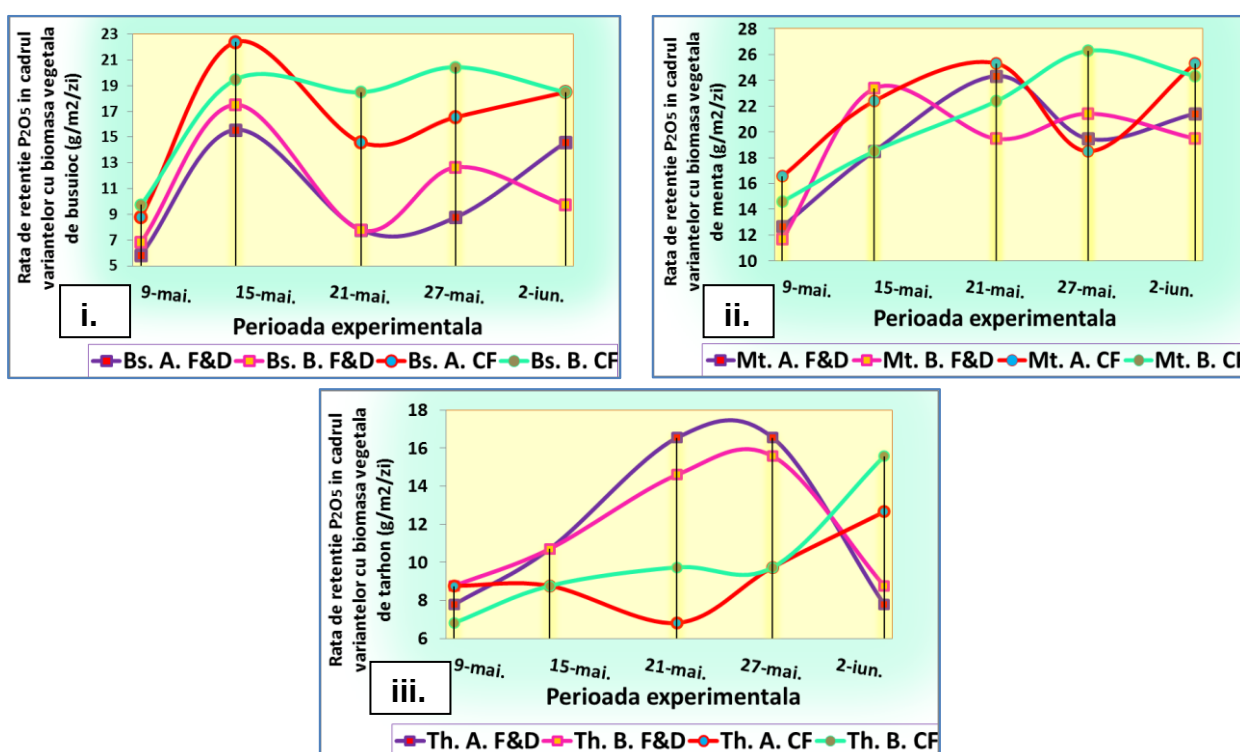


Fig. 5.39. Evoluția ratei de retenție a fosforului (P_2O_5) la nivelul unităților acvaponice:
i. – variantele experimentale cu biomasă de busuioc; ii. – variantele experimentale cu biomasă de mentă; iii. – variantele experimentale cu biomasă de tarhon.

Biomasă de mentă consemnează cea mai mare rată de retenție a fosforului (P_2O_5), urmată de cea de busuioc și tarhon ($p < 0,05$), ordinea menționată fiind valabilă în cazul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie (fig. 5.39). În cazul regimului intermitent de submersie, menta se situează pe primul loc în ceea ce privește mărimea ratei de retenție a fosforului (P_2O_5), urmată fiind în ordine, de tarhon și busuioc (fig. 5.39).

În ceea ce privește distribuția valorilor înregistrate, se poate semna un grad mare de disipare al acestora în jurul mediei, în cazul variantelor Bs. F&D, Mt. CF și Th. F&D (fig. A2. 9 – anexe – secțiunea 2). De asemenea, în cazul variantelor experimentale cu regim intermitent de submersie se observă o curbă de distribuție înclinată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă (fig. A2. 9 – anexe, secțiunea 2).

Evoluția ratei de retenție a calciului consemnează o tendință ușor ascendentă, cu fluctuații însemnate de-a lungul perioadei experimentale (fig. 5.40). Valorile medii ale ratei de retenție a calciului consemnate în rândul tuturor variantelor experimentale sunt următoarele: $27,68 \pm 4,17 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. F&D; $34,47 \pm 7,89 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Bs. CF; $28,93 \pm 6,29 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ aferent Mt. F&D; $38,75 \pm 6,38 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Mt. CF; $21,13 \pm 5,22 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. F&D și $18,12 \pm 4,59 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cadrul Th. A. CF.

Se constată diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între variantele unde a fost aplicat un regim permanent de submersie și cele supuse regimului intermitent de submersie, în cazul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc și de mentă (fig. 5.40).

Sunt consemnate diferențe semnificative ($p < 0,05$) între variantele experimentale cu specii diferite de biomasă vegetală (busuioc, mentă, tarhon), dar cu același regim de submersie (fig. 5.40), exceptând diferențele dintre variantele cu biomasă de busuioc și cele cu mentă, unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie ($p > 0,05$).

Biomasa de mentă consemnează cea mai mare rată de retenție a calciului, urmată de cea de busuioc și tarhon, ordinea menționată fiind valabilă în cazul ambelor regimuri de submersie testate (fig. 5.40).

În ceea ce privește distribuția valorilor înregistrate, în cazul Bs. CF și Mt. F&D se observă un interval mare de dispersie a valorilor în jurul mediei, în timp ce pentru variantele cu biomasă de busuioc se constată o curbă de distribuție înclinată spre stânga, cu valori extreme în aceeași parte (fig. A2. 10 – anexe, secțiunea 2).

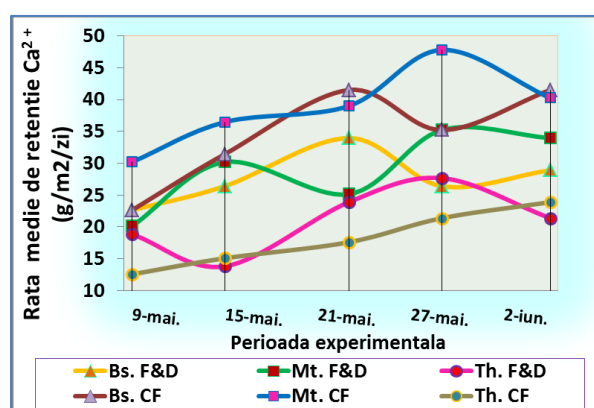


Fig. 5.40. Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice

Cantitatea totală de fosfor introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a fost de 79,96g, cu o medie zilnică de 2,86g/zi (fig. 5.41).

Creșterea cantității de fosfor distribuit prin intermediul furajului, consemnată la mijlocul perioadei experimentale (fig. 5.41), este consecință directă a recalculării cantității zilnice de furaj distribuit, consecință directă a sporului de creștere înregistrat după cântărirea intermediară a biomasei de păstrugă. Furajul administrat (*Clasic Extra 1P – 41%P*) conține o concentrație de fosfor de 0,9% și nu conține calciu. Compoziția biochimică a furajului în cauză a fost descrisă în detaliu în cadrul CAPITOLULUI III, secțiunea 3.2, tabel 3.1, din prezenta lucrare.

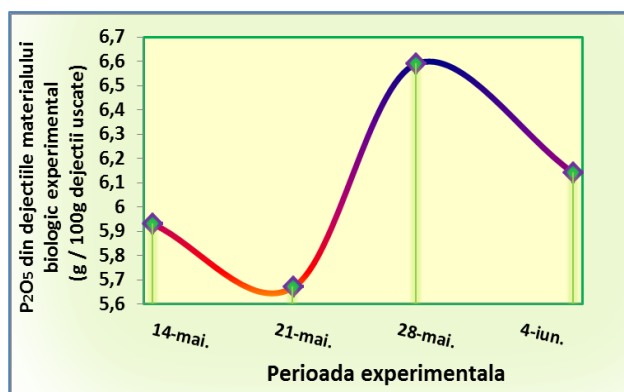


Fig. 5.41. Evoluția cantității de fosfor introduse în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

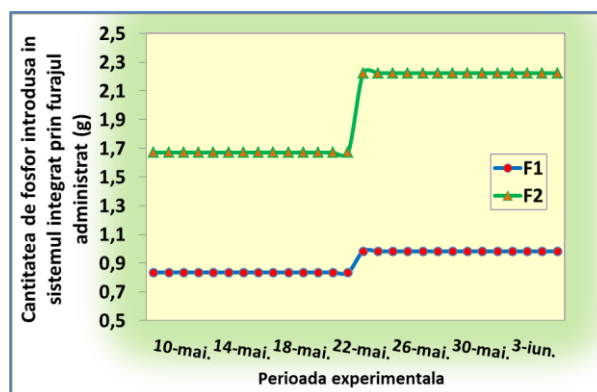


Fig. 5.42. Evoluția concentrației de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale

Evoluția concentrației de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale înregistrează o slabă tendință descendentă până în momentul recalculării cantității zilnice de furaj distribuit, urmând apoi o dinamică puternic ascendentă până în ultima săptămână a perioadei experimentale (fig. 5.42). Acest fapt denotă o utilizare ineficientă a fosforului administrat, din momentul recalculării cantității zilnice de furaj distribuit. Astfel, o mare parte din cantitatea suplimentară de fosfor introdusă în cadrul sistemului prin intermediul furajului administrat se pierde prin reziduurile fecale.

În cadrul prezentului experiment a fost consemnat un ecart de variație a concentrației de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale cuprins între 5,67 – 6,59g%SU, cu o valoare medie de 6,08±0,39g%SU. Lazzari și Baldisserotto (2008) raportează un ecart procentual de variație de 69 – 86% în ceea ce privește cantitatea de fosfor regăsită la nivelul reziduurilor fecale din totalul fosforului introdus în sistem prin intermediul hranei administrate [322].

Concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă a înregistrat înainte de începerea perioadei experimentale, o valoare medie de 190,59±13,38mg/100g carne de pește (fig. 5.43). La sfârșitul perioadei experimentale a fost obținută o valoare medie a fosforului din carnea de păstrugă, în rândul duplicatelor celor două variante experimentale, de 219,09±10,86mg/100g și 213,82±10,07mg/100g în cazul F2 (2%BW); 187,68±11,11mg/100g și 188,29±14,37mg/100g în cazul F1 (1%BW) (fig. 5.43).

Diferențele înregistrate între cele două variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p<0,05$), în timp ce diferențele consemnate între duplicatele aceleiași variante nu sunt semnificative statistic ($p>0,05$).

De asemenea, nu s-a constatat diferențe semnificative în cazul F1, între concentrația de fosfor din carnea de păstrugă, consemnată la începutul experimentului și cea înregistrată la finalul perioadei experimentale ($p>0,05$). Se constată un grad de aplatizare asemănător al curbei de distribuție a valorilor consemnate în cadrul celor două variante experimentale (fig. A2. 15 – anexe, secțiunea 2).

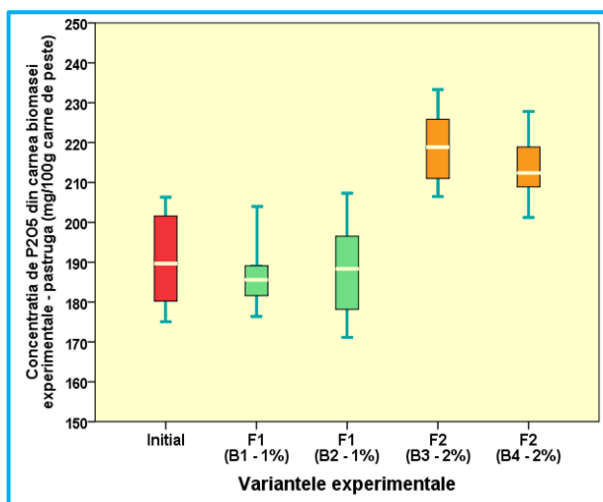


Fig. 5.43. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă

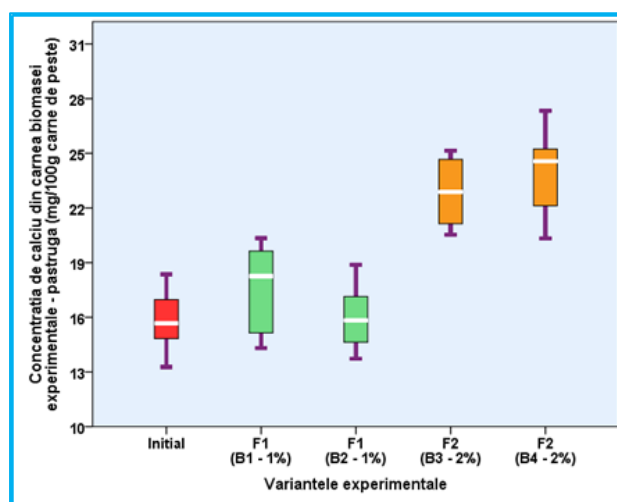


Fig. 5.44. Distribuția valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă

Astfel, se poate afirma faptul că, rația zilnică de furajare influențează semnificativ concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă, crescută în condițiile tehnologice prezentate în cadrul prezentului capitol. Valorile consemnate au fost sub cele raportate de Vasilean și colab. (2010) și anume 240 mg P_2O_5 /100g [306].

Cel mai probabil, acest fapt este determinat de concentrația fosforului din furaj, aceasta fiind de 0,9% în cazul prezentului experiment și de 1,45% în cazul studiului întreprins de Vasilean și colab. (2010) [306].

Concentrația de calciu din carnea de păstrugă a înregistrat înainte de începerea perioadei experimentale o valoare medie de $15,82 \pm 1,95 \text{ mg/100g}$ carne de pește (fig. 5.44). La sfârșitul perioadei experimentale, a fost obținută o valoare medie a calciului din carnea de păstrugă, în rândul duplicatelor celor două variante experimentale, de $17,54 \pm 2,69 \text{ mg/100g}$ și $16,04 \pm 2,04 \text{ mg/100g}$ în cazul F1 (1%BW); $22,87 \pm 2,05 \text{ mg/100g}$ și $23,91 \pm 2,73 \text{ mg/100g}$ în cazul F2 (2%BW) (fig. 5.44).

Diferențele înregistrate între cele două variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). De asemenea, diferențe semnificative ($p < 0,05$) sunt observate în cazul F2, între concentrația de calciu din carnea de păstrugă, consemnată la începutul experimentului și cea înregistrată la finalul perioadei experimentale.

Se constată un grad de aplatizare asemănător al curbei de distribuție a valorilor consemnate în cadrul celor două variante experimentale (fig. A2. 16 – anexe, secțiunea 2).

Valorile consemnate sunt inferioare celor raportate în cadrul bazei de date nutriționale de specialitate (40 mg/100g) [307].

Concentrația de fosfor (P_2O_5) și calciu din frunzele biomasei vegetale, obținute în condiții acvaponice, utilizând două regimuri de submersie (permanent și intermitent), a fost determinată pe un eșantion de 5 plante din cadrul fiecăreia din variantele experimentale menționate, pe duplicat (fig. 5.45 și fig. 5.46). Același protocol de lucru a fost aplicat și în cazul plantelor obținute prin metode de cultură convenționale, pe sol.

Astfel, au fost înregistrate următoarele valori medii ale **concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a busuiocului cultivat în regim acvaponic**, pe duplicat: $58,73 \pm 3,57 \text{ mg/100g FW}$ (frunze proaspete) în cadrul Bs. A. F&D și $51,91 \pm 2,95 \text{ mg/100g FW}$ în cadrul Bs. B. F&D; $87,84 \pm 7,04 \text{ mg/100g FW}$ pentru Bs. A. CF și $84,1 \pm 5,49 \text{ mg/100g FW}$ pentru Bs. B. CF (fig. 5.45). Busuiocul cultivat pe sol (Bs. MK.) a înregistrat o concentrație medie a fosforului (P_2O_5) de $41,56 \pm 2,54 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.45).

La începutul perioadei experimentale, concentrația de P_2O_5 din biomasa foliară a răsadurilor de busuioc, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Bs. Inițial) a consemnat o valoare medie de $25,23 \pm 1,77 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.45).

Histogramele de distribuție a valorilor, consemnate în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D), indică un interval mai mare de dispersie în jurul mediei în cazul biomasei de busuioc cultivată în regim permanent de submersie, comparativ cu cea în cazul căreia a fost aplicat un regim intermitent de submersie (fig. A2. 11 – anexe, secțiunea 2).

Concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a mentei cultivate în regim acvaponic, a consemnat următoarele valori medii, pe duplicat: $102,67 \pm 18,74 \text{ mg/100g FW}$ (frunze proaspete) în cadrul Mt. A. F&D și $106,78 \pm 13,83 \text{ mg/100g FW}$ în cadrul Mt. B. F&D; $137,82 \pm 8,99 \text{ mg/100g FW}$ pentru Mt. A. CF și $131,9 \pm 5,83 \text{ mg/100g FW}$ pentru Mt. B. CF (fig. 5.45). Menta cultivată pe sol (Mt. MK.) a înregistrat o concentrație medie a fosforului (P_2O_5) de $81,27 \pm 2,63 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.45).

La începutul perioadei experimentale, concentrația de P_2O_5 din biomasa foliară a răsadurilor de mentă, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Mt. Inițial), a consemnat o valoare medie de $33,42 \pm 1,63 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.45).

Histogramele de distribuție a valorilor, consemnate în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D), indică un interval mai mare de dispersie în jurul mediei în cazul biomasei de mentă cultivată în regim intermitent de submersie, comparativ cu cea în cazul căreia a fost aplicat un regim permanent de submersie (fig. A2. 12 – anexe, secțiunea 2).

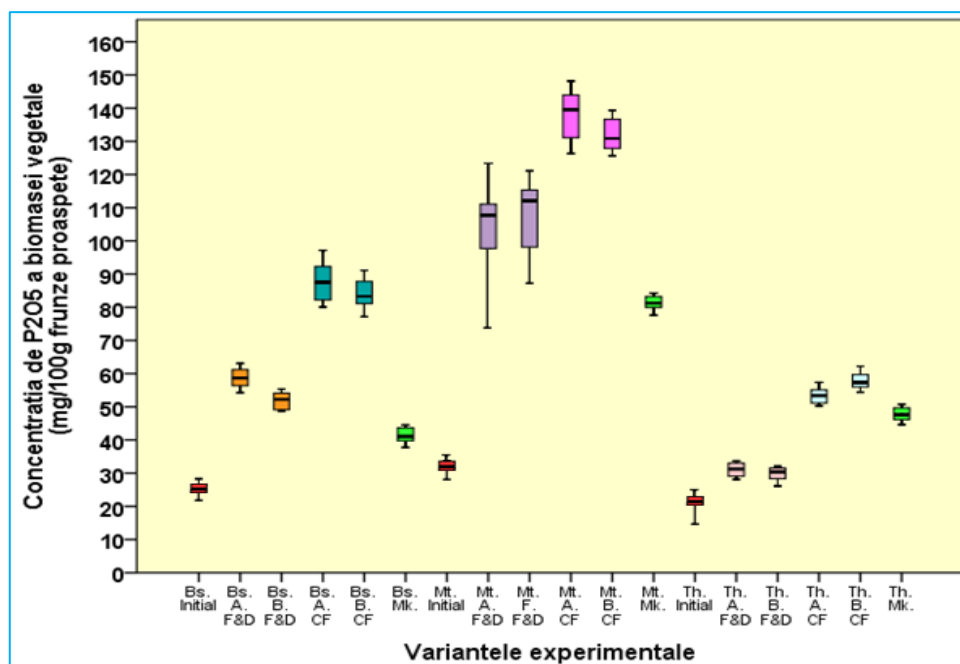


Fig. 5.45. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului

Concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a tarhonului cultivat în regim acvaponic, a consemnat următoarele valori medii, pe duplicat: $31,03 \pm 2,41 \text{ mg/100g FW}$ (frunze proaspete) în cadrul Th. A. F&D și $29,72 \pm 2,46 \text{ mg/100g FW}$ în cadrul Th. B. F&D; $53,46 \pm 2,92 \text{ mg/100g FW}$ pentru Th. A. CF și $57,91 \pm 3,08 \text{ mg/100g FW}$ pentru Th. B. CF (fig. 5.45).

Tarhonul cultivat pe sol (Th.MK.) a înregistrat o concentrație medie a fosforului (P_2O_5) de $47,45 \pm 2,29 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.45). La începutul perioadei experimentale, concentrația de P_2O_5 din biomasa foliară a răsadurilor de tarhon, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Th. Inițial), a consemnat o valoare medie de $20,33 \pm 2,53 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.45). Histogramele de distribuție a valorilor consemnate în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D) indică o disipare simetrică în jurul mediei, fără diferențe generate de regimul de submersie aplicat (fig. A2. 13 – anexe, secțiunea 2).

Diferențele consemnate între cele două variante experimentale (CF și F&D) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), în cazul tuturor speciilor de biomasă vegetală folosită. De asemenea, diferențe semnificative ($p < 0,05$) se constată între valoarea concentrației de P_2O_5 din suprafața foliară a biomaselor vegetale (busuioc, mentă, tarhon) obținute convențional pe sol și cele obținute în condiții acvaponice.

Concentrația de P_2O_5 consemnată la începutul perioadei experimentale, la nivelul suprafeței foliare a răsadurilor de busuioc, mentă și tarhon, a fost semnificativ mai scăzută ($p < 0,05$) comparativ cu cea consemnată la finalul experimentului, fapt valabil în cazul aplicării ambelor regimuri de submersie. Nu s-au consemnat diferențe semnificative între duplicatele variantelor experimentale ($p > 0,05$).

Se poate conchide o valoare superioară a concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a tuturor speciilor de plante cultivate, în condițiile aplicării unui regim permanent de submersie, comparativ cu regimul intermitent de submersie (fig. 5.45).

Astfel, se constată o mai bună adaptabilitate a celor trei specii de biomasă vegetală testate, la condițiile mediale impuse de aplicarea unui regim permanent de submersie, comparativ cu cele aferente regimului intermitent.

De asemenea, în cazul biomaselor de busuioc și mentă se constată o valoare mai mare a concentrației de fosfor (P_2O_5) aferentă plantelor obținute în regim acvaponic (CF și F&D), comparativ cu cea înregistrată în rândul celor cultivate convențional, pe sol. În cazul biomasei de tarhon, acest fapt este valabil numai în condițiile aplicării regimului permanent de submersie.

Valorile concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a tarhonului obținut în condiții acvaponice, prin aplicarea unui regim intermitent de submersie, sunt mai mici comparativ cu cele corespunzătoare biomasei foliare a tarhonului obținut convențional pe sol.

Acest lucru indică o incompatibilitate a acestei specii în ceea ce privește cultivarea în cadrul sistemelor recirculante integrate, folosind tehnica de cultură pe substrat LECA și regim intermitent de submersie.

În urma aplicării testului post-hoc Tukey HSD, valorile consemnate, în ceea ce privește concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a speciilor de plante testate, au fost împărțite în 8 subseturi omogene astfel: Bs. Inițial+Th. Inițial ($p=0,103$); Bs. Inițial+Mt. Inițial+Th. F&D ($p=0,33$); Bs. Mk.+Mt.Inițial ($p=0,342$); Bs. Mk+Th. Mk ($p=0,787$); Bs. F&D+Th. CF+Th. Mk. ($p=0,324$); Bs. CF + Mt. Mk ($p=0,942$); Mt. F&D ($p=1$); Mt. CF ($p=1$).

Dzida (2010) raportează o concentrație de fosfor din biomasa foliară a busuiocului cuprinsă între 0,97 – 1,17% SU [316], în timp ce, Rao și colab. (2007) raportează o valoare medie de 0,37% SU [321].

În ceea ce privește tarhonul, valori medii ale concentrației de fosfor din biomasa foliară de 313mg/100g FW sunt consemnate în cadrul surselor de specialitate [319]

Pentru a măsura intensitatea corelației, din punct de vedere statistic, între concentrațiile de fosfor (P_2O_5) din biomasele foliare a diverselor specii de plante testate în cadrul prezentului experiment (busuioc, mentă, tarhon), s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*.

Astfel, o corelație directă, semnificativă, a fost consemnată între Bs. F&D - Bs. CF (0,927); Bs. F&D – Mt. CF (0,98) și Bs. CF – Mt. CF (0,974), în timp ce între Mt. F&D – Th. CF (-0,915) s-a observat o corelație indirectă, semnificativă.

Pe baza corelațiilor descrise, s-au obținut următoarele modele de regresii liniare simple, între concentrațiile de fosfor (P_2O_5) din biomasele foliare ale speciilor de plante testate:

■ Bs. F&D = 0,555 Bs. CF + 7,629; (r^2 liniar=0,859), (fig. 5.46).

■ Bs. F&D = 0,666 Mt. CF - 34,475; (r^2 liniar=0,960), (fig. 5.47).

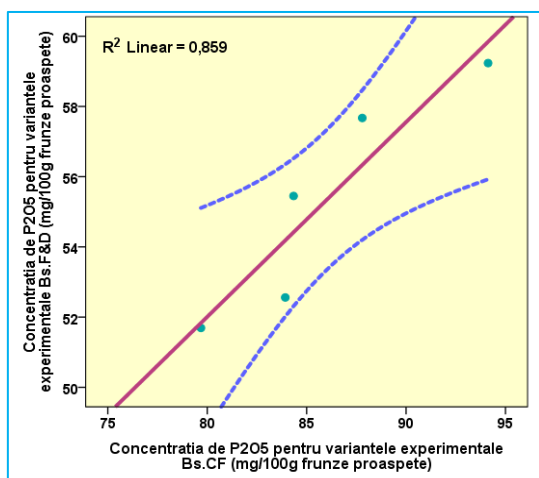


Fig. 5.46: Dependența liniară între concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasele foliare ale busuiocului, obținut în cadrul celor două regimuri de submersie (CF și F&D)

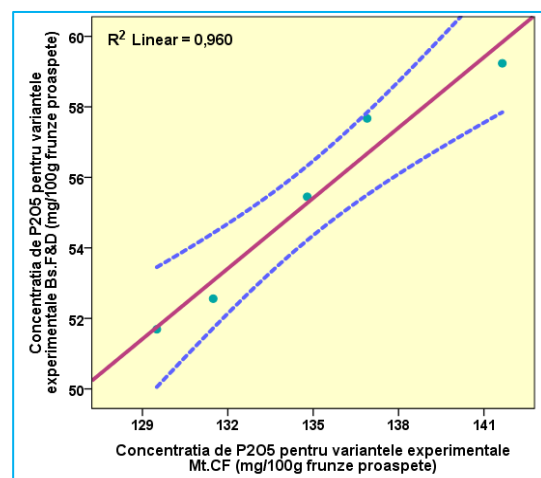


Fig. 5.47: Dependența liniară între concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasele foliare ale busuiocului (F&D) și mentei (CF)

■ Bs. CF = 1,105 Mt. CF - 63,081; (r^2 liniar=0,948), (fig. 5.48).

■ Mt. F&D = - 4,977 Th. CF + 381,892; (r^2 liniar=0,837), (fig. 5.49).

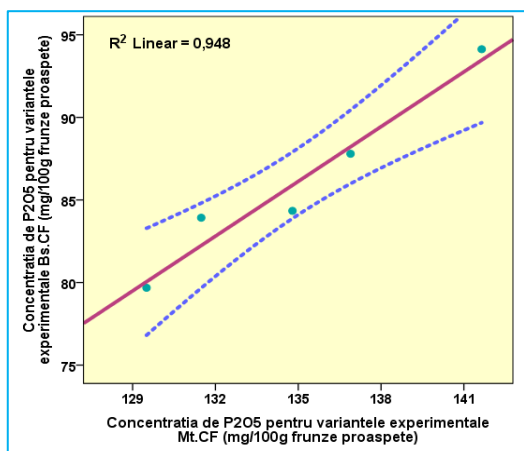


Fig. 5.48. Dependența liniară între concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasele foliare ale busuiocului și mentei (ambele în CF)

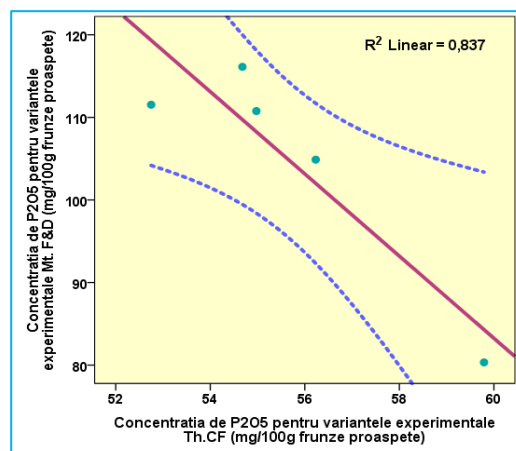


Fig. 5.49. Dependența liniară între concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasele foliare ale mentei (F&D) și tarhonului (CF)

Concentrației de calciu din biomasa foliară a busuiocului cultivat în regim acvaponic, a consemnat următoarele valori medii, pe duplicat: 144,82±25,25mg/100g FW (frunze proaspete) în cadrul Bs. A. F&D și 139,99±23,72mg/100g FW în cadrul Bs. B. F&D; 190,77±20,45mg/100g FW pentru Bs. A. CF și 195,73±17,08mg/100g FW pentru Bs. B. CF (fig. 5.50). Busuiocul cultivat pe sol (Bs.MK.) a înregistrat o concentrație medie a calciului de 158,78±7,31mg/100g FW (fig. 5.50). La începutul perioadei experimentale, concentrația de calciu din biomasa foliară a răsadurilor de busuioc, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Bs. Inițial), a consemnat o valoare medie de 171,74±11,9mg/100g FW (fig. 5.50).

Histogramele de distribuție a valorilor consemnate în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D) indică un interval mai mare de dispersie în jurul mediei în cazul biomasei de busuioc cultivată în regim intermitent de submersie, comparativ cu cea în cazul căreia a fost aplicat un regim permanent (fig. A2. 14 – anexe, secțiunea 2).

Concentrației de calciu din biomasa foliară a mentei cultivată în regim acvaponic, a consemnat următoarele valori medii, pe duplicat: 127,85±11,33mg/100g FW (frunze proaspete) în cadrul Mt. A. F&D și 121,6±11,01mg/100g FW în cadrul Mt. B. F&D; 214,44±15,71mg/100g FW pentru Mt. A. CF și 224,19±18,67mg/100g FW pentru Mt. B. CF (fig. 5.50). Menta cultivată pe sol (Mt.MK.) a înregistrat o concentrație medie a calciului de 175,28±14,89mg/100g FW (fig. 5.50). La începutul perioadei experimentale, concentrația de calciu din biomasa foliară a răsadurilor de mentă, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Mt. Inițial), a consemnat o valoare medie de 98,66±7,54mg/100g FW (fig. 5.50).

Histogramele de distribuție a valorilor consemnate în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D) indică un interval mai mare de dispersie în jurul mediei în cazul biomasei de mentă cultivată în regim permanent de submersie, comparativ cu cea în cazul căreia a fost aplicat un regim intermitent (fig. A2. 14 – anexe, secțiunea 2).

Concentrației de calciu din biomasa foliară a tarhonului cultivat în regim acvaponic, a consemnat următoarele valori medii, pe duplicat: 111,14±9,18mg/100g FW (frunze proaspete) în cadrul Th. A. F&D și 114,24±11,68mg/100g FW în cadrul Th. B. F&D; 96,19±10,67mg/100g FW pentru Th. A. CF și 98,64±9,82mg/100g FW pentru Th. B. CF (fig. 5.50). Tarhonul cultivat

pe sol (Th.MK.) a înregistrat o concentrație medie a calciului de $95,07 \pm 5,41 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.50).

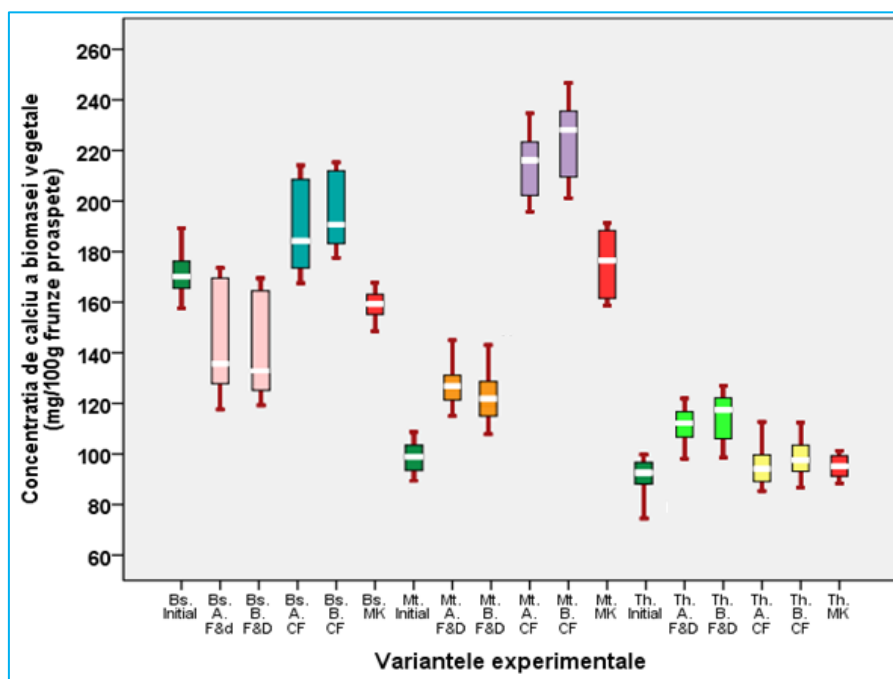


Fig. 5.50. Distribuția valorilor concentrației de calciu din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului

La începutul perioadei experimentale, concentrația de calciu din biomasa foliară a răsadurilor de tarhon, transplantate în cadrul unităților acvaponice (Th. Inițial), a consemnat o valoare medie de $90,46 \pm 10,57 \text{ mg/100g FW}$ (fig. 5.50). Histogramele de distribuție a valorilor consemnate în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D) indică o dispărare simetrică în jurul mediei, fără diferențe generate de regimul de submersie aplicat (fig. A2. 14 – anexe, secțiunea 2).

Diferențele consemnate între cele două variante experimentale (CF și F&D) sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), în cazul tuturor speciilor de biomasa vegetală folosită. Nu s-au consemnat diferențe semnificative între duplicatele variantelor experimentale ($p > 0,05$).

Se poate conchide o valoare superioară a concentrației de calciu din biomasa foliară a busuiocului și a mentei, în condițiile aplicării unui regim permanent de submersie, comparativ cu regimul intermitent (fig. 5.50). În cazul tarhonului situația se prezintă radical opus, acesta înregistrând concentrații mai ridicate de calciu la nivelul biomasei foliare în cadrul variantelor unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie (fig. 5.50).

De asemenea, biomasele de busuioc și tarhon cultivate convențional, pe sol, au prezentat valori asemănătoare ale concentrației de calciu din frunze, comparativ cu cele obținute în cazul cultivării în condiții acvaponice și regim intermitent de submersie (fig. 5.50). În cazul tarhonului nu au existat diferențe semnificative ($p > 0,05$) între concentrația de calciu consemnată la nivelul biomasei foliare pentru plantele cultivate convențional, pe sol și cele cultivate în condiții acvaponice și regim permanent de submersie (fig. 5.50).

În urma aplicării testului *post-hoc Tukey HSD*, valorile consemnate, în ceea ce privește concentrația de calciu din biomasa foliară a speciilor de plante testate, au fost împărțite în 7 subseturi omogene astfel: Th. Inițial+Th. CF+Th. MK.+Mt. Inițial ($p = 0,257$); Th. F&D+Mt. Inițial+Mt. F&D ($p = 0,067$); Mt. F&D+B. F&D ($p = 0,593$); Mt. Inițial+Th. CF+Th. MK. ($p = 0,812$); Bs. F&D+B. MK ($p = 0,698$); Bs. Initial+Mt. Mk.+Bs. CF ($p = 0,301$); Bs. CF+Mt. CF ($p = 0,096$).

Dzida (2010) raportează o concentrație de calciu în biomasa foliară a busuiocului cultivat convențional, pe sol, cuprinsă între 1,73 – 2,76%SU [316]. Zawioelak și Dzida (2012) raportează o valoare medie de 11,47g/kg SU aferentă concentrației de calciu din frunzele tarhonului cultivat convențional, pe sol [324] în timp ce, alte surse [319] indică o medie de calciu din frunzele proaspete de tarhon de 1139mg/100g FW. Padmini și colab. (2010) raportează un ecart de variație a valorii concentrației de calciu din biomasa foliară a mentei cultivate convențional, pe sol, cuprins între 255,95 – 336,66mg/100g FW [325], apropiat de cel consemnat în cazul prezentului studiu pentru menta cultivată în condiții acvaponice și regim permanent de submersie.

Pentru a măsura intensitatea corelației, din punct de vedere statistic, între concentrațiile de calciu din biomasele foliare ale diverselor specii de plante testate în cadrul prezentului experiment (busuioc, mentă, tarhon), s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*. Astfel, o corelație directă, semnificativă, a fost consemnată între Bs. F&D - Bs. CF (0,917); Bs. F&D – Mt. CF (0,884) și Bs. CF – Mt. F&D (0,906). Pe baza corelațiilor descrise s-au obținut următoarele modele de regresii liniare simple, între concentrațiile de calciu din biomasele foliare ale speciilor de plante testate:

- ❖ $BsF\&D = 1,216 Bs. CF - 92,627$; (r^2 liniar=0,784), (fig. 5.51).
- ❖ $Bs. F\&D = 1,255 Mt. CF - 132,854$; (r^2 liniar=0,624), (fig. 5.52).
- ❖ $Mt. F\&D = 0,536 BsCF + 21,079$; (r^2 liniar=0,655), (fig. 5.53).

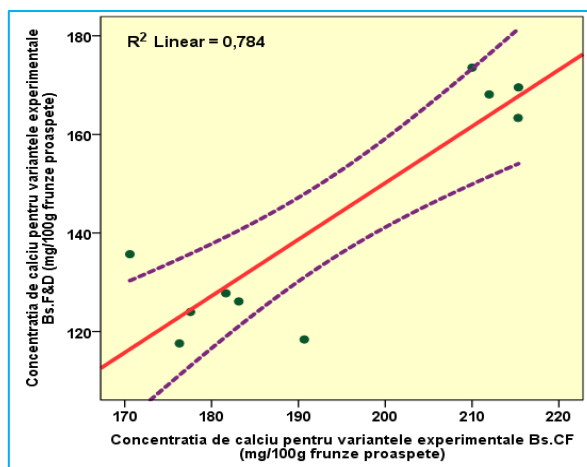


Fig. 5.51. Dependența liniară între concentrația de calciu din biomasele foliare ale busuiocului, obținut în cadrul CF și F&D

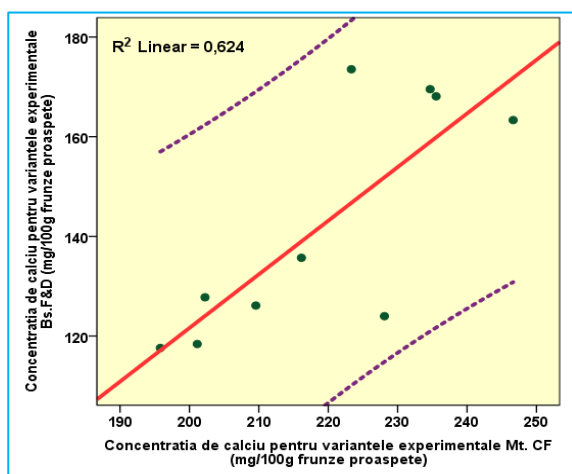


Fig. 5.52. Dependența liniară între concentrația de calciu din biomasele foliare ale busuiocului (F&D) și mentei (CF)

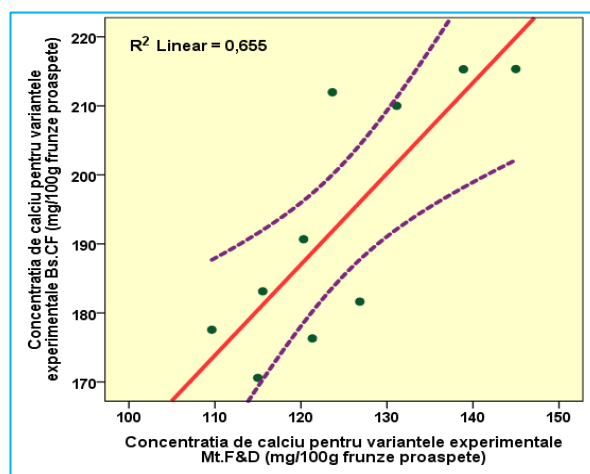


Fig. 5.53. Dependența liniară între concentrația de calciu din biomasele foliare ale busuiocului (CF) și mentei (F&D)

Vizual, nu au fost observate semne ale unor eventuale deficiențe nutriționale la nivelul biomaselor de busuioc, mentă și tarhon obținute în condiții acvaponice, prin utilizarea tehnicii de cultură pe substrat LECA și a două tipuri de regimuri de submersie (permanent (CF) și intermitent (F&D)) (fig. 5.54).



Fig. 5.54. Biomasa de busuioc, mentă și tarhon obținută în condiții acvaponice, prin utilizarea tehnicii de cultură pe substrat LECA în condițiile celor două regimuri de submersie: permanent (CF) și intermitent (F&D). (foto. original)

5.3.4. Randamentul creșterii biomaselor vegetale și a celei piscicole

● Randamentul creșterii biomaselor vegetale

Pentru a menține popularitatea dobândită în rândul investitorilor, generată de scăderea costurilor operaționale și creșterea veniturilor ca urmare a comercializării celei de a doua biomase rezultate din procesul de producție (cea vegetală), sistemele recirculante integrate trebuie să demonstreze o elasticitate ridicată în ceea ce privește aplicarea diverselor combinații de specii plante-pești. De asemenea, satisfacerea totală a dezideratului în cazul acestor sisteme de producție presupune și asigurarea unui grad corespunzător de tratare a apei tehnologice ca urmare a capacității de fitoremediere a biomaselor vegetale utilizate, fapt demonstrat în cadrul secțiunilor anterioare din cadrul prezentului capitol.

Astfel, o primă tematică propusă spre a fi dezbătută în cadrul prezentei secțiuni constă în evaluarea randamentului de creștere a celor trei specii de plante (busuioc, mentă și tarhon) cultivate în condiții acvaponice, prin utilizarea tehnicii de cultură în substrat LECA și totodată, prin aplicarea a două regimuri de submersie (permanent (CF) și intermitent (F&D)).

Acest lucru este realizabil prin utilizarea unor metode de monitorizare a creșterii biomaselor vegetale, fapt ce permite identificarea parametrilor de performanță tehnologică aferenți fiecărei specii de plante testate și de asemenea, realizarea unui studiu comparativ la nivelul variantelor în cadrul cărora au fost aplicate cele două regimuri de submersie amintite anterior (permanent și intermitent).

Evoluția înălțimii busuiocului, mentei și tarhonului a fost monitorizată în momentul transplantării răsadurilor în cadrul unităților acvaponice, la 11 zile după acest proces și la finalul perioadei experimentale (fig. 5.55 și fig. 5.56)



Fig. 5.55. Măsurători biometrice finale ale biomaselor vegetale experimentale: A. busuioc; B. mentă; C. tarhon (foto. original)

Decizia alegerii unui moment de referință situat la 11 zile de la începutul experimentului se justifică prin durata perioadei de acomodare a răsadurilor cu noile condiții mediale, care conform celor afirmate anterior (secțiunea 5.2) a durat 10 zile calendaristice.

Astfel, valorile medii ale înălțimii biomasei vegetale, înregistrate în cazul duplicatelor variantelor experimentale, sunt prezentate în tabelul 5.2.

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește valorile înălțimii biomasei vegetale consemnate la sfârșitul perioadei experimentale, fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate (fig. 5.56)

În ceea ce privește biomasele de busuioc și mentă, se consemnează valori superioare ale înălțimii finale în cazul variantelor cu regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost aplicat un regim intermitent ($p < 0,05$) (fig. 5.56).

Situația se prezintă radical opus în cazul tarhonului, unde valori superioare ale înălțimii finale sunt înregistrate în cadrul variantelor cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.56). Nu au fost consemnate diferențe semnificative ($p > 0,05$) între duplicatele variantelor experimentale.

Tabel 5.2. Valorile medii ale înălțimii biomasei de busuioc, mentă și tarhon, în condițiile aplicării celor două regimuri de submersie (permanent (CF) și intermitent (F&D))

Varianta experimentală	Înălțimea medie a biomasei vegetale (cm)		
	Începutul experimentului	Intermediar (după 11 zile)	Finalul experimentului
Busuioc - Bs. A. CF	9,25±1,07	14,83±4,04	61,41±10,24
Busuioc - Bs. B. CF	10,09±1,14	14,52±2,38	57,96±6,64
Busuioc - Bs. A. F&D	9,69±1,49	12,95±3,15	39,51±6,14
Busuioc - Bs. B. F&D	9,74±1,99	12,89±2,65	37,93±6,18
Mentă - Mt. A. CF	7,39±0,95	21,55±2,33	86,69±12,56
Mentă - Mt. B. CF	7,05±1,01	22,71±4,23	82,53±16,38
Mentă - Mt. A. F&D	7,67±1,51	19,05±2,01	61,42±13,61
Mentă - Mt. B. F&D	8,8±1,73	18,49±2,77	65,69±12,19
Tarhon - Th. A. CF	10,17±1,29	19,79±1,58	47,3±6,01
Tarhon - Th. B. CF	9,18±1,51	18,44±3,22	48,42±6,99
Tarhon - Th. A. F&D	9,56±1,85	22,55±3,8	63,27±4,57
Tarhon - Th. B. F&D	10,81±1,75	22,6±3,93	68,66±11,79

Din analiza histogramelor de distribuție, se observă o creștere a gradului de aplatizare al acestora, direct proporțională cu creșterea și dezvoltarea biomasei vegetale (fig. A2. 17, fig. A2. 18 și fig. A2. 19 – anexe, secțiunea 2). De asemenea, în cazul biomasei de mentă se observă un grad de concentrare mare a valorilor înălțimii inițiale în jurul mediei, fapt ce generează o histogramă de formă mai ascuțită, comparativ cu cele consemnate în cazul busuiocului și tarhonului (fig. A2. 17, fig. A2. 18 și fig. A2. 19 – anexe, secțiunea 2). Cu toate acestea, în momentul finalului de experiment se observă un grad de aplatizare al histograamei de distribuție aferentă valorilor înălțimii, superior în cazul biomasei de mentă, urmată de biomasa de busuioc și de cea de tarhon (fig. A2. 17, fig. A2. 18 și fig. A2. 19 – anexe, secțiunea 2).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în următoarele subgrupuri:

- *Biomasa de busuioc*: Înălțime inițial CF și F&D + Înălțime după 11 zile CF și F&D ($p = 0,067$); Înălțime final F&D ($p = 0,999$); Înălțime final CF ($p = 0,704$).
- *Biomasa de mentă*: Înălțime inițial CF și F&D ($p = 0,999$); Înălțime 11 zile F&D ($p = 0,061$); Înălțime 11 zile CF ($p = 0,059$); Înălțime final F&D ($p = 0,957$); Înălțime final CF ($p = 0,963$).
- *Biomasa de tarhon*: Înălțime inițial CF și F&D ($p = 0,999$); Înălțime după 11 zile CF și F&D ($p = 0,488$); Înălțime final F&D ($p = 0,999$); Înălțime final CF ($p = 0,98$).

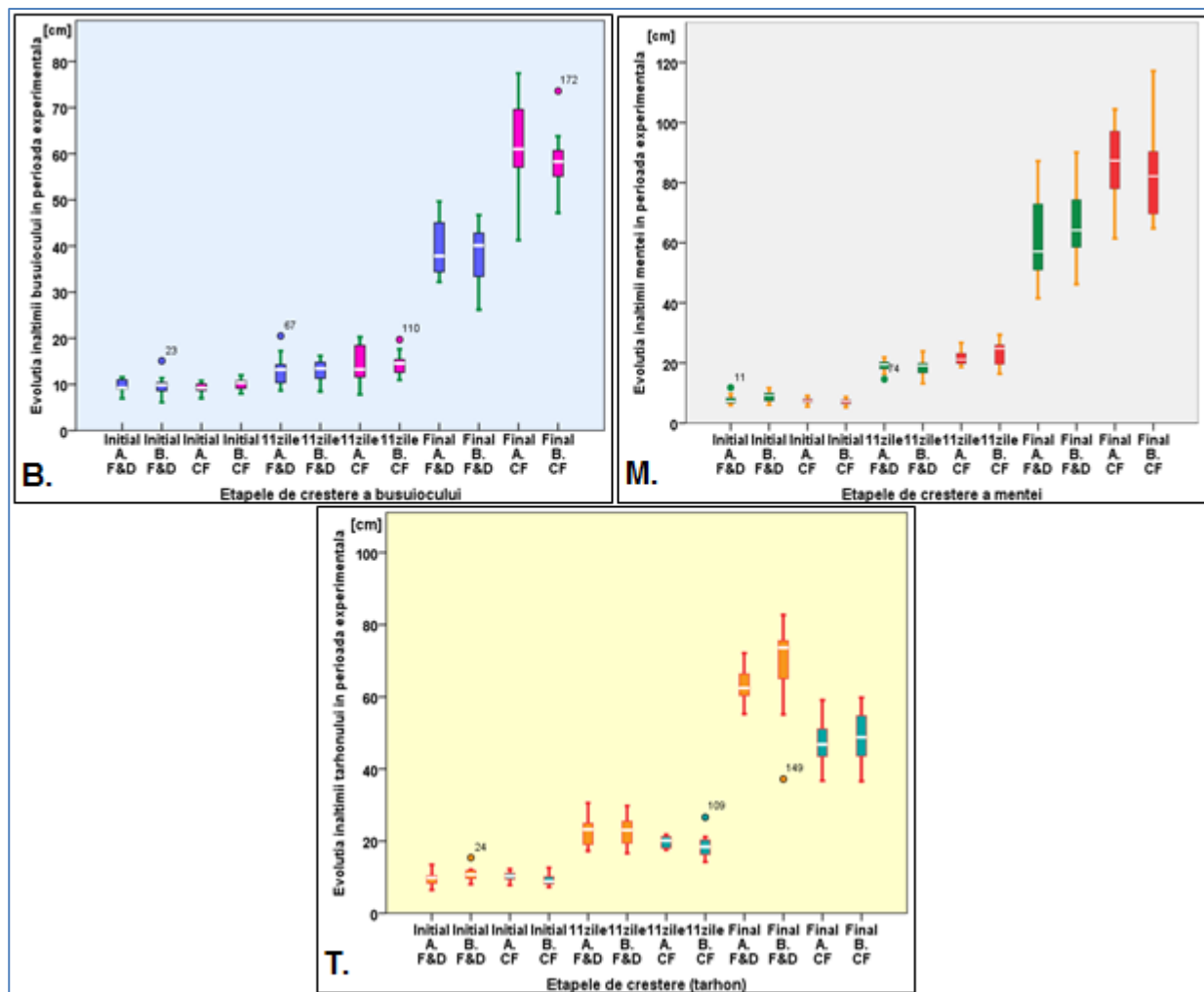


Fig. 5.56. Distribuția valorilor înălțimii plantelor de-a lungul perioadei experimentale:

B. – biomasa de busuioc; M. – biomasa de mentă; T. – biomasa de tarhon

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au constatat o înălțime finală a spanacului de apa cuprinsă între 45-50cm, superioară în cazul variantei cu o valoare a ratei hidraulice de încărcare (HLR) la nivelul unităților acvaponice de 1,28m/zi [133].

Aceste rezultate reprezintă un prim indiciu al gradului de adaptabilitate al fiecărei specii de biomasă vegetală dintre cele testate, la condițiile mediale impuse de tehnica acvaponică în substrat LECA și de regimul de submersie utilizat. Cu toate acestea, este necesar a fi punctat faptul că înălțimea biomasei vegetale trebuie corelată cu masa totală și de asemenea, cu suprafața foliară a acesteia în scopul realizării unei caracterizări cât mai obiective a performanței de producție consemnate în cadrul fiecărei variante experimentale din prezentul studiu.

Masa inițială totală a biomaselor vegetale din cadrul variantelor experimentale a consemnat următoarele valori, pe duplicat: 30,1g cu o medie de $2,01 \pm 0,28$ g în cazul Bs. A. F&D și 32,81g cu o medie de $2,19 \pm 0,56$ g în cazul Bs. B. F&D; 27,48g cu o medie de $1,83 \pm 0,45$ g în cazul Bs. A. CF și 30,9g cu o medie de $2,06 \pm 0,27$ g în cazul Bs. B. CF; 23,02g cu o medie de $1,53 \pm 0,47$ g la Mt. A. F&D și 23,79g cu o medie de $1,59 \pm 0,45$ g la Mt. B. F&D; 25,42g cu o medie de $1,69 \pm 0,44$ g la Mt. A. CF și 25,59g cu o medie de $1,71 \pm 0,99$ g la Mt. B. CF; 18,01g cu o medie de $1,2 \pm 0,32$ g pentru Th. A. F&D și 17,43g cu o medie de $1,16 \pm 0,12$ g Th. B. F&D; 16,17g cu o medie de $1,08 \pm 0,23$ g pentru Th. A. CF și 14,41g cu o medie de $0,96 \pm 0,34$ g pentru Th. B. CF (fig. 5.57 Bi, Mi, Ti)

Nu au fost înregistrate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$) între variantele experimentale cu aceeași specie de plante.

Distribuția valorilor a fost uniformă, simetrică, în cazul tuturor duplicatelor din cadrul variantelor experimentale în cauză (fig. 5.58 Bi, Mi, Ti).



Fig. 5.57. Determinarea masei finale a busuiocului (A.), mentei (B.) și tarhonului (C.) (foto. original)

Masa finală totală a biomaselor vegetale din cadrul variantelor experimentale a consemnat următoarele valori, pe duplicat: 218,77g cu o medie de $14,58 \pm 4,8g$ în cazul Bs. A. F&D și 240,05g cu o medie de $16,01 \pm 3,92g$ în cazul Bs. B. F&D; 316,5g cu o medie de $21,1 \pm 8,64g$ în cazul Bs. A. CF și 344,52g cu o medie de $22,97 \pm 8,05g$ în cazul Bs. B. CF; 196,31g cu o medie de $13,09 \pm 5,02g$ la Mt. A. F&D și 177,9g cu o medie de $11,86 \pm 3,82g$ la Mt. B. F&D; 326,34g cu o medie de $21,76 \pm 8,58g$ la Mt. A. CF și 294,49g cu o medie de $19,63 \pm 10,8g$ la Mt. B. CF; 152,1g cu o medie de $10,14 \pm 2,2g$ pentru Th. A. F&D și 152,63g cu o medie de $10,18 \pm 3,62g$ Th. B. F&D; 79,76g cu o medie de $5,32 \pm 1,63g$ pentru Th. A. CF și 90,53g cu o medie de $6,04 \pm 2,66g$ pentru Th. B. CF (fig. 5.57 și fig. 5.58 Bf, Mf, Tf).

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale testate (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește masa finală, fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate (fig. 5.58).

Pentru biomasele de busuioc și mentă se consemnează valori superioare ale masei finale în cazul variantelor cu regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost aplicat un regim intermitent ($p < 0,05$) (fig. 5.58).

Situația se prezintă radical opus în cazul tarhonului, unde valori superioare ale masei finale sunt înregistrate în cadrul variantelor cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$) (fig. 5.58).

Din analiza histogramelor de distribuție a valorilor masei finale, se poate constata un grad de aplatizare superior aferent variantelor experimentale cu biomasă de busuioc și mentă, în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie (fig. A2. 21 și fig. A2. 23 – anexe, secțiunea 2). În cazul biomasei de tarhon, nu s-au observat diferențe semnificative între cele două variante experimentale (CF și F&D) în ceea ce privește gradul de aplatizare a histogramelor de distribuție a valorilor masei finale (fig. A2. 25 – anexe, secțiunea 2).

De asemenea, nu s-au observat diferențe notabile între gradul mediu de aplatizare a histogramelor de distribuție a valorilor masei inițiale, fapt confirmat în cazul tuturor speciilor de biomasă vegetală testate (busuioc, mentă, tarhon) (fig. A2. 20, fig. A2. 22 și fig. A2. 24 – anexe, secțiunea 2).

Următoarele valori medii ale sporului individual de creștere a biomasei vegetale au fost consemnate: $12,58 \pm 4,27g$ în cazul Bs. A. F&D și $13,82 \pm 3,63g$ în cazul Bs. B. F&D; $19,27 \pm 8,6g$ în cazul Bs. A. CF și $20,91 \pm 7,94g$ în cazul Bs. B. CF; $11,55 \pm 4,83g$ în cazul Mt. A. F&D și $10,27 \pm 3,36g$ în cazul Mt. B. F&D; $20,06 \pm 8,51g$ în cazul Mt. A. CF și $18,92 \pm 9,33g$ în cazul Mt. B. CF; $8,94 \pm 2,02g$ în cazul Th. A. F&D și $9,01 \pm 3,42g$ în cazul Th. B. F&D; $4,29 \pm 1,65g$ în cazul Th. A. CF și $5,07 \pm 2,57g$ în cazul Th. B. CF.

Se constată diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale testate (cu regim permanent și intermitent de submersie), fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate. Rezultatele și corelațiile consemnate sunt în nota celor înregistrate în cazul valorilor înălțimii biomasei vegetale și prezentate anterior paragrafului curent.

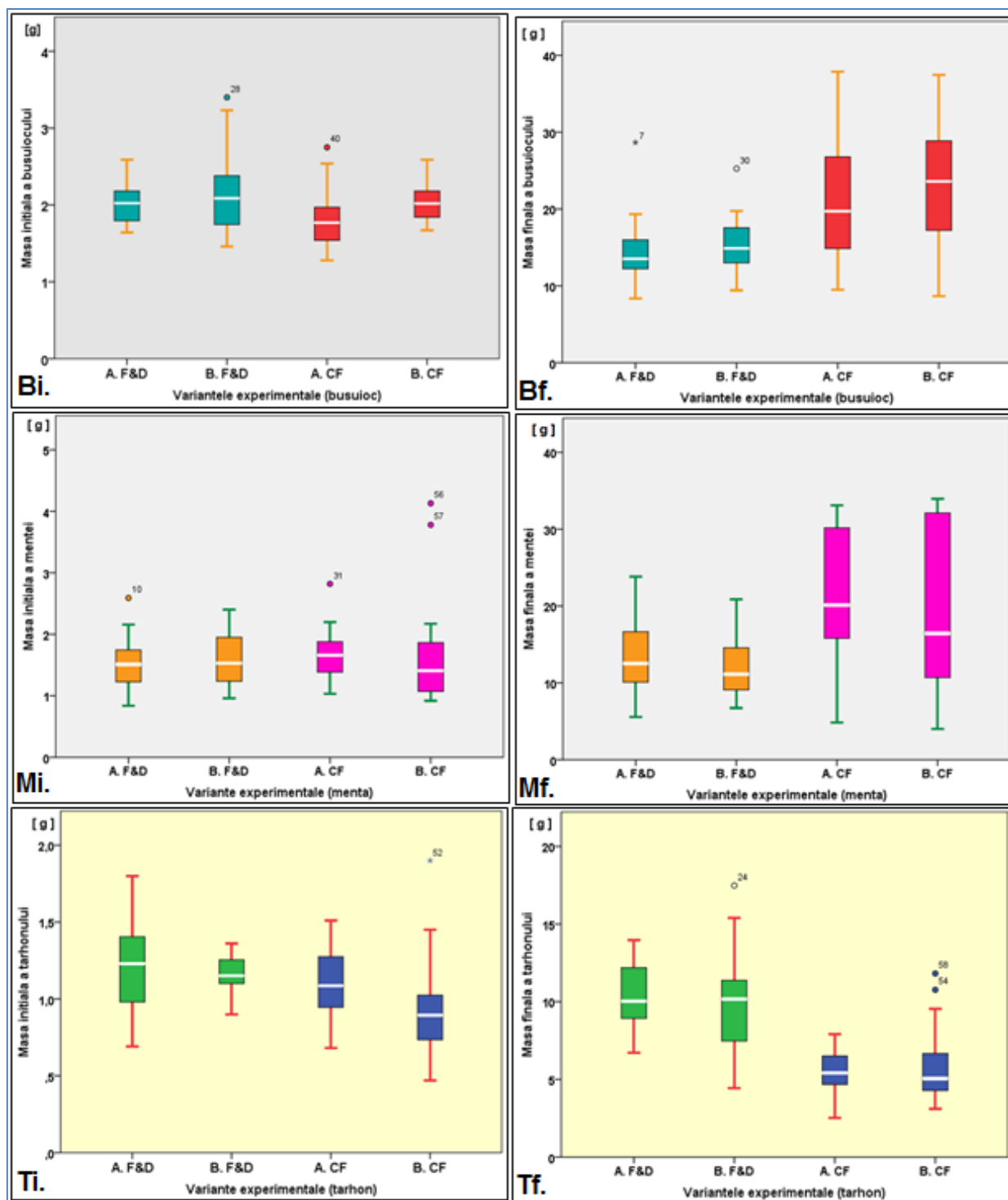


Fig. 5.58. Distribuția valorilor masei inițiale (Bi. - busuioc, Mi.- mentă, Ti. – tarhon) și a celei finale (Bf – busuioc, Mf – mentă, Tf. – tarhon) a plantelor, în cadrul variantelor experimentale

Endut și colab. (2009), în condiții tehnologice descrise anterior (paragraful „dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice”), au constatat o creștere superioară a biomasei vegetale în condițiile unei valori a ratei hidraulice de încărcare (HLR) la nivelul unităților acvaponice de 1,28m/zi [133]. De asemenea, în cadrul studiului anterior s-a concluzionat o dependență a ratei de creștere a biomasei vegetale în raport cu rata hidraulică de încărcare [133]. Astfel, pe măsură ce valorile ratei hidraulice de încărcare au crescut, randamentul producție vegetale a consemnat o evoluție descendentă [133].

Sikawa și Yakupitiyage (2010) consemnează performanțe de creștere diferite ale biomasei vegetale, influențate în mare măsură de tipul de substrat de cultură folosit, în condițiile unui sistem acvaponic unde a fost utilizată combinația de specii hibrid de somn-salată verde [149]. Astfel, aceștia raportează o creștere mai bună a salatei cu peste 40% în condițiile folosirii nisipului drept substrat de creștere, în comparație cu pietrișul [149].

Dediu și colab. (2012) testează doi timpi hidraulici de retenție (HRT: 5,4min și 2,7min), consemnând o valoare superioară a sporului de creștere a biomasei vegetale de 75g în cazul HRT de 5,4min, în comparație cu 66,15g cât s-a înregistrat pentru varianta experimentală cu HRT de 2,7min [130].

Suprafața foliară inițială a biomaselor vegetale din cadrul variantelor experimentale a consemnat următoarele valori, pe duplicat: 1196,98cm² cu o medie de 79,8±17,74cm² în cazul Bs. A. F&D și 1352,88cm² cu o medie de 90,19±26,26cm² în cazul Bs. B. F&D; 1188,66cm² cu o medie de 79,24±29,78cm² în cazul Bs. A. CF și 1316,94cm² cu o medie de 87,8±16,56cm² în cazul Bs. B. CF; 982,97cm² cu o medie de 65,53±19,44cm² la Mt. A. F&D și 979,17cm² cu o medie de 65,28±19,87cm² la Mt. B. F&D; 973,96cm² cu o medie de 64,93±29,86cm² la Mt. A. CF și 1024,76cm² cu o medie de 68,32±31,79cm² la Mt. B. CF; 915,64cm² cu o medie de 61,04±18,88cm² pentru Th. A. F&D și 974,17cm² cu o medie de 64,94±15,75cm² Th. B. F&D; 803,76cm² cu o medie de 53,58±13,61cm² pentru Th. A. CF și 792,65cm² cu o medie de 52,84±17,38cm² pentru Th. B. CF (fig. 5.59).

Nu au fost înregistrate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p>0,05$) între variantele experimentale cu aceeași specie de plante.

Distribuția valorilor a fost uniformă în cazul tuturor duplicatelor din cadrul variantelor experimentale, cu excepția biomasei de mentă din cadrul variantelor cu regim permanent de submersie, unde s-a observat un ecart de variație mai ridicat între valorile extreme (fig. 5.59).

De asemenea, cu excepția variantelor anterior menționate, nu s-au observat diferențe notabile între gradul mediu de aplatizare a histogramelor de distribuție a valorilor suprafeței foliare inițiale (fig. A2. 29 – anexe, secțiunea 2).

Suprafața foliară finală a biomaselor vegetale din cadrul variantelor experimentale (fig. 5.60) a consemnat următoarele valori, pe duplicat: 30810,8cm² cu o medie de 2054,05±834,31cm² în cazul Bs. A. F&D și 38368,5cm² cu o medie de 2557,9±802,6cm² în cazul Bs. B. F&D; 64320,4cm² cu o medie de 4288,03±2566,73cm² în cazul Bs. A. CF și 69312,1cm² cu o medie de 4620,81±2347,83cm² în cazul Bs. B. CF; 10766,98cm² cu o medie de 717,79±192,97cm² la Mt. A. F&D și 10473,31cm² cu o medie de 698,22±246,35cm² la Mt. B. F&D; 14621,36cm² cu o medie de 974,76±136,41cm² la Mt. A. CF și 14522,8cm² cu o medie de 968,19±176,07cm² la Mt. B. CF; 7402,87cm² cu o medie de 493,52±166,01cm² pentru Th. A. F&D și 7921,68cm² cu o medie de 528,11±170,43cm² Th. B. F&D; 6766,11cm² cu o medie de 451,07±118,37cm² pentru Th. A. CF și 6144,96cm² cu o medie de 409,66±174,17cm² pentru Th. B. CF (fig. 5.61).

Se observă diferențe semnificative statistic ($p<0,05$) între cele două variante experimentale testate (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește

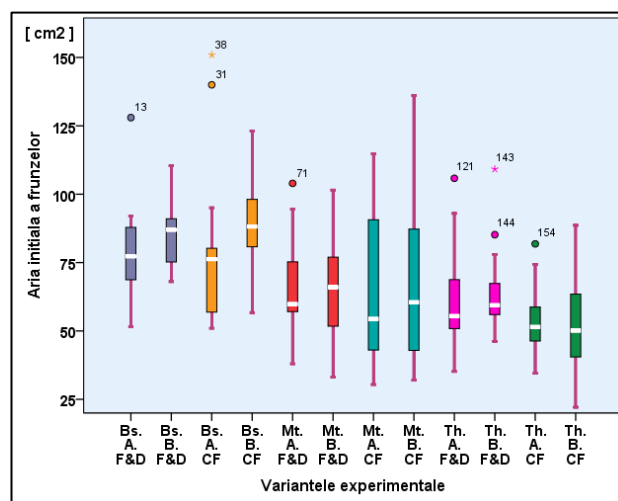


Fig. 5.59. Distribuția valorilor suprafeței foliare inițiale a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D)

suprafața foliară finală, fapt valabil doar în cazul biomaselor de busuioc și mentă (fig. 5.61). Astfel, biomasa de busuioc înregistrează valori cu mult superioare ale suprafeței foliare totale, comparativ cu biomasa de mentă și cea de tarhon ($p < 0,05$) (fig. 5.61).



Fig. 5.60. Suprafața foliară a: A. busuiocului; B. mentei; C. tarhonului. (foto. original)

Prin corelarea rezultatelor obținute în ceea ce privește valoarea suprafeței foliare, cu cele menționate anterior cu privire la înălțimea medie a biomaselor vegetale și de asemenea, cu cele legate de masa acestora, se poate conchide o adaptabilitate mult mai bună a busuiocului și a mentei cultivate acvaponic prin utilizarea tehnicilor de cultură în substrat LECA, la un regim permanent de submersie, comparativ cu regimul intermitent.

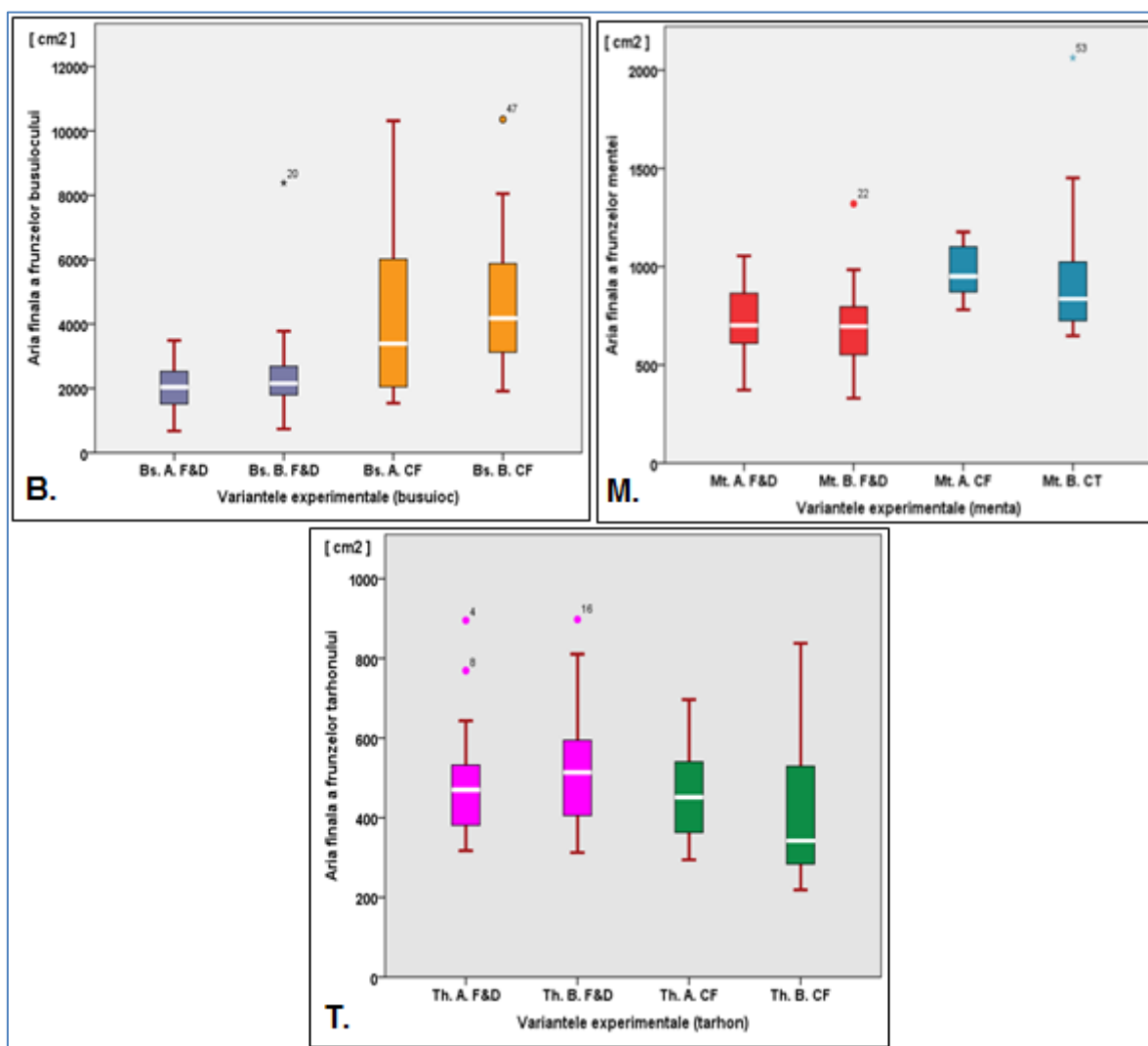


Fig. 5.61. Distribuția valorilor suprafeței foliare finale (B. – busuioc, M. – mentă, T. – tarhon) a plantelor, în cadrul duplicatelor fiecărei variante experimentale

În cazul tarhonului, nu s-au consemnat dovezi clare în ceea ce privește influența regimului de submersie asupra randamentului creșterii acestuia. Astfel, acesta poate fi caracterizat drept o specie ce prezintă un grad de elasticitate ridicat în ceea ce privește condițiile mediale induse de variația regimului hidraulic și al celui de submersie. Totuși, se poate constata o ușoară preferință a acestuia pentru regimul intermitent, dat fiind valori superioare, nesemnificative statistic ($p > 0,05$), consemnate în cazul variantelor în cauză.

Din analiza histogramelor de distribuție a valorilor suprafeței foliare finale, se poate constata un grad de aplatizare superior aferent variantelor experimentale cu biomasă de busuioc, în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie (fig. A2. 26 – anexe, secțiunea 2). În cazul biomasei de tarhon, nu s-au observat diferențe semnificative între cele două variante experimentale (CF și F&D) în ceea ce privește gradul de aplatizare a histogramelor de distribuție a valorilor suprafeței foliare finale (fig. A2. 28 – anexe, secțiunea 2), în timp ce menta a consemnat valori foarte mici ale indicelui de aplatizare în cazul ambelor variante experimentale (fig. A2.27 – anexe, secțiunea 2).

Rata relativă de creștere (RGR) reprezintă un parametru tehnologic de bază în ceea ce privește evaluarea randamentului creșterii biomasei vegetale. Acesta însă, nu este definitor în condițiile unei analize separate. Astfel, caracterul corelator al parametrului în cauză se manifestă în condițiile asocierii cu ponderea suprafeței foliare și de asemenea, cu rata netă de asimilare.

Valorile medii individuale (numerice și procentuale) ale ratei relative de creștere (RGR), consemnate în cazul duplicatelor variantelor experimentale, sunt următoarele: $0,035 \pm 0,0046g$ ($11,5 \pm 3,8\%$) în cazul Bs. A. F&D și $0,036 \pm 0,0032g$ ($11,87 \pm 3,56\%$) în cazul Bs. B. F&D; $0,041 \pm 0,0043g$ ($22,78 \pm 12,05\%$) în cazul Bs. A. CF și $0,041 \pm 0,0038g$ ($21,73 \pm 8,33\%$) în cazul Bs. B. CF; $0,037 \pm 0,0045g$ ($14,41 \pm 5,67\%$) la Mt. A. F&D și $0,036 \pm 0,0042g$ ($12,45 \pm 4,71\%$) la Mt. B. F&D; $0,043 \pm 0,0058g$ ($29 \pm 14,04\%$) la Mt. A. CF și $0,041 \pm 0,0061g$ ($24,55 \pm 14,9\%$) la Mt. B. CF; $0,038 \pm 0,0029g$ ($13,74 \pm 3,87\%$) pentru Th. A. F&D și $0,037 \pm 0,0057g$ ($13,92 \pm 6,14\%$) Th. B. F&D; $0,029 \pm 0,0077g$ ($7,66 \pm 4,15\%$) pentru Th. A. CF și $0,032 \pm 0,0066g$ ($10,08 \pm 5,97\%$) pentru Th. B. CF (fig. 5.62).

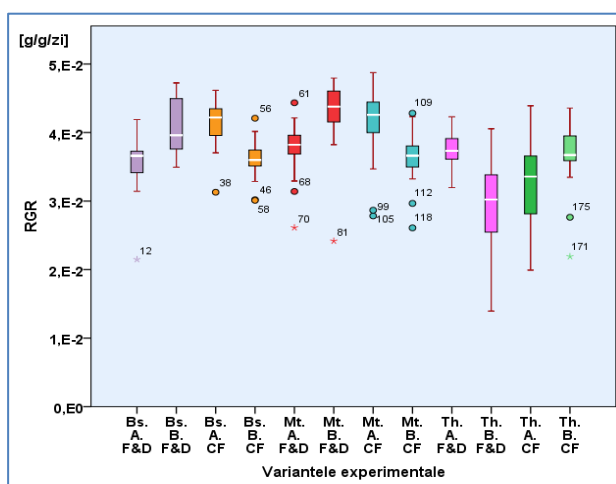


Fig. 5.62. Distribuția valorilor ratei relative de creștere (RGR) a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

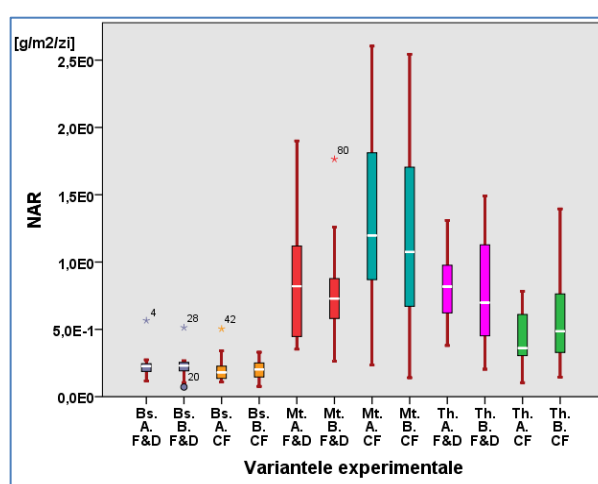


Fig. 5.63. Distribuția valorilor ratei nete de asimilare (NAR) a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește valoarea procentuală a RGR, fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate. De asemenea, un ecart mai larg între extreme se constată în cazul variantelor experimentale cu biomasă de

tarhon, în timp ce în cazul biomasei de mentă se consemnează cel mai mare coeficient de simetrie a distribuție (fig. 5.62).

Rata netă de asimilare (NAR) a biomasei vegetale, descrisă din punct de vedere conceptual în cadrul CAPITOLUL III, secțiunea 3.3.4, paragraful „rata netă de asimilare”, asigură continuitatea axei corelative amintite anterior și anume RGR – LAR – NAR, evaluând eficiența fotosintetică a plantelor.

Valorile medii individuale ale ratei nete de asimilare (NAR), consemnate în cazul celor două variante experimentale, în duplicat, sunt următoarele: $0,23 \pm 0,11 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ suprafață foliară (SF)/zi în cazul Bs. A. F&D și $0,23 \pm 0,1 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ în cazul Bs. B. F&D; $0,21 \pm 0,1 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ în cazul Bs. A. CF și $0,2 \pm 0,08 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ în cazul Bs. B. CF; $0,86 \pm 0,45 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ la Mt. A. F&D și $0,79 \pm 0,38 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ la Mt. B. F&D; $1,34 \pm 0,64 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ la Mt. A. CF și $1,21 \pm 0,79 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ la Mt. B. CF; $0,9 \pm 0,27 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ pentru Th. A. F&D și $0,77 \pm 0,39 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ Th. B. F&D; $0,43 \pm 0,23 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ pentru Th. A. CF și $0,57 \pm 0,33 \text{ g/m}^2 \text{ SF/zi}$ pentru Th. B. CF (fig. 5.63).

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește valoarea procentuală a NAR, fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate. Astfel, valorile NAR din cadrul tuturor variantelor experimentale cu regim permanent de submersie sunt superioare ($p < 0,05$) celor înregistrate în cazul variantelor cu regim intermitent, fapt ce denotă o rată de creștere și un grad de calitate mai bune a biomasei vegetale, date de surplusul de masă foliară.

Distribuția valorilor NAR în cazul biomasei de busuioc și de mentă prezintă un grad superior de disipare a valorilor în jurul mediei în cazul variantelor în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, în timp ce în cazul tarhonului situația se prezintă opus (fig. 5.63).

De asemenea, toate variantele experimentale prezintă un coeficient de simetrie ridicat, exceptând cele cu biomasă de tarhon în regim permanent de submersie, unde se constată o curbă de distribuție înclinată spre stânga, cu valori extreme în partea dreaptă (fig. 5.63).

Analiza **ponderii medii a suprafeței foliare (LAR mediu)**, colaborată cu valorile înregistrate în cazul NAR poate evidenția după caz, o acumulare sau o scădere a substanței uscate la nivelul biomasei foliare, cu efect direct, pe termen lung, asupra productivității biomasei vegetale. Valorile medii individuale ale LAR, consemnate în cazul celor două variante experimentale, în duplicat, sunt următoarele: $1194,52 \pm 327,08 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ suprafață foliară (SF)/g în cazul Bs. A. F&D și $1217,56 \pm 638,75 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ în cazul Bs. B. F&D; $1496,74 \pm 494,88 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ în cazul Bs. A. CF și $1484,79 \pm 520,26 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ în cazul Bs. B. CF; $456,94 \pm 154,57 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ la Mt. A. F&D și $449,6 \pm 156,27 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ la Mt. B. F&D; $343,65 \pm 140,62 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ la Mt. A. CF și $469,95 \pm 227,86 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ la Mt. B. CF; $474,29 \pm 150,08 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ pentru Th. A. F&D și $532,75 \pm 158,9 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ Th. B. F&D; $676,65 \pm 251,54 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ pentru Th. A. CF și $632,76 \pm 263,78 \text{ cm}^2 \text{ SF/g}$ pentru Th. B. CF (fig. 5.64).

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește ponderea medie a suprafeței foliare (LAR mediu), fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate, cu excepția mentei. Valori superioare ($p < 0,05$) ale LAR mediu se constată în cazul busuiocului, comparativ cu biomasele de mentă și tarhon (fig. 5.64).

De asemenea, biomasa de busuioc și tarhon cultivat în regim permanent de submersie a înregistrat valori mai mari ale LAR mediu ($p < 0,05$), comparativ cu cea obținută folosind regimul intermitent (fig. 5.64).

În ceea ce privește distribuția valorilor LAR mediu în cadrul variantelor experimentale, se constată un grad de disipare superior al acestora în cazul busuiocului, cu un ecart mai larg între extreme pentru variantele unde a fost aplicat regimul permanent de submersie (fig. 5.64).

Existența unor diferențe între duplicate se justifică prin diversele caracteristici morfo-biometrice generate de factorii genetici, prezente la nivelul biomaselor vegetale experimentale (fig. 5.64).

Trebuie precizat însă că diferențele amintite anterior, între duplicate, sunt nesemnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$). În cazul biomasei de mentă, valorile mai mari ale NAR, colaborate cu cele mai scăzute înregistrate pentru LAR mediu (fig. 5.63 și fig. 5.64) denotă o acumulare intensă de substanță uscată la nivelul biomasei foliare.

Din valorile înregistrate în cazul suprafeței foliare și a ponderii medii a acesteia (LAR mediu), se poate concluziona faptul că frunzele de busuioc și mentă sunt mai groase în cadrul variantelor unde a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul intermitent (fig. 5.61 și 5.64).

Acest fapt confirmă adaptabilitatea superioară a acestor două specii de plante la un regim permanent de submersie, manifestată atât printr-o creștere superioară în înălțime și masă (fig. 5.56 și 5.58), cât și printr-o calitate superioară a biomasei vegetale (fig. 5.61 și 5.64).

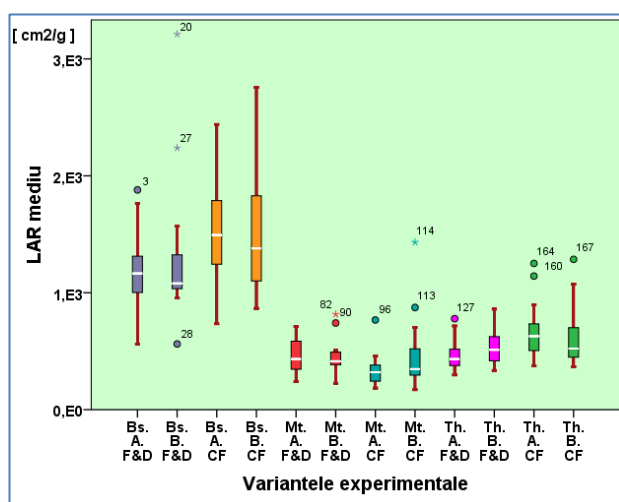


Fig. 5.64 Distribuția valorilor ponderii medii a suprafeței foliare aferentă busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

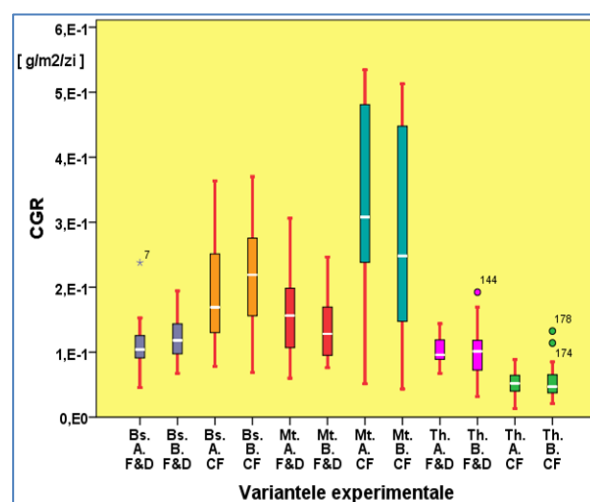


Fig. 5.65. Distribuția valorilor ratei de creștere (CGR) a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

Rata de creștere a biomasei vegetale (CGR) este un parametru sugestiv, folosit în cadrul sistemelor recirculante integrate pentru a evalua productivitatea modului acvaponic prin raportarea sporului de creștere a biomasei vegetale la suprafața de creștere a unităților acvaponice. Rezultatele acestui parametru indică într-o oarecare măsură, eficiența utilizării modului acvaponic în scopul producerii de biomasă vegetală, analizând acest proces strict din punct de vedere cantitativ. Ca atare, o analiză separată a rezultatelor CGR-ului nu poate constitui o imagine clară a randamentului creșterii unei biomase vegetale.

Valorile medii individuale ale LAR, consemnate în cazul celor două variante experimentale, în duplicat, sunt următoarele: $0,11 \pm 0,04 \text{ g/m}^2$ suprafață de creștere/zi în cazul Bs. A. F&D și $0,12 \pm 0,03 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. B. F&D; $0,19 \pm 0,09 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. A. CF și $0,22 \pm 0,08 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ în cazul Bs. B. CF; $0,15 \pm 0,08 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. A. F&D și $0,14 \pm 0,05 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. B. F&D; $0,34 \pm 0,14 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. A. CF și $0,28 \pm 0,16 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ la Mt. B. CF; $0,1 \pm 0,02 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. A. F&D și $0,1 \pm 0,04 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ Th. B. F&D; $0,05 \pm 0,02 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. A. CF și $0,06 \pm 0,03 \text{ g/m}^2/\text{zi}$ pentru Th. B. CF (fig. 5.65).

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește rata de creștere a biomasei vegetale (CGR), fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate. În

cadru variantelor experimentale cu regim permanent de submersie se consemnează valori superioare ale CGR ($p < 0,05$), comparativ cu cele cu regim intermitent, fapt valabil în cazul biomaselor de busuioc și mentă (fig. 5.65). Situația se prezintă radical opus în cazul biomasei de tarhon, care înregistrează o valoare mai bună a CGR ($p < 0,05$) în cazul aplicării unui regim intermitent de submersie.

Comparând speciile de plante testate în regim permanent de submersie, se constată o valoare a CGR mai ridicată în cazul mentei, urmată de busuioc și tarhon, diferențele fiind semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$). În ceea ce privește variantele în cadrul cărora a fost aplicat un regim intermitent de submersie, diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește valoarea CGR au fost constatate între biomasa de mentă, care a consemnat de altfel și cea mai ridicată rată de creștere și cea de tarhon, unde s-a înregistrat cea mai scăzută rată de creștere.

În ceea ce privește distribuția valorilor CGR în cadrul variantelor experimentale, se constată un grad de disipare superior al acestora în cazul biomaselor de busuioc și mentă cultivate în regim permanent de submersie (fig. 5.65). De asemenea, în cazul variantelor cu biomasă de mentă în regim permanent de submersie se observă o înclinație a curbei de distribuție spre stânga, cu valori extreme mai proeminente în aceeași direcție (fig. 5.65).

Indicele suprafeței foliare (LAI), colaborat cu ponderea medie a suprafeței foliare (LAR) și rata de creștere a biomasei vegetale (CGR) indică o imagine justă a gradului și modului de creștere și dezvoltare a biomasei vegetale, în special în cazul plantelor cu frunze verzi, comestibile. În cazul prezentului experiment au fost consemnate următoarele valori finale ale LAI mediu, în duplicat: $1,01 \pm 0,41 \text{ m}^2$ suprafață foliară (SF)/ m^2 în cazul Bs. A. F&D și $1,26 \pm 0,89 \text{ m}^2$ SF/ m^2 în cazul Bs. B. F&D; $2,11 \pm 1,26 \text{ m}^2$ SF/ m^2 în cazul Bs. A. CF și $2,28 \pm 1,16 \text{ m}^2$ SF/ m^2 în cazul Bs. B. CF; $0,35 \pm 0,09 \text{ m}^2$ SF/ m^2 la Mt. A. F&D și $0,34 \pm 0,12 \text{ m}^2$ SF/ m^2 la Mt. B. F&D; $0,48 \pm 0,07 \text{ m}^2$ SF/ m^2 la Mt. A. CF și $0,47 \pm 0,11 \text{ m}^2$ SF/ m^2 la Mt. B. CF; $0,24 \pm 0,08 \text{ m}^2$ SF/ m^2 pentru Th. A. F&D și $0,26 \pm 0,07 \text{ m}^2$ SF/ m^2 Th. B. F&D; $0,22 \pm 0,06 \text{ m}^2$ SF/ m^2 pentru Th. A. CF și $0,20 \pm 0,09 \text{ m}^2$ SF/ m^2 pentru Th. B. CF (fig. 5.66).

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește indicele suprafeței foliare (LAI), fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate. De asemenea, valori superioare ($p < 0,05$) sunt consemnate în cazul biomasei de busuioc, comparativ cu biomasele de mentă și tarhon.

Valorile mai bune ale LAI, înregistrate în cadrul variantelor experimentale de busuioc și mentă cultivate în regim permanent de submersie, confirmă cele constatate în cazul parametrilor anterior expuși (fig. 5.66 B. și M.). De asemenea, valorile LAI mai ridicate sunt consemnate în cazul tarhonului crescut în regim intermitent de submersie (fig. 5.66 T.).

În ceea ce privește evoluția LAI, în cazul busuiocului se observă o dinamică relativ constantă în primele 11 zile ale perioadei de acomodare a răsadurilor la noile condiții mediale, urmată de o evoluție puternic ascendentă, diferită în intensitate în funcție de regimul de submersie aplicat, până la sfârșitul perioadei experimentale (fig. 5.66 B.).

De-a lungul primelor 11 zile destinate acomodării răsadurilor transplantate la noile condiții de mediu, biomasa de tarhon are o evoluție asemănătoare cu cea a biomasei de busuioc, fiind urmată apoi de o dinamică ascendentă, mai slabă în intensitate comparativ cu cea consemnată în cazul busuiocului (fig. 5.66 T.).

Menta transplantată în cadrul unităților acvaponice consemnează cea mai rapidă acomodare la noile condiții mediale, evoluția acesteia fiind puternic ascendentă încă de la începutul perioadei experimentale, inclusiv de-a lungul celor 11 zile de acomodare (fig. 5.66 M.).

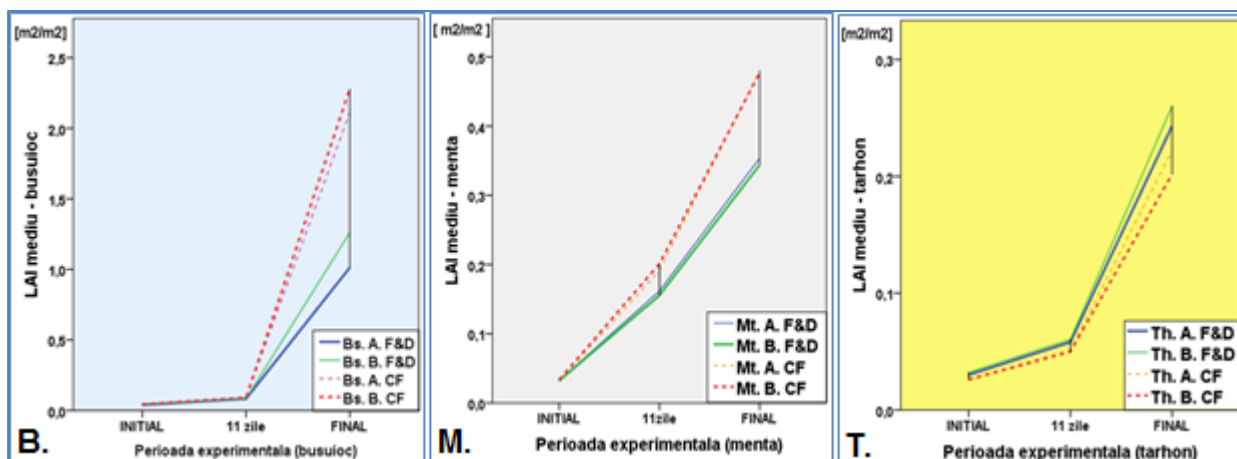


Fig. 5.66. Evoluția indicelui mediu al suprafeței foliare (LAI) de-a lungul perioadei experimentale, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (CF și F&D), pentru: B. biomasa de busuioc; M. – biomasa de mentă; T. – biomasa de tarhon.

În concluzie, conform celor expuse în cadrul prezentului paragraf, se poate afirma că biomasa de mentă prezintă cel mai rapid grad de acomodare la noile condiții acvaponice de cultură, survenite în urma transplantării acesteia în cadrul unităților cu substrat LECA. De asemenea, biomasa de tarhon prezintă cea mai ridicată elasticitate în ceea ce privește adaptabilitatea la cele două regimuri de submersie testate și anume, regimul permanent (CF) și cel intermitent (F&D).

Raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S) este interpretat atât ca un indicator calitativ, cât și ca un parametru ce caracterizează starea de sănătate a biomasei vegetale la un moment dat. Informații detaliate legate de acest parametru sunt prezentate în cadrul capitolelor anterioare (CAPITOLUL III și CAPITOLUL IV, secțiunea 3.3.5 și 4.3.5, paragraf „raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S)”).

În cazul prezentului experiment au fost consemnate următoarele valori finale ale raportului de masă R/S, în duplicat: $0,62 \pm 0,14$ în cazul Bs. A. F&D și $0,57 \pm 0,15$ în cazul Bs. B. F&D; $0,23 \pm 0,04$ în cazul Bs. A. CF și $0,21 \pm 0,15$ în cazul Bs. B. CF; $0,29 \pm 0,17$ la Mt. A. F&D și $0,33 \pm 0,19$ la Mt. B. F&D; $0,12 \pm 0,1$ la Mt. A. CF și $0,13 \pm 0,08$ la Mt. B. CF; $0,22 \pm 0,07$ pentru Th. A. F&D și $0,24 \pm 0,17$ Th. B. F&D; $0,34 \pm 0,19$ pentru Th. A. CF și $0,32 \pm 0,15$ pentru Th. B. CF (fig. 5.67).

Se observă diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (cu regim permanent și intermitent de submersie) în ceea ce privește raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S), fapt valabil în cazul tuturor speciilor de plante testate.

Astfel, valori superioare ale R/S ($p < 0,05$) sunt consemnate pentru biomasele de busuioc și mentă, în condițiile aplicării unui regim intermitent de submersie, comparativ cu regimul permanent (fig. 5.67).

În cazul tarhonului, situația se prezintă radical opus, aplicarea unui regim permanent de submersie generând valori superioare ($p < 0,05$) ale raportului R/S (fig. 5.67).

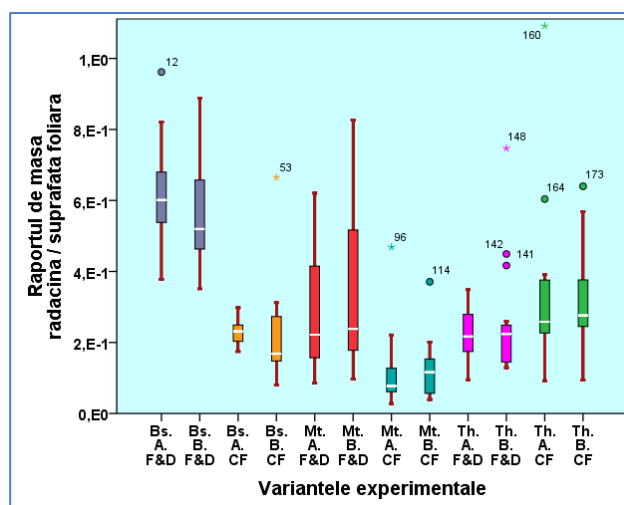


Fig. 5.67. Distribuția valorilor raportului masic rădăcină/suprafață foliară (R/S), aferent biomasele de busuioc, mentă și tarhon, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

Cu toate acestea, valorile mari ale raportului R/S consemnate în cazul variantelor menționate mai sus, nu sunt sugestive în vederea caracterizării stării de sănătate a biomasei vegetale și nici a calității acesteia, ele fiind consecința unei valori inferioare a masei foliare și nu a valorii superioare a masei radiculare a plantelor

● Evaluarea performanței tehnologice a biomasei piscicole

În cazul unui sistem recirculant integrat, performanța tehnologică a biomasei piscicole este strâns corelată cu o multitudine de factori legați de satisfacerea cerințelor mediale și nutriționale ale speciei de cultură și ca atare, optimizarea coeficientului de conversie a hranei [216].

Obiectivul experimentului a constat în analiza performanței tehnologice a păstrugii „*Acipenser stellatus*” crescute în cadrul unui sistem recirculant integrat, cu biomasă vegetală de busuioc, mentă și tarhon la nivelul modulului acvaponic, în condițiile aplicării a două rate zilnice de administrare a hranei (1%BW și 2%BW), în duplicat. În acest scop au fost folosiți indicatorii tehnologici descriși în cadrul CAPITOLULUI II, secțiunea 2.4 al prezentei lucrări.

Biomasa piscicolă formată din 92 de exemplare de păstrugă, ce fac obiectul prezentului studiu, a fost repartizată în mod egal în cadrul celor patru unități de creștere ale sistemului recirculant integrat, descris în cadrul CAPITOLULUI II, secțiunea 2.1.3.

La inițierea experimentului nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p > 0,05$) între variantele experimentale în ceea ce privește masa și lungimea corporală a exemplarelor de păstrugă, omogenitatea loturilor formate fiind probată din punct de vedere statistic (testul Levene - $p > 0,05$). Înainte de momentul populării, analiza regresiei lungime – masă corporală (fig. 5.68) pentru exemplarele de păstrugă evidențiază valori asemănătoare ale coeficienților de regresie (r^2) în cadrul celor patru grupuri experimentale și anume: F1 -1%BW (B1: $r^2 = 0,894$; B2: $r^2 = 0,794$) și F2 – 2%BW (B3: $r^2 = 0,878$; B4: $r^2 = 0,835$).

Regresia lungime – masă corporală, efectuată la finalul perioadei experimentale, indică o omogenitate ridicată în cadrul celor patru grupuri experimentale, fără diferențe notabile între coeficienții de regresie (r^2) consemnați (fig. 5.69).

Astfel, se obțin următoarele valori ale coeficienților de regresie (r^2): F1 -1%BW (B1: $r^2 = 0,704$; B2: $r^2 = 0,782$) și F2 – 2%BW (B3: $r^2 = 0,757$; B4: $r^2 = 0,668$). Cu toate acestea, din compararea valorilor coeficienților de regresie înregistrați la începutul și la finalul perioadei experimentale, se observă un grad mai ridicat de omogenitate a populației piscicole, consemnat înainte de momentul populării (fig. 5.68 și fig. 5.69).

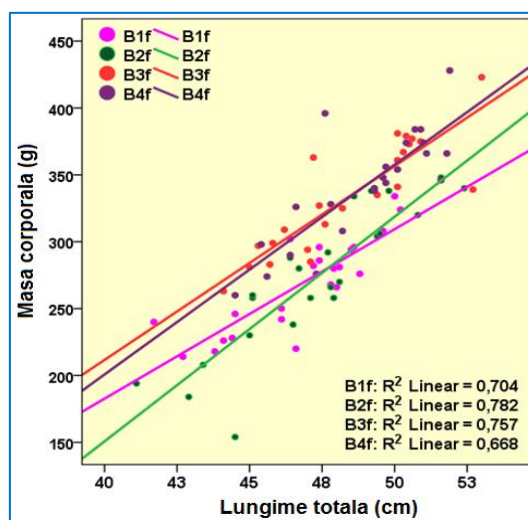
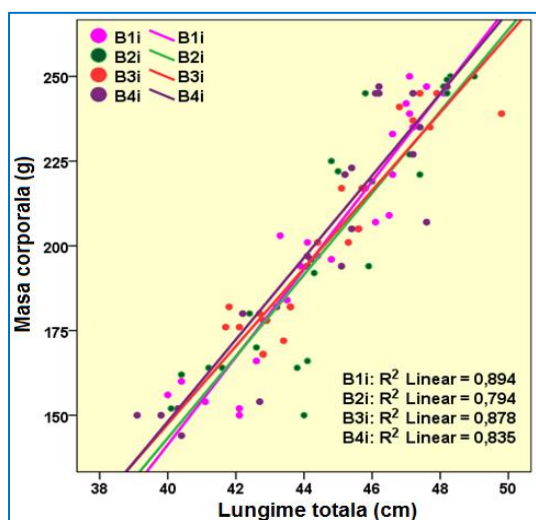


Fig. 5.68. Regresia lungime-masă la populare

Fig. 5.69. Regresia lungime-masă la recoltare

Pentru a măsura intensitatea corelației din punct de vedere statistic, între lungimea și masa corporală a exemplarelor de păstrugă din cadrul variantelor experimentale, atât în momentul populării, cât și la recoltare, s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*.

Ca atare, au fost consemnate următoarele valori ale acestui coeficient în momentul populării: F1 – 1%BW (B1: 0,839; B2: 0,884) și F2 – 2%BW (B3: 0,87 și B4: 0,817), cu nivel de semnificație $p < 0,01$. În urma acestor rezultate au fost aplicate regresii liniare simple între lungimea totală (Lt) și masa corporală (M), obținând următoarele ecuații de regresie:

➤ În momentul populării:

- **F1 - B1:** $Lt_{B1i} = 0,056 M_{B1i} + 31,848$
- **F1 - B2:** $Lt_{B2i} = 0,047 M_{B2i} + 34,559$
- **F2 - B3:** $Lt_{B3i} = 0,052 M_{B3i} + 30,99$
- **F2 - B4:** $Lt_{B4i} = 0,043 M_{B4i} + 34,445$

La recoltare, coeficientul de corelație *Pearson* a consemnat următoarele valori: F1 – 1%BW (B1: 0,945; B2: 0,891) și F2 – 2%BW (B3: 0,937 și B4: 0,914), cu nivel de semnificație $p < 0,01$. Astfel, regresiile liniare simple între lungimea totală (Lt) și masa corporală (M) au generat următoarele ecuații de regresie:

➤ La recoltare:

- **F1 - B1:** $Lt_{B1F} = 0,069 M_{B1F} + 30,737$
- **F1 - B2:** $Lt_{B2F} = 0,066 M_{B2F} + 31,557$
- **F2 - B3:** $Lt_{B3F} = 0,076 M_{B3F} + 29,296$
- **F2 - B4:** $Lt_{B4F} = 0,069 M_{B4F} + 30,492$

Verificarea reprezentativității mediei variabilelor analizate s-a realizat prin intermediul coeficientului de variație. Astfel, coeficientul de variație a masei corporale (CV_M) a fost calculat atât în momentul populării (inițial), cât și la mijlocul perioadei experimentale (intermediar) și la recoltare (final), în timp ce coeficientul de variație a lungimii corporale (CV_L) a fost calculat în momentul populării (inițial) și la recoltare (final). Este necesar a fi precizat faptul că, CV_M are un grad de semnificație mult mai însemnat, comparativ cu CV_L , în vederea determinării gradului de heterogenitate la nivelul populației piscicole.

Nu s-au observat diferențe însemnate între cele două variante experimentale (F1 și F2) în ceea ce privește valorile CV_M înregistrate în momentul recoltării (tabel 5.3). De asemenea, se observă o tendiță certă de reducere a CV_M de-a lungul perioadei experimentale, fapt valabil în cazul ambelor variante experimentale (tabel 5.3). În ceea ce privește CV_L , evoluția acestuia confirmă cele semnalate în cazul CV_M , cu mențiunea faptului că tendința descendentă a acestuia de-a lungul perioadei experimentale a fost mai puțin intensă (tabel 5.3).

Tabel 5.3: Valorile coeficienților de variabilitate a masei corporale și a lungimii corporale

Nr. crt.	INDICATORUL	Etapă experimentală	VARIANTELE EXPERIMENTALE			
			F1 (1%)		F2 (2%)	
			B1	B2	B3	B4
1.	Coeficientul de variație a masei corporale CV_M (%)	Inițial	16,61	18,14	14,76	15,36
		Intermediar	16,2	15,43	12,13	12,96
		Final	12,98	12,41	12,46	12,39
2.	Coeficientul de variație a lungimii corporale - CV_L (%)	Inițial	6,04	5,89	5,48	5,11
		Final	4,94	4,66	5,16	5,78

Valorile consemnate confirmă analiza regresiei prezentată anterior. Dediu (2009) afirmă faptul că, valori ale CV_M mai mici de 35% reflectă o serie cu un grad de omogenitate ridicat și împrăștiere mică a valorilor [211].

Ipoteza este verificată în situația prezentului experiment unde se poate concluziona de asemenea, faptul că utilizarea diferitelor intensități de hrănire (1%BW și 2%BW) nu au influențat vizibil gradul de heterogenitate la nivelul biomasei de cultură. Acest lucru este confirmat și în cadrul altor studii de specialitate [200]. Diferențele foarte mici consemnate între duplicatele aceleiași variante experimentale pot fi motivate prin argumente ce implică structura inițială a lotului sau variabilitatea genetică.

Tabloul sintetic al indicatorilor de performanță a creșterii (table 5.4) indică rezultate mai bune ale sporului individual de creștere în cazul variantei experimentale F2 (2%BW), fapt confirmat și de valorile superioare ale ritmului zilnic de creștere, corespunzătoare biomasei piscicole din cadrul variantei în cauză.

De asemenea, o tendință clară de evoluție descendentă a ritmului zilnic de creștere, de-a lungul perioadei experimentale este consemnată în cadrul F1 (1%BW) (tabel. 5.4).

Tabel 5.4: Tablou sintetic privind indicatorii de performanță tehnologică pentru biomasa de păstrugă din cadrul prezentului experiment

Nr.c rt.	INDICATORUL TEHNOLOGIC	Etapă experimentală	VARIANTELE EXPERIMENTALE			
			F1 (1%BW)		F2 (2%BW)	
			B1	B2	B3	B4
1.	Numărul de exemplare de păstrugă	<i>Inițial</i>	23	23	23	23
		<i>Intermediar</i>	23	23	23	23
		<i>Final</i>	23	23	23	23
2.	Durata perioadei experimentale (zile)		28	28	28	28
3.	Supraviețuirea (%)	<i>Inițial</i>	100	100	100	100
		<i>Intermediar</i>	100	100	100	100
		<i>Final</i>	100	100	100	100
4.	Biomasa totală (g)	<i>Inițial</i>	4646	4636	4642	4634
		<i>Intermediar</i>	5520	5592	6130	6226
		<i>Final</i>	6177	6266	7690	7858
5.	Masa corporală medie (g/ex)	<i>Inițial</i>	202	201,57	201,83	201,48
		<i>St.Dev. Inițial</i>	33,56	36,57	29,79	30,94
		<i>Intermediar</i>	240	243,13	266,52	270,7
		<i>St.dev. Intermediar</i>	38,89	37,53	32,34	35,08
		<i>Final</i>	268,56	272,43	334,35	341,65
		<i>St.Dev. Final</i>	34,86	33,81	41,66	42,32
6.	Lungimea corporală medie (cm/ex)	<i>Inițial</i>	44,69	44,83	44,73	44,41
		<i>St.Dev. Inițial</i>	2,70	2,64	2,45	2,27
		<i>Final</i>	46,78	47,24	48,47	48,98
		<i>St.Dev. Final</i>	2,31	2,20	2,50	2,43

7.	Densitatea de stocare (kg/m ³)	<i>Inițial</i>	17,21	17,17	17,19	17,16
		<i>Intermediar</i>	20,44	20,71	22,7	23,06
		<i>Final</i>	22,87	23,21	28,48	29,1
8.	Densitatea de stocare (kg/m ²)	<i>Inițial</i>	20,65	20,61	20,63	20,6
		<i>Intermediar</i>	24,53	24,85	27,24	27,67
		<i>Final</i>	27,45	27,85	34,18	34,92
9.	Sporul total de creștere (g)	<i>Inițial - Intermediar</i>	874	956	1488	1592
		<i>Intermediar - Final</i>	657	674	1560	1632
10.	Sporul individual de creștere (g/ex)	<i>Inițial - Intermediar</i>	38	41,56	64,69	69,22
		<i>Intermediar - Final</i>	28,56	29,3	67,83	70,95
11.	Sporul de densitate al biomasei (kg/m ³)	<i>Inițial - Intermediar</i>	3,23	3,54	5,51	5,9
		<i>Intermediar - Final</i>	2,43	2,5	5,78	6,04
12.	Sporul de densitate al biomasei (kg/m ²)	<i>Inițial - Intermediar</i>	3,88	4,24	6,61	7,07
		<i>Intermediar - Final</i>	2,92	3	6,94	7,25
13.	Ritm zilnic de creștere (g/zi)	<i>Inițial - Intermediar</i>	62,43	68,29	106,29	113,71
		<i>Intermediar - Final</i>	46,93	48,14	111,43	116,57
14.	Rata relativă de creștere (g/g/zi)	<i>Inițial - Intermediar</i>	0,0134	0,0147	0,0229	0,0245
		<i>Intermediar - Final</i>	0,0085	0,0086	0,0182	0,0187
15.	Cantitatea totală de hrană distribuită (g)	<i>Inițial - Intermediar</i>	650,44	649,04	1299,76	1297,52
		<i>Intermediar - Final</i>	772,8	782,88	1716,4	1743,28
16.	Proteina brută din furaj (%)		41	41	41	41
17.	Rația zilnică (% BW)		1	1	2	2
18.	Rata specifică de creștere – SGR (%BW/zi)	<i>Inițial - Intermediar</i>	1,23	1,34	1,99	2,11
		<i>Intermediar - Final</i>	0,80	0,81	1,62	1,66
19.	Spor individual de creștere în lungime (%BL/zi)	<i>Inițial - Final</i>	0,33	0,37	0,57	0,70
20.	Factorul de conversie a hranei - FCR (g furaj / g spor biomasă)	<i>Inițial - Intermediar</i>	0,74	0,68	0,87	0,82
		<i>Intermediar - Final</i>	1,18	1,16	1,10	1,07
21.	Coeficientul de eficiență proteică - PER (g/g)	<i>Inițial - Intermediar</i>	3,28	3,59	2,79	2,99
		<i>Intermediar - Final</i>	2,07	2,10	2,22	2,28

În cazul F1 (1%BW) se observă totuși o scădere a sporului individual de creștere de-a lungul celei de-a doua părți a perioadei experimentale, în timp ce în dreptul F2 se constată o ușoară evoluție ascendentă a acestuia (tabel 5.4). Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) au fost consemnate între valorile sporului individual de creștere consemnat în dreptul celor două variante experimentale. Astfel, ipoteza menționată în cadrul altor studii științifice de specialitate [200], conform căreia o intensitate mai ridicată a hrănirii conduce la intensificarea activității metabolice, este confirmată în cadrul prezentului studiu.

Sporul individual de creștere în lungime confirmă rezultatele obținute în cazul sporului total de creștere (tabel 5.4). Astfel, o valoare superioară ($p < 0,05$) a acestuia se consemnează în

cazul F2 (2%BW), comparativ cu F1 (1%BW). Nu s-au observat diferențe semnificative statistic ($p > 0,05$) între duplicatele aceleiași variante experimentale

Rata relativă de creștere a consemnat valori superioare în cazul variantei F2 (2%BW), atât în momentul de referință intermediar, cât și la recoltare (tabel 5.4). Se observă totuși o scădere a ratei relative de creștere în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale (tabel 5.4), fapt valabil pentru ambele variante testate (F1 și F2).

Constatările semnalate sunt în concordanță cu evoluția SGR-ului, fapt ce indică o relație de directă proporționalitate între sporul de creștere al biomasei și intensitatea hrănirii. Acest fapt este confirmat de asemenea, de Dicu (2013), care a aplicat două intensități de administrare a hranei (1,1% și 2,2%) pentru creșterea puietului de păstrugă cu o masă corporală medie de 46g/ex [200]. Ca atare, în cadrul prezentului experiment se observă o evoluție descendentă a SGR-ului de-a lungul perioadei experimentale, fapt valabil în situația ambelor variante testate (tabel 5.4). Valori superioare ($p < 0,05$) ale acestui indicator se înregistrează în cazul F2 (2%BW), comparativ cu F1 (1%BW). Nu s-au observat diferențe semnificative statistic ($p > 0,05$) între duplicatele aceleiași variante experimentale.

Randamentul utilizării hranei, exprimat prin factorul de conversie a furajului (FCR), a înregistrat o valoare superioară în cazul F2 (2%BW), în prima parte a perioadei experimentale (tabel 5.4). Situația însă a fost radical opusă în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale, când valori superioare ale FCR au fost semnalate în cazul F1 (1%BW), comparativ cu F2 (2%BW). Dicu (2013) obține o medie superioară a FCR-ului de 0,89g furaj/g spor biomasă în condițiile aplicării unei rații zilnice de 1,1%BW pentru puietul de păstrugă, comparativ cu valoarea medie a FCR-ului de 0,74g furaj/g spor biomasă, aferentă biomasei sturionice hrănită cu o rație zilnică de 2,2%BW [200].

Se poate conchide o intensificare a metabolismului biomasei de păstrugă, survenită în urma administrării unei cantități mai mari de hrană, fapt confirmat și de Dicu (2013) [200]. Corelația directă, manifestată în cadrul celei de-a doua jumătăți a perioadei experimentale, între eficiența conversiei hranei și intensitatea hrănirii, indică posibilitatea materialului sturionicol în cauză de a valorifica eficient cantități suplimentare de furaj cu nivel proteic asemănător celui administrat. Drept urmare, aplicarea unei rații zilnice de hrănire de 2%BW nu are drept consecință atingerea unui nivel de saturație în cadrul biomasei de păstrugă și ca atare, nu reprezintă un prag maxim de satisfacere a nevoilor nutriționale aferente acesteia.

Coeficientul de eficiență a reținerii proteinei (PER) înregistrează valori superioare în cazul F1 (1%BW), în prima parte a perioadei experimentale (tabel 5.4). Situația însă a fost radical opusă în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale, când valori superioare ale PER au fost semnalate în cazul F2 (2%BW), comparativ cu F1 (1%BW) (tabel 5.4). Este necesar a fi punctată evoluția invers proporțională manifestată între PER și FCR, în cazul ambelor variante experimentale (tabel 5.4). Astfel, se confirmă cele afirmate în cadrul altor studii asemănătoare, de către Aderolu (2010) și anume, că abilitatea unui organism de a utiliza nutrienții, în special proteinele, influențează pozitiv rata de creștere [327].

Astfel, se poate concluziona faptul că rația de 2%BW excede nivelul optim de hrănire în cazul păstrugii, în primele 14 zile ale perioadei experimentale, fapt consemnat de altfel și în cazul altor specii de sturioni precum bester [326]. În cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale, se constată o valorificare mai eficientă a cantității de hrană administrată în cazul variantei experimentale F2 (2%BW).

Dicu (2013) raportează rezultate mai bune ale coeficientului de eficiență a reținerii proteinei (PER) în cazul puietului de păstrugă, în condițiile aplicării unei rații zilnice de hrănire de 2,2%BW, comparativ cu 1,1%BW [200].

Cel mai probabil, o durată mai mare a perioadei experimentale ar fi asigurat diferențe mai accentuate între valorile PER-ului, consemnate la nivelul celor două variante experimentale,

indicând cel mai probabil o eficiență mai mare în cazul variantei F2 (2%BW). Această afirmație este argumentată în special de tendința ascendentă manifestată de indicatorul tehnologic în cauză, în cadrul ultimei etape a perioadei experimentale.

În cazul prezentului experiment, starea de condiție a biomasei sturionice a fost evaluată cu ajutorul factorului alometric de condiție F ($F=W/L^b$, unde „b” este un exponent alometric determinat experimental).

Se constată valori ale exponentului alometric „b” mai mici de 3 unități, fapt ce indică o creștere mai rapidă în masă a materialului sturionicol, decât cea în lungime (fig. 5.70). De asemenea, valorile exponentului alometric, consemnate la recoltare, sunt superioare celor înregistrate înainte de populare, fapt ce relevă o stare de condiție mai bună a păstrugii din cadrul celor două variante experimentale, la finalul perioadei experimentale (fig. 5.70).

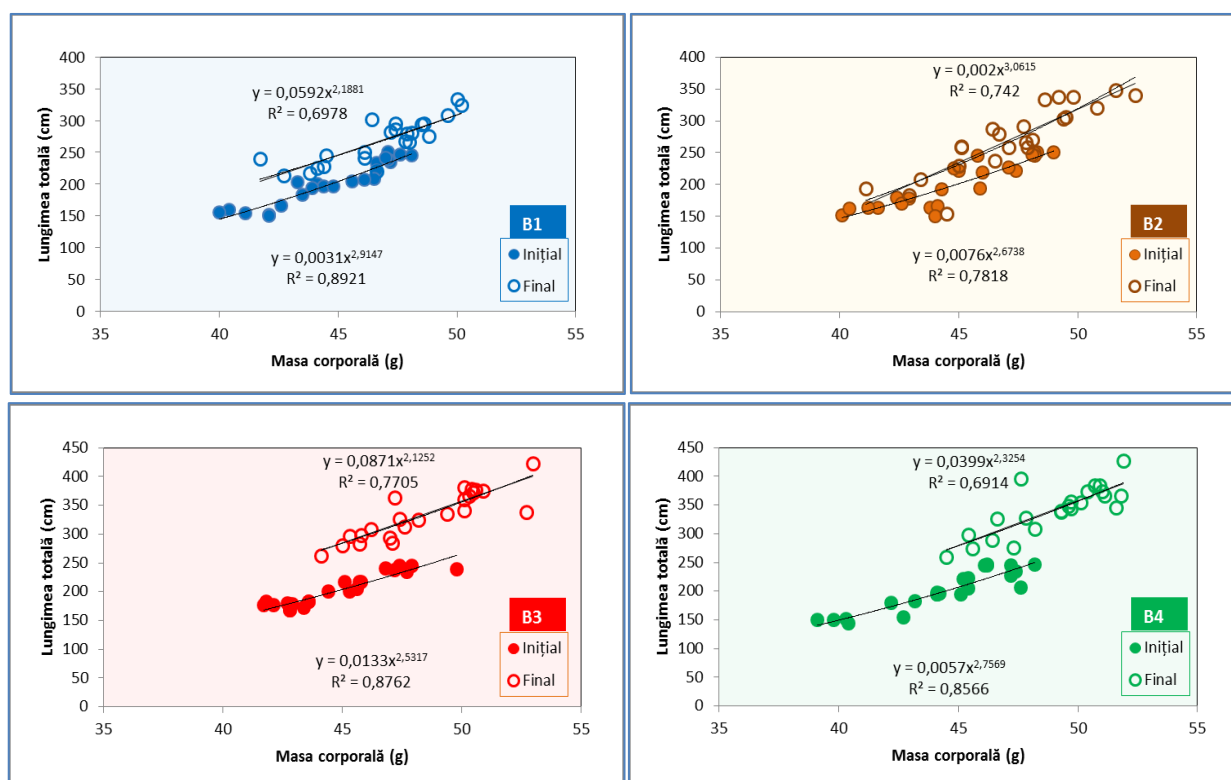


Fig. 5.70 Curbele și ecuațiile de creștere ale biomasei sturionice din cadrul duplicatelor celor două variante experimentale (F1: B1, B2 și F2: B3 și B4), consemnate la populare și la recoltare

În urma analizei comparative a celor două variante experimentale, se constată o valoare medie a factorului alometric de condiție, superioară în cazul F2 (2%BW), comparativ cu F1 (1%BW) (fig. 5.70). Starea de condiție mai bună consemnată astfel în dreptul F2, este susținută de rezultatele înregistrate în cazul tuturor indicatorii tehnologici descriși anterior. În concluzie, se poate semna o robustețe relativă apreciabilă în cazul variantei F2 (2%BW), comparativ cu F1 (1%BW), fapt confirmat și în cadrul altor studii de specialitate [200].

Așadar, în urma celor prezentate în cadrul acestei secțiuni, se poate afirma faptul că intensitatea de hrănire influențează semnificativ performanța de creștere și randamentul utilizării hranei, în cazul unui material sturionicol alcătuit din păstrugă crescută în cadrul unui sistem recirculant integrat, cu biomasă vegetală de busuioc, mentă și tarhon prezentă la nivelul modulului acvaponic, de-a lungul întregii perioade experimentale. De asemenea, performanțele tehnologice consemnate în cazul păstrugii sunt asemănătoare cu cele raportate în cadrul altor studii experimentale ce au studiat plasticitatea tehnologică a materialului piscicol crescut în condițiile unui sistem recirculant de acvacultură [200].

Astfel, se poate afirma că folosirea combinațiilor de specii păstrugă : busuioc, mentă, tarhon, în condițiile unui sistem recirculant integrat, este fezabilă din punct de vedere economic, asigurând o productivitate crescută în cazul aplicării unui regim permanent de submersie la nivelul modulului acvaponic și a unei rații de administrare a hranei de 2%BW.

5.3.5. Compoziția biochimică, chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole

În cadrul prezentului experiment s-au evaluat concentrațiile de nitriți și nitrați ale biomaselor de busuioc, mentă și tarhon, obținute prin utilizarea tehnicilor acvaponice pe substrat de cultură tip LECA, în diverse regimuri de submersie (permanent și intermitent). Astfel, a fost posibilă realizarea unei analize comparative, în vederea stabilirii influenței regimului de submersie asupra concentrației de nitriți și nitrați, acumulată la nivelul biomaselor foliare și radiculare a speciilor de plante anterior menționate. Concentrațiile compușilor menționați, consemnate la nivelul biomasei vegetale obținută folosind tehnici acvaponice, au fost comparate cu cele aferente biomasei cultivate convențional, pe sol.

De asemenea, a fost urmărită influența rației zilnice de furajare (F1 – 1%BW și F2 – 2%BW) asupra compoziție chimice (concentrațiile de nitriți și nitrați) și biochimice a cărnii de păstrugă, crescută în cadrul sistemului recirculant integrat, de-a lungul perioadei experimentale.

În vederea unei evaluări calitative mai obiective, au fost determinate concentrațiile de substanță uscată și substanțe minerale totale (cenușa) la nivelul biomasei foliare și radiculare a celor trei specii de plante testate. Evaluarea concentrațiilor de pigmenți verzi clorofilieni (clorofila *a* și *b*) și galbeni (carotenoizii) a fost realizată, atât raportat la suprafața, cât și la masa foliară a biomaselor vegetale în cauză.

Biomasa vegetală

Concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară a celor trei specii de plante testate,

au consemnat următoarele valori medii, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale: $3,23 \pm 0,17 \text{ mg/kg}$ rădăcină proaspătă (FW) în cazul Bs. A. F&D și $3,03 \pm 0,18 \text{ mg/kg}$ FW în cazul Bs. B. F&D; $4,18 \pm 0,1 \text{ mg/kg}$ FW în cazul Bs. A. CF și $4,43 \pm 0,11 \text{ mg/kg}$ FW în cazul Bs. B. CF; $4,87 \pm 0,17 \text{ mg/kg}$ FW la Mt. A. F&D și $4,58 \pm 0,16 \text{ mg/kg}$ FW la Mt. B. F&D; $5,21 \pm 0,09 \text{ mg/kg}$ FW la Mt. A. CF și $5,43 \pm 0,11 \text{ mg/kg}$ FW la Mt. B. CF; $2,97 \pm 0,16 \text{ mg/kg}$ FW pentru Th. A. F&D și $3,15 \pm 0,15 \text{ mg/kg}$ FW Th. B. F&D; $3,19 \pm 0,15 \text{ mg/kg}$ FW pentru Th. A. CF și $3,34 \pm 0,14 \text{ mg/kg}$ FW pentru Th. B. CF (fig. 5.71).

Valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrațiilor de nitriți din suprafața radiculară au fost consemnate în cadrul variantelor în cazul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, fapt valabil pentru biomaselor de busuioc și mentă (fig. 5.71).

În cazul biomasei de tarhon, nu s-au înregistrat diferențe semnificative ($p > 0,05$) între cele două variante experimentale cu regimuri de submersie diferite (fig. 5.71).

În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate, se observă un coeficient de aplatizare scăzut în cadrul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie și biomasă de busuioc și mentă, în timp ce în situația variantelor cu regim

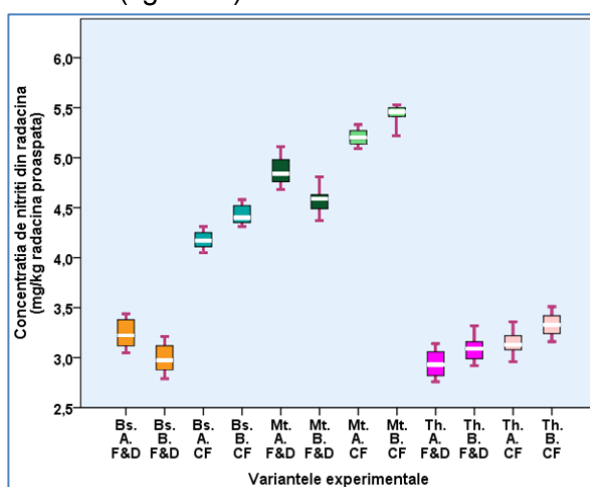


Fig. 5.71. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

intermitent, gradul de dispersie a valorilor în jurul mediei este asemănător (fig. A2. 35 – anexe, secțiunea 2). Testul post-hoc Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în trei subseturi omogene, astfel: Bs. F&D+Th. F&D+Th. CF ($p=0,13>0,05$); Bs. CF+Mt. F&D ($p=0,623>0,05$); Mt. CF ($p=0,459>0,05$).

Pentru a măsura intensitatea corelației din punct de vedere statistic, între concentrațiile de nitriți din biomasele radiculare a diverselor specii de plante testate în cadrul prezentului experiment (busuioc, mentă, tarhon), s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*. Astfel, o corelație directă, semnificativă, a fost consemnată între Bs. CF – Th. CF (0,766), în timp ce corelații indirecte semnificative sunt înregistrate între Bs. F&D – Mt. CF (-0,915) și Mt. F&D – Th. F&D (-0,905). Pe baza corelațiilor descrise, s-au obținut următoarele modele de regresii liniare simple:

■ Bs. F&D = -1,176 Mt. CF + 9,387; (r^2 liniar=0,837), (fig. 5.72).

■ Mt. F&D = -1,154 Th. F&D + 8,258; (r^2 liniar=0,818), (fig. 5.73).

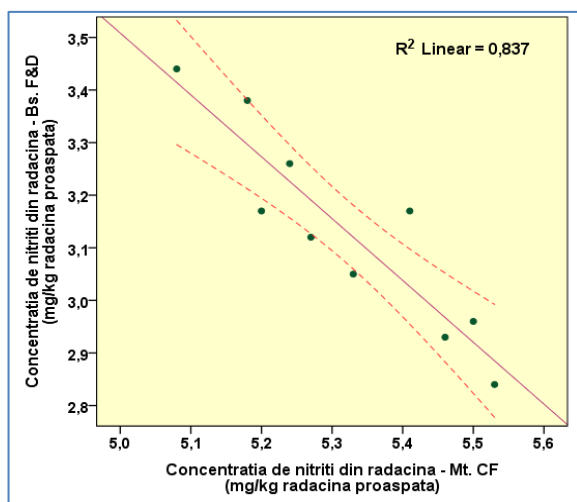


Fig. 5.72. Dependența liniară între concentrația de nitriți din biomasele radiculare ale busuiocului (F&D) și mentei (CF)

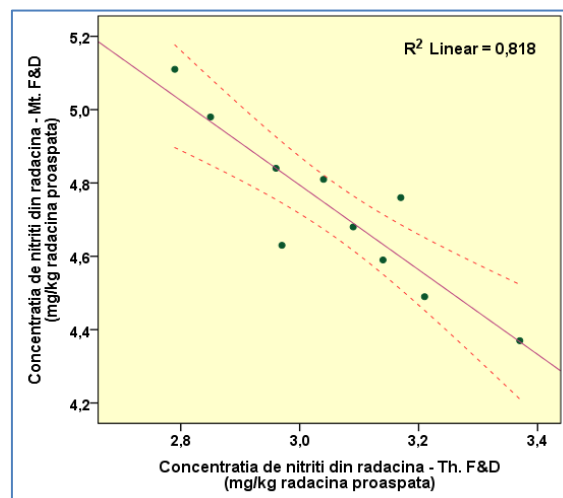


Fig. 5.73. Dependența liniară între concentrația de nitriți din biomasele radiculare ale mentei și tarhonului, obținute în condițiile aplicării unui regim intermitent de submersie

Concentrațiile de nitriți din biomasa foliară a celor trei specii de plante testate, au consemnat următoarele valori medii, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale: $1,58 \pm 0,26$ mg/kg frunze proaspate (FW) în cazul Bs. A. F&D și $1,4 \pm 0,21$ mg/kg FW în cazul Bs. B. F&D; $2,56 \pm 0,16$ mg/kg FW în cazul Bs. A. CF și $2,33 \pm 0,17$ mg/kg FW în cazul Bs. B. CF; $2,13 \pm 0,19$ mg/kg FW la Mt. A. F&D și $2,22 \pm 0,2$ mg/kg FW la Mt. B. F&D; $2,72 \pm 0,19$ mg/kg FW la Mt. A. CF și $2,66 \pm 0,18$ mg/kg FW la Mt. B. CF; $2,54 \pm 0,14$ mg/kg FW pentru Th. A. F&D și $2,57 \pm 0,21$ mg/kg FW Th. B. F&D; $1,76 \pm 0,12$ mg/kg FW pentru Th. A. CF și $1,86 \pm 0,12$ mg/kg FW pentru Th. B. CF (fig. 5.74).

Valori superioare ($p<0,05$) ale concentrațiilor de nitriți din suprafața foliară au fost consemnate în cadrul variantelor în cazul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, fapt valabil pentru biomasele de busuioc și mentă (fig. 5.74).

În cazul biomasei de tarhon, situația a fost radical schimbată față de cea menționată anterior, pentru biomasele de busuioc și mentă. Astfel, tarhonul cultivat în regim intermitent de submersie a consemnat o concentrație mai mare ($p<0,05$) de nitriți la nivelul biomasei foliare, comparativ cu cel în cazul căruia a fost aplicat un regim permanent de submersie (fig. 5.74).

Înainte de transplantarea răsadurilor în cadrul modului acvaponic, următoarele concentrații ale nitriților din biomasa foliară a acestora, au fost înregistrate: $0,74 \pm 0,13$ mg/kg frunze proaspate (FW) în cazul răsadurilor de busuioc; $0,46 \pm 0,07$ mg/kg FW în cazul răsadurilor de mentă și $0,93 \pm 0,1$ mg/kg FW în cazul răsadurilor de tarhon (fig. 5.74). Drept urmare, se pot

constata concentrații superioare ale nitriților din biomasa foliară ($p < 0,05$), consemnate la sfârșitul perioadei experimentale, comparativ cu cele înregistrate la începutul acesteia, fapt valabil în cazul tuturor variantelor testate (fig. 5.74).

Din evaluarea concentrațiilor de nitriți din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului cultivate convențional pe sol, s-au obținut următoarele rezultate: $3,07 \pm 0,29 \text{ mg/kg}$ frunze proaspete (FW) în cazul busuiocului; $3,27 \pm 0,15 \text{ mg/kg}$ FW în cazul mentei și $3,01 \pm 0,2 \text{ mg/kg}$ FW în cazul tarhonului (fig. 5.74).

Astfel, se constată valori superioare ($p < 0,05$) ale nitriților din biomasa foliară a speciilor de plante testate, în cazul cultivării acestora utilizând metoda convențională pe sol, comparativ cu utilizarea metodelor acvaponice descrise în cadrul prezentului capitol.

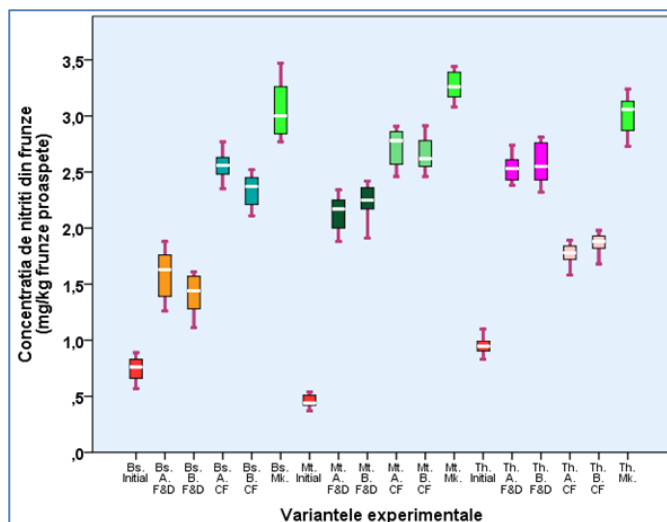


Fig. 5.74. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate, se observă un coeficient de aplatizare ridicat în cadrul variantelor experimentale cu regim intermitent de submersie și biomasă de busuioc, în timp ce variantele cu regim permanent de submersie și biomasă de tarhon consemnează cea mai scăzută valoare a coeficientului de aplatizare (fig. A2. 33 – anexe, secțiunea 2).

Un grad scăzut de dispersie a valorilor în jurul mediei este înregistrat în dreptul răsadurilor celor trei specii testate și de asemenea, pentru biomasa foliară a tarhonului crescut în regim permanent de submersie (fig. A2. 33 – anexe, secțiunea 2).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în cinci subseturi omogene, astfel: Bs. F&D+Th. CF ($p = 0,551 > 0,05$); Mt. F&D+Th. CF ($p = 0,096 > 0,05$); Mt. CF ($p = 1 > 0,05$); Bs. CF+Th.F&D ($p = 0,126 > 0,05$); Mt. F&D+Bs.CF ($p = 0,066 > 0,05$).

Pentru a măsura intensitatea corelației din punct de vedere statistic, între concentrațiile de nitriți din biomasele foliare ale diverselor specii de plante testate în cadrul prezentului experiment (busuioc, menta, tarhon), s-a folosit coeficientul de corelație Pearson.

Astfel, o corelație indirectă, semnificativă, a fost consemnată între Mt. F&D și Mt. CF (-0,95). Pe baza corelației descrise, s-a obținut următorul model de regresie liniară simplă:

$$\blacksquare \text{ Mt. F\&D} = -1,005 \text{ Mt. CF} + 4,878; (r^2 \text{ liniar} = 0,905), (\text{fig. 5.75}).$$

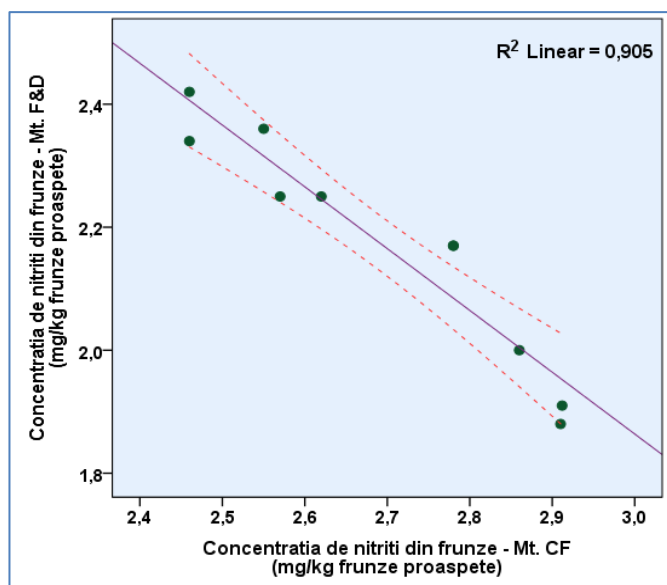


Fig. 5.75. Dependența liniară între concentrația de nitriți din biomasele foliare ale mentei cultivate aplicând regimuri permanente (CF) și intermitente (F&D) de submersie

Shahlaei și colab. (2007) raportează un ecart de variație a concentrației de nitriți din biomasa foliară a busuiocului cultivat convențional pe sol, de 1,1 – 4mg/kg FW în timpul sezonului de primăvară și 2,3 – 5,2mg/kg FW în cadrul sezonului de iarnă [328]. În cadrul aceluiași studiu [328], au fost înregistrate ecarturi de variație ale concentrației de nitriți din biomasa foliară a mentei cultivate în condiții convenționale pe sol, de 1,2 – 4mg/kg FW pe timpul sezonului de iarnă și 0,71 – 2,1mg/kg FW în cadrul sezonului de primăvară.

Oșvat (2011) raportează o concentrație medie de nitriți din biomasa foliară a tarhonului cultivat convențional pe sol, de 7,14mg/kg FW. Astfel, se poate constata relativa similaritate între concentrațiile de nitriți din biomasa foliară a busuiocului și mentei obținute în condiții acvaponice în cadrul prezentului experiment și cele raportate în cadrul literaturii de specialitate, pentru aceleași specii de plante, cultivate în mod convențional, pe sol.

În ceea ce privește valorile concentrației de nitriți consemnate în dreptul biomasei foliare a tarhonului obținut prin aplicarea tehnicilor acvaponice descrise în cadrul prezentului capitol, acestea au fost considerabil mai mici comparativ cu cele raportate în cadrul literaturii de specialitate, pentru tarhonul cultivat în mod convențional, pe sol.

Concentrațiile de nitrați din biomasa radiculară a celor trei specii de plante testate, au consemnat următoarele valori medii, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale: 1788,74±229,2mg/kg rădăcină proaspătă (FW) în cazul Bs. A. F&D și 1897,22±237,11mg/kg FW în cazul Bs. B. F&D; 2601,13±232,71mg/kg FW în cazul Bs. A. CF și 2464,37±242,72mg/kg FW în cazul Bs. B. CF; 2778,68±169,77mg/kg FW la Mt. A. F&D și 2867,21±157,85mg/kg FW la Mt. B. F&D; 3660,38±234,38mg/kg FW la Mt. A. CF și 3565,74±238,07mg/kg FW la Mt. B. CF; 1537,14±207,2mg/kg FW pentru Th. A. F&D și 1434,63±208,14mg/kg FW Th. B. F&D; 1693,98±151,03mg/kg FW pentru Th. A. CF și 1726,26±162,3mg/kg FW pentru Th. B. CF (fig. 5.76).

Valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrațiilor de nitrați din suprafața radiculară au fost consemnate în cadrul variantelor în cazul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, fapt valabil pentru toate cele trei specii de plante testate (fig. 5.76).

În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate, se observă un coeficient de applatizare ridicat în cadrul biomasei de busuioc cultivată în regim permanent de submersie, în timp ce tarhonul cultivat în aceleași condiții consemnează coeficientul de applatizare cel mai scăzut (fig. A2. 34 – anexe, secțiunea 2). Gradul de dispersie a valorilor în jurul mediei este asemănător în restul variantelor experimentale (fig. A2. 34 – anexe, secțiunea 2).

Testul *post-hoc* Duncan și Tukey's-B împarte valorile obținute în patru subseturi omogene, astfel: Bs. F&D+Th. CF ($p = 0,25 > 0,05$); Bs. CF+Mt. F&D ($p = 0,125 > 0,05$); Mt. CF ($p = 1 > 0,05$); Th. F&D ($p = 0,087 > 0,05$).

Nu au fost consemnate valori semnificative ale coeficientului de corelație Pearson între variantele experimentale testate.

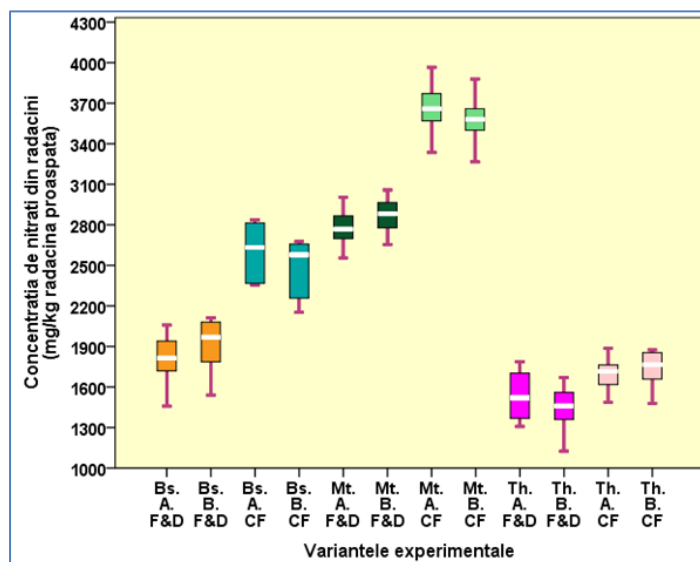


Fig. 5.76. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

Concentrațiile mai ridicate de nitrați, consemnate la nivelul biomasei radiculare a plantelor din cadrul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie, pot fi justificate prin perioada mai lungă de contact direct dintre masa apei și rădăcinile plantelor. Este necesar a fi menționat faptul că rezultatele obținute sunt în directă corelație cu valorile ratei de îndepărtare a nitraților, consemnate la nivelul fiecărei unități acvaponice și expuse în cadrul secțiunii 5.3.3 a prezentului capitol.

Concentrațiile de nitrați din biomasa foliară a celor trei specii de plante testate, au consemnat următoarele valori medii, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale: 1302,34±175,2mg/kg frunze proaspete (FW) în cazul Bs. A. F&D și 1121,85±174,93mg/kg FW în cazul Bs. B. F&D; 1743,54±108,62mg/kg FW în cazul Bs. A. CF și 1649,08±124,1mg/kg FW în cazul Bs. B. CF; 1398,14±156,34mg/kg FW la Mt. A. F&D și 1553,26±165,99mg/kg FW la Mt. B. F&D; 2367±135,03mg/kg FW la Mt. A. CF și 2193,71±134,41mg/kg FW la Mt. B. CF; 569,33±77,23mg/kg FW pentru Th. A. F&D și 563,9±95,1mg/kg FW Th. B. F&D; 709,62±67,31mg/kg FW pentru Th. A. CF și 768,73±59,33mg/kg FW pentru Th. B. CF (fig. 5.77).

Valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrațiilor de nitrați din suprafața foliară au fost consemnate în cadrul variantelor în cazul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, fapt valabil pentru toate cele trei specii de plante testate (fig. 5.77).

Înainte de transplantarea răsadurilor în cadrul modulului acvaponic, următoarele concentrații ale nitraților din biomasa foliară a acestora, au fost înregistrate: 133,92±25,85mg/kg frunze proaspete (FW) în cazul răsadurilor de busuioc; 155,67±33,05mg/kg FW în cazul răsadurilor de mentă și 90,44±17,64mg/kg FW în situația răsadurilor de tarhon (fig. 5.77).

Drept urmare, se pot constata concentrații mult superioare ale nitraților din biomasa foliară ($p < 0,05$), consemnate la sfârșitul perioadei experimentale, comparativ cu cele înregistrate la începutul acesteia, fapt valabil în cazul tuturor variantelor testate (fig. 5.77).

Din evaluarea concentrațiilor de nitrați din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului cultivate convențional pe sol, s-au obținut următoarele rezultate: 454,48±49,92mg/kg frunze proaspete (FW) în cazul busuiocului; 683,84±28,53mg/kg FW în cazul mentei și 142,64±27,14mg/kg FW în situația tarhonului (fig. 5.77).

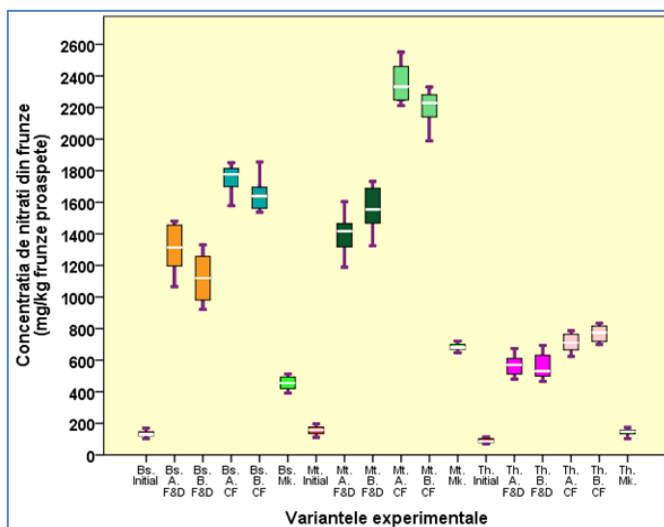


Fig. 5.77. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

Astfel, se constată valori cu mult superioare ($p < 0,05$) ale nitraților din biomasa foliară a speciilor de plante testate, în cazul cultivării acestora utilizând metodele acvaponice descrise în cadrul prezentului experiment, comparativ cu utilizarea metodelor de cultivare convenționale, pe sol.

În ceea ce privește distribuția valorilor consemnate, se observă un coeficient de aplatizare ridicat în cadrul variantelor experimentale cu regim intermitent de submersie și biomasă de busuioc, precum și în cazul tuturor variantelor experimentale cu biomasă de mentă (fig. A2. 30, fig. 2. 31 – anexe, secțiunea 2).

În cazul tarhonului, nu au fost consemnate diferențe semnificative între cele două variante experimentale în ceea ce privește distribuția valorilor concentrațiilor de nitrați din biomasa foliară (fig. A2. 32 – anexe, secțiunea 2).

Testul *post-hoc Duncan* și *Tukey's-B* împarte valorile obținute în șapte subseturi omogene, astfel: Bs. Inițial+Mt. Inițial+Th. Inițial ($p=1>0,05$); Bs. Mk.+Mt. Mk.+Th. F&D ($p=0,092>0,05$); Th. CF ($p=0,215>0,05$); Bs. F&D ($p=0,421>0,05$); Mt. F&D ($p=0,685>0,05$); Bs. CF ($p=0,328>0,05$); Mt. CF ($p=0,493>0,05$).

Pentru a măsura intensitatea corelației din punct de vedere statistic, între concentrațiile de nitrați din biomasele foliare ale diverselor specii de plante testate în cadrul prezentului experiment (busuioc, mentă, tarhon), s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*.

Astfel, o corelație directă, semnificativă, a fost consemnată între Bs. F&D și Bs. CF (0,708).

Pe baza corelației descrise, s-a obținut următorul model de regresie liniară simplă:

$$\text{Bs. F\&D} = 1,117\text{Bs. CF} - 682,776; (r^2 \text{ liniar}=0,501), (\text{fig. 5.78}).$$

Shahlaei și colab. (2007) raportează un ecart de variație a concentrației de nitrați din biomasa foliară a busuiocului cultivat convențional pe sol, de 438 – 1889mg/kg FW în timpul sezonului de primăvară și 544 – 1460mg/kg FW în cadrul sezonului de iarnă [328].

În cadrul aceluiași studiu [328], au fost înregistrate ecarturi de variație ale concentrației de nitrați din biomasa foliară a mentei cultivate în condiții convenționale pe sol, de 55 – 361mg/kg FW pe timpul sezonului de iarnă și 422 – 972mg/kg FW în cadrul sezonului de primăvară. Nowrouz și colab. (2012) raportează o valoare medie a nitraților din biomasa foliară a mentei cultivată pe sol de 191mg/kg FW [330], în timp ce Andac și colab. (2011) raportează un ecart de variație de 1861,47 – 1891,53mg/kg FW.

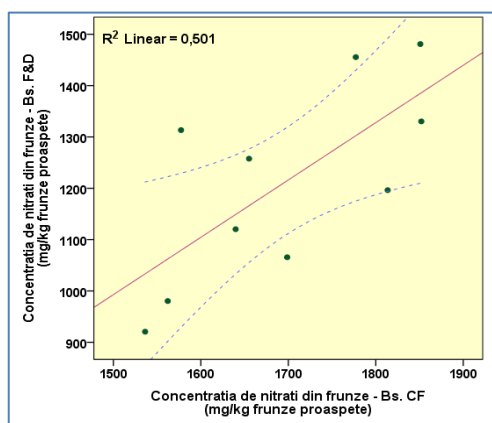


Fig. 5.78: Dependența liniară între concentrația de nitrați din biomasele foliare ale busuiocului crescut în regim acvaponic, în condițiile aplicării ambelor tehnicilor de submersie (CF și F&D)

Grzeszczuk și Jadczak (2009) raportează o concentrație medie de nitrați din biomasa foliară a tarhonului cultivat convențional pe sol de 779,30mg/kg FW [332], în timp ce o valoare medie asemănătoare este înregistrată și de către Nowrouz și colab. (2012) și anume 805mg/kg FW [330].

Ca atare, este necesar a fi punctată relativa similaritate între concentrațiile de nitrați din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului obținute în condiții acvaponice în cadrul prezentului experiment și cele raportate în cadrul literaturii de specialitate, pentru aceleași specii de plante, cultivate în mod convențional, pe sol.

Pentru a măsura intensitatea corelației din punct de vedere statistic, între concentrațiile de nitrați și cele de nitriți ale biomaselor foliare corespunzătoare diverselor specii de plante testate în cadrul prezentului experiment (busuioc, mentă, tarhon), s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*.

Astfel, o corelație directă, semnificativă, a fost consemnată între Th. CF. NO₃ frunze - Th. CF. NO₂ frunze (0,885), în timp ce corelații indirecte semnificative au fost înregistrate între Mt. CF NO₃ rădăcină – Mt. CF NO₂ rădăcină (-0,698), precum și între Th. CF. NO₃ rădăcină - Th. CF. NO₃ frunze (-0,68).

Pe baza corelațiilor descrise, s-au obținut următoarele modele de regresie liniară simplă:

- Mt. CF NO_3 rădăcină = $-1056,31 \text{ Mt. CF NO}_2 \text{ rădăcină} + 9232,6$; (r^2 liniar=0,487), (fig. 5.79).
- Th. CF. NO_3 frunze = $488,38 \text{ Th. CF. NO}_2 \text{ frunze} - 144,7$; (r^2 liniar=0,783), (fig. 5.80).
- Th. CF. NO_3 rădăcină = $0,31 \text{ Th. CF. NO}_3 \text{ frunze} + 212,69$; (r^2 liniar=0,462), (fig. 5.81).

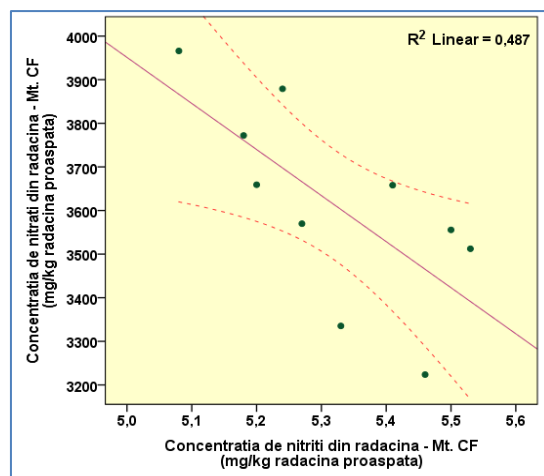


Fig. 5.79. Dependența liniară între Mt. CF NO_3 rădăcină și Mt. CF NO_2 rădăcină

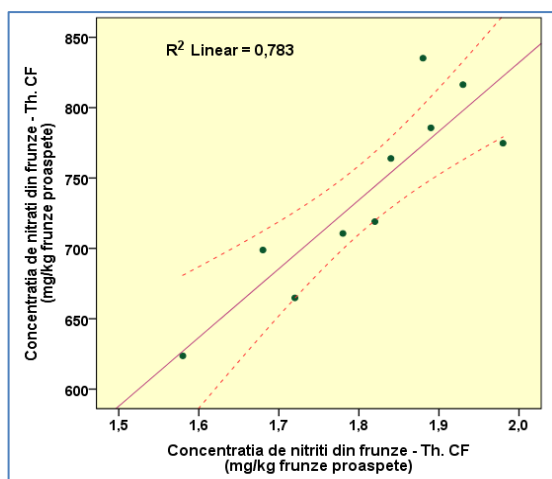


Fig. 5.80. Dependența liniară între Th. CF. NO_3 frunze - Th. CF. NO_2 frunze

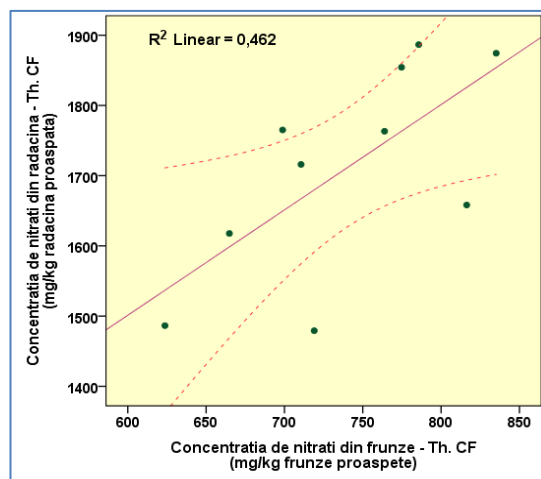


Fig. 5.81. Dependența liniară între Th. CF. NO_3 rădăcină - Th. CF. NO_3 frunze

Pentru a măsura intensitatea corelației din punct de vedere statistic între concentrațiile de azot (TKN), fosfor (P_2O_5), calciu, nitriți și nitrați determinate la nivelul biomasei vegetale de busuioc, mentă și tarhon, în cadrul prezentului experiment (secțiunea 5.3.3 și secțiunea 5.3.5), s-a folosit coeficientul de corelație *Pearson*.

Astfel, în cazul biomasei de busuioc a fost consemnată o corelație directă, semnificativă, între Bs. CF NO_2 rădăcină – Bs. CF TKN rădăcină (0,646); Bs. F&D NO_2 rădăcină – Bs. F&D Calciu (0,806); Bs. F&D NO_2 rădăcină – Bs. F&D TKN rădăcină (0,792); Bs. F&D TKN rădăcină – Bs. F&D Calciu (0,635) și Bs. CF TKN rădăcină – Bs. CF Calciu (0,646). Corelații indirecte semnificative sunt înregistrate între Bs. F&D NO_3 frunze – Bs. F&D Calciu (-0,736) și Bs. F&D NO_3 rădăcină – Bs. F&D TKN rădăcină (-0,658). În cazul biomasei de mentă a fost consemnată o corelație directă, semnificativă, între Mt. CF Calciu – Mt. CF TKN rădăcină (0,651), în timp ce corelații indirecte au fost înregistrate între Mt. CF NO_3 frunze – Mt. CF TKN rădăcină (-0,659); Mt. CF NO_2 frunze – Mt. CF Calciu (-0,964); Mt. F&D Calciu – Mt. F&D P_2O_5 (-0,774) și Mt. CF Calciu – Mt. CF NO_2 frunze (-0,964).

La nivelul biomasei de tarhon s-a constatat o corelație directă între Th. CF P_2O_5 – Th. CF NO_2 rădăcină (0,668) și indirectă între Th. F&D NO_2 frunze – Th. F&D P_2O_5 (-0,651). Astfel, pe baza corelațiilor descrise mai sus, s-au obținut o serie de modele de regresie liniară simplă, prezentate în tabelul 5. 5.

Tabel 5.5: Modelele și coeficienții de regresie aferenți celor trei biomase vegetale testate

Specia de plantă	Model de regresie liniară	r^2
Busuioc	Bs. CF NO_2 rădăcină = 0,152 Bs. CF TKN rădăcină + 3,533	$r^2=0,417$
	Bs. F&D Calciu = -0,09 Bs. F&D NO_3 frunze + 251,22	$r^2=0,542$
	Bs. F&D NO_3 rădăcină = -258,459 Bs. F&D TKN rădăcină + 2788,432	$r^2=0,433$
	Bs. F&D Calciu = 96,627 Bs. F&D NO_2 rădăcină – 160,23	$r^2=0,650$
	Bs. F&D NO_2 rădăcină = 0,266 Bs. F&D TKN rădăcină + 2,161	$r^2=0,627$
	Bs F&D Calciu = 25,541 Bs. F&D TKN rădăcină + 48,976	$r^2=0,404$
	Bs. CF Calciu = 14,682 Bs. CF TKN rădăcină + 118,507	$r^2=0,347$
Mentă	Mt. CF NO_3 frunze = -177,066 Mt. CF TKN rădăcină + 3644,789	$r^2=0,434$
	Mt. CF Calciu = -92,202 Mt. CF NO_2 frunze + 467,341	$r^2=0,930$
	Mt. F&D Calciu = -0,544 Mt. F&D P_2O_5 +181,726	$r^2=0,598$
	Mt. CF Calciu = 19,09 Mt. CF TKN rădăcină+72,207	$r^2=0,424$
Tarhon	Th. F&D P_2O_5 = -9,144 Th. F&D NO_2 frunze + 53,745	$r^2=0,423$
	Th. CF P_2O_5 = 15,45 Th. CF NO_2 rădăcină + 5,226	$r^2=0,446$

Conținutul de cenușă și substanță uscată a biomasei vegetale, obținută în condiții acvaponice, în cadrul celor două variante testate, a fost evaluat la sfârșitul perioadei experimentale, fiind raportat la cel obținut în cazul acelorași specii de plante, cultivate convențional, pe sol. Substanța uscată a busuiocului, mentei și tarhonului, a fost determinată atât din biomasa foliară, cât și din cea radiculară. Ca atare, **valorile medii a substanței uscate a biomasei foliare** corespunzătoare celor trei specii de plante testate sunt următoarele: $7,21 \pm 0,12\%$ - Bs. F&D și $8,02 \pm 0,27$ – Bs. CF; $10,82 \pm 0,44\%$ Mt. F&D și $12,6 \pm 0,38\%$ Mt. CF; $9,37 \pm 0,22$ Th. F&D și $9,78 \pm 0,13\%$ Th. CF (fig. 5.82)

Valorile procentuale a substanței uscate a biomasei foliare sunt superioare ($p < 0,05$) în cazul aplicării unui regim permanent de submersie, comparativ cu regimul intermitent, fapt valabil în cazul tuturor celor trei specii de plante testate (busuioc, mentă și tarhon).

Grzeszczuk și Jadczak (2009) raportează un procent de substanță uscată de 21,12% pentru menta cultivată în regim convențional pe sol, în timp ce în dreptul tarhonului cultivat în aceleași condiții, acesta indică un ecart de variație a substanței uscate de 13,07 – 13,4% [332].

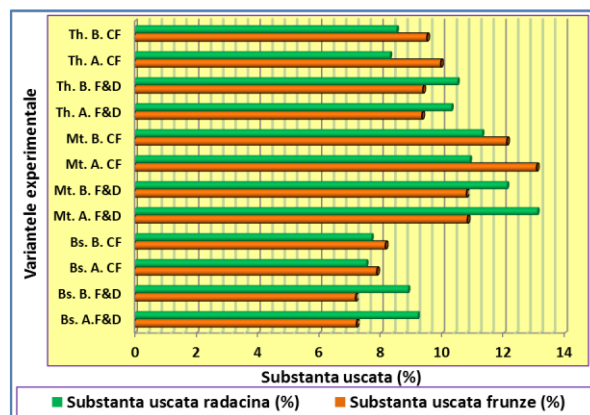


Fig. 5.82. Procentul de substanță uscată din biomasa foliară și cea radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului

Valorile procentuale de substanță uscată din biomasa radiculară corespunzătoare celor trei specii de plante testate sunt următoarele: $9,05 \pm 0,33\%$ - Bs. F&D și $7,62 \pm 0,17$ – Bs. CF; $12,61 \pm 0,51\%$ Mt. F&D și $11,1 \pm 0,36\%$ Mt. CF; $10,4 \pm 0,31$ Th. F&D și $8,41 \pm 0,26\%$ Th. CF (fig. 5.82).

Valorile procentuale ale substanței uscate aferente biomasei radiculare sunt superioare ($p < 0,05$) în cazul aplicării unui regim intermitent de submersie, comparativ cu regimul permanent, fapt valabil în cazul tuturor celor trei specii de plante testate (busuioc, mentă și tarhon).

Astfel, se constată faptul că biomasa vegetală crescută în condiții acvaponice, aplicând tehnica de cultură în substrat LECA și regim permanent de submersie, consemnează valori procentuale superioare ale substanței uscate a biomasei foliare, comparativ cu biomasa radiculară. În cazul biomaselor de busuioc, mentă și tarhon în cazul cărora a fost aplicat un regim intermitent de submersie, situația se prezintă radical opus

Conținutul de cenușă din biomasa foliară

corespunzătoare celor trei specii de plante testate, înregistrează următoarele valori medii: $1,54 \pm 0,07\%$ - Bs. F&D și $1,67 \pm 0,05$ - Bs. CF; $1,82 \pm 0,11\%$ Mt. F&D și $2,06 \pm 0,08\%$ Mt. CF; $3,93 \pm 0,32$ Th. F&D și $3,13 \pm 0,27\%$ Th. CF (fig. 5.83).

O valoare procentuală superioară ($p < 0,05$) a substanțelor minerale totale se consemnează în cazul tarhonului crescut prin aplicarea unui regim intermitent de submersie, comparativ cu cel obținut în cadrul variantelor cu regim permanent.

Referitor la biomasa de mentă situația se prezintă radical opus. Diferențe nesemnificative statistic ($p > 0,05$), în ceea ce privește conținutul de cenușă a busuiocului, se înregistrează între cele două variante testate (CF și F&D). Grzeszczuk și Jadczak (2009) raportează un procent de substanțelor minerale totale cuprins între 1,34 – 1,41% pentru tarhonul cultivat în regim convențional pe sol [332].

Astfel, putem conchide faptul că tarhonul cultivat în condiții acvaponice prezintă un procent superior de cenușă, comparativ cu cel cultivat convențional pe sol, în circumstanțele tehnologice expuse în cadrul prezentului experiment.

Conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii) a fost determinat atât raportat la suprafața, cât și la masa foliară, la începutul și finalul perioadei experimentale (fig. 5.84).

Valori superioare ($p < 0,05$) ale clorofilei a, b și carotenoizilor au fost consemnate la nivelul răsadurilor celor trei specii de plante, înainte de transplantarea acestora în regim acvaponic (fig. 5.85).

De asemenea, biomaselor de busuioc și mentă, cultivate în condițiile aplicării unui regim permanent de submersie au consemnat valori superioare ($p < 0,05$) celor cultivate în regim intermitent (fig. 5.85 și fig. 5.86).

În cazul tarhonului, situația a fost radical opusă, acesta înregistrând valori mai mari, dar nesemnificative statistic ($p > 0,05$), ale pigmentilor clorofilieni și a celor carotenoizi, în cazul aplicării unui regim intermitent de submersie (fig. 5.85 și fig. 5.86)

Comparând rezultatele obținute în cazul plantelor cultivate utilizând tehnica acvaponică pe substrat LECA, cu cele înregistrate la biomasa vegetală cultivată convențional pe sol, se pot observa valori superioare ale acestora din urmă în cazul tarhonului ($p < 0,05$), în timp ce pentru busuioc și mentă situația se prezintă radical opus ($p < 0,05$) (fig. 5.86).

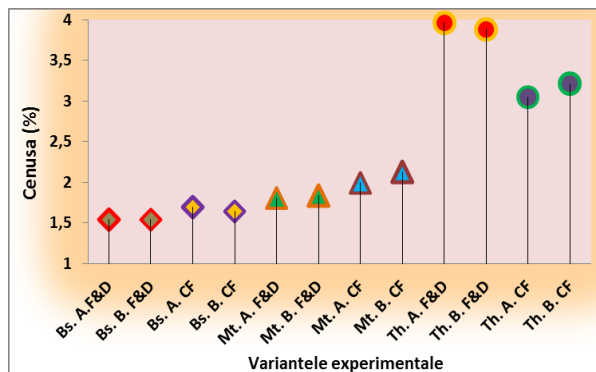


Fig. 5.83. Procentul de cenușă din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului



Fig. 5.84. Determinarea pigmentilor verzi clorofilieni și galbeni carotenoizi (foto original)

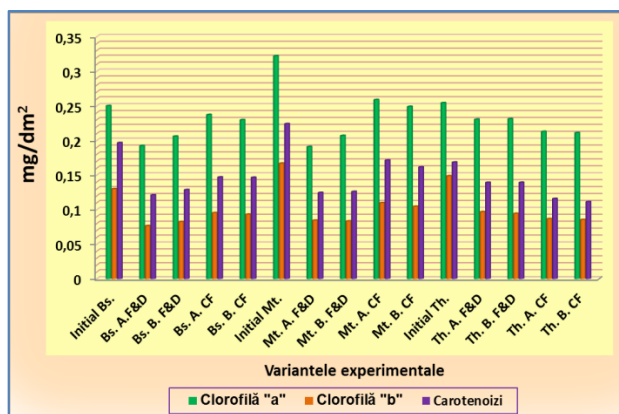


Fig. 5.85. Evoluția pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii), raportați la suprafața foliară

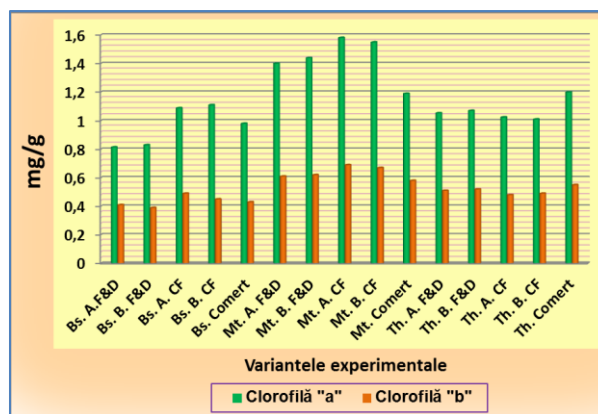


Fig. 5.86. Conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b), raportați la masa foliară

Valorile pigmentilor clorofilieni ai biomasei de mentă cultivată utilizând tehnicile acvaponice în substrat LECA, descrise în prezentul studiu, sunt superioare celor raportate de Grzeszczuk și Jadczak (2009) pentru biomasa de mentă cultivată convențional pe sol și anume, 1435,86mg/kg FW pentru clorofila a și 421,29mg/kg FW corespunzător clorofilei b [332].

● Biomasa piscicolă

Compoziția biochimică a țesutului muscular al păstrugii din cadrul celor două variante experimentale (F1 - 1%BW și F2 - 2%BW) a fost evidențiată în cadrul tabelului 5.6.

Tabel 5.6: Compoziția biochimică a cărnii de păstrugă la finalul perioadei experimentale

Elementul compozit	Etapă experimentală	VARIANTELE EXPERIMENTALE			
		F1 (1%)		F2 (2%)	
		B1	B2	B3	B4
Apa (%)	Initial (±St.Dev.)	79,02±0,45			
	Final(±St.Dev.)	78,72±0,33	78,38±0,27	76,99±0,17	77,05±0,21
Proteine (%)	Initial(±St.Dev.)	16,10±0,12			
	Final(±St.Dev.)	16,71±0,2	16,78±0,18	17,86±0,14	17,70±0,17
Lipide (%)	Initial(±St.Dev.)	1,09±0,02			
	Final(±St.Dev.)	1,21±0,04	1,27±0,05	1,32±0,04	1,36±0,03
Cenusa (%)	Initial(±St.Dev.)	1,22±0,03			
	Final(±St.Dev.)	1,33±0,1	1,39±0,11	1,69±0,06	1,77±0,09
Substanță uscată (%)	Initial(±St.Dev.)	20,98±0,13			
	Final(±St.Dev.)	21,28±0,28	21,62±0,28	23,01±0,21	22,95±0,18
Apă/Proteine (A/P)	Initial(±St.Dev.)	4,91±0,03			
	Final(±St.Dev.)	4,71±0,11	4,67±0,1	4,31±0,15	4,35±0,17
Substanțe extractive fara azot SEN (%)	Initial(±St.Dev.)	2,57±0,08			
	Final(±St.Dev.)	2,03±0,04	2,08±0,02	2,14±0,04	2,12±0,03

Sunt consemnate valori superioare în cazul F2 (2%BW) în ceea ce privește conținutul de proteine și lipide a cărnii de pește (table. 5.6), comparativ cu F1 (1%BW), diferențele însă fiind nesemnificative statistic ($p>0,05$). Valorile inferioare ale raportului A/P înregistrate pentru varianta F2 (2%BW) (tabel 5.6) denotă o calitate nutrițională și o stare de întreținere mai bună a biomasei piscicole din cadrul acestei variante, comparativ cu cea din cadrul F1 (1%BW).

De asemenea, trebuie punctate diferențele semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (F1 și F2), în ceea ce privește conținutul de cenușă al cărnii de păstrugă (tabel 5.6), varianta F2 (2%BW) înregistrând o valoare superioară în acest sens.

Ca atare, în ceea ce privește conținutul de proteine și procentul de cenușă din carnea de păstrugă, valorile consemnate în cadrul prezentului experiment sunt asemănătoare celor raportate de Paltenea (2007) pentru carnea de păstrugă provenită din acvacultură. De asemenea, în scopul unei evaluări cât mai obiective a calității cărnii de păstrugă, s-a calculat cantitatea de proteine (PR) și cea de lipide reținute (LR), raportată de numărul de exemplare de păstrugă din cadrul fiecărei variante experimentale.

Astfel, se pot constata cantități de PR și LR superioare în cazul variantei F2 (2%BW), în mare parte justificabile datorită sporului de biomasă superior al variantei în cauză, comparativ cu F1 (1%BW) (fig. 5.87). Valorile superioare, dar nesemnificative ($p > 0,05$) a PUE în cadrul F2 denotă o valorificare mai eficientă a proteinei în cadrul variantei experimentale în cauză, comparativ cu F1 (1%BW) (fig. 5.87).

Concentrațiile de nitriți și nitrați din carnea de păstrugă, în condițiile aplicării a două rații zilnice de furajare, pe duplicat (F1: B1 și B2 – 1% BW și F2: B3 și B4 – 2%BW) a fost evaluată atât în perioada inițială, la începutul perioadei experimentale, cât și la sfârșitul acesteia. Analizele au fost realizate pe un grup de cinci exemplare din cadrul fiecărei variante experimentale.

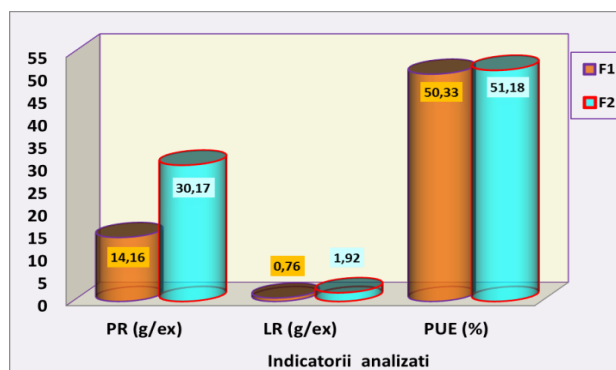


Fig. 5.87. Reprezentarea grafică a eficienței utilizării proteinei (PUE) a proteinelor și lipidelor reținute (PR, LR) în cele două variante experimentale (F1, F2)

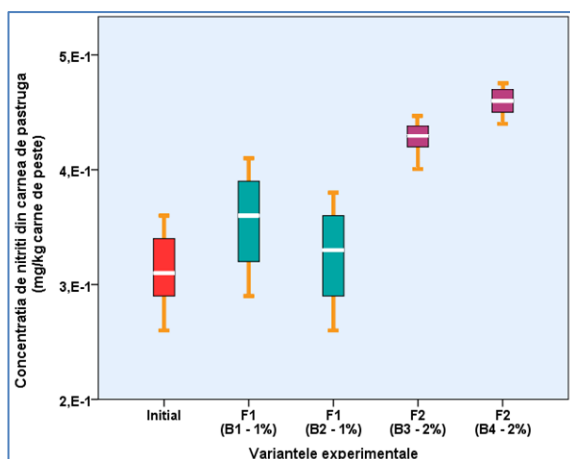


Fig. 5.88. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă

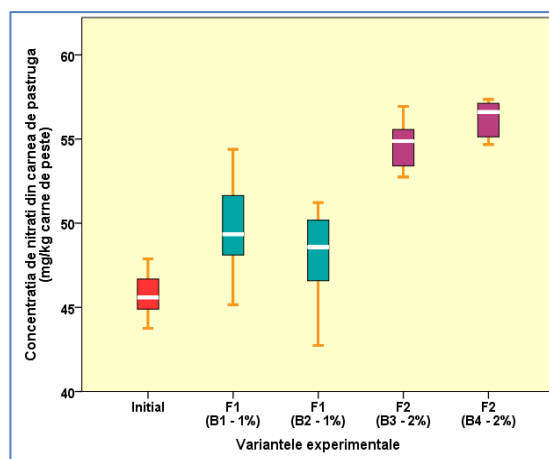


Fig. 5.89. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă

Astfel, au fost consemnate următoarele valori medii ale concentrației de nitriți din carnea de păstrugă: $0,32 \pm 0,05$ mg/kg carne de pește în momentul inițial (înainte de începerea perioadei experimentale); $0,35 \pm 0,06$ mg/kg carne de pește în cazul F1 (B1); $0,32 \pm 0,05$ mg/kg carne de pește în cazul F1 (B2); $0,42 \pm 0,03$ mg/kg carne de pește în cazul F2 (B3) și $0,46 \pm 0,01$ mg/kg carne de pește în cazul F2 (B4) (fig. 5.88). Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) sunt consemnate între cele două variante experimentale (F1 și F2). De asemenea, sunt consemnate diferențe semnificative ($p < 0,05$) între concentrațiile de nitriți din carnea de pește, consemnate la

momentul începerii perioadei experimentale și cele înregistrate la finalul acesteia, fapt valabil pentru ambele variante testate.

Duplicatele variantei experimentale F1 prezintă un grad mai mare de disipare a valorilor în jurul mediei și de asemenea, un ecart mai mare de variație între valorile extreme, comparativ cu F2 (fig. A2. 37 – anexe, secțiunea 2).

În ceea ce privește concentrația de nitrați din carnea de păstrugă, au fost consemnate următoarele valori medii: $45,76 \pm 1,59 \text{ mg/kg}$ carne de pește în momentul inițial (înainte de începerea perioadei experimentale); $49,73 \pm 3,5 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F1 (B1); $47,86 \pm 3,36 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F1 (B2); $54,71 \pm 1,38 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F2 (B3) și $56,16 \pm 1,2 \text{ mg/kg}$ carne de pește în cazul F2 (B4) (fig. 5.89). Diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) sunt consemnate între cele două variante experimentale (F1 și F2). De asemenea, sunt obținute diferențe semnificative ($p < 0,05$) între concentrațiile de nitrați din carnea de pește, consemnate la momentul începerii perioadei experimentale și cele înregistrate la finalul acesteia, fapt valabil numai în cazul variantei F2. Duplicatele variantei experimentale F1 prezintă o valoare mai mare a coeficientului de aplatizare și un ecart mai mare de variație între valorile extreme, comparativ cu cele din cadrul F2 (fig. A2. 36 – anexe, secțiunea 2).

Drept concluzie a informațiilor prezentate anterior, se poate remarca o influență semnificativă a rației zilnice administrate a hranei asupra concentrațiilor de nitriți și nitrați din carnea de păstrugă, crescută în cadrul unui sistem recirculant integrat, în condițiile tehnologice prezentate în cadrul prezentului experiment.

5.4. CONCLUZII

Dezvoltarea sistemelor recirculante integrate implică atât progresul tehnic, cât și cel tehnologic al acestora. Astfel, din punct de vedere tehnologic, trebuie identificate combinații noi de specii de pești – plante, pretabile a fi crescute în condiții acvaponice, în timp ce din punct de vedere tehnic se recomandă, pe cât posibil, integrarea unității de filtrare biologică la nivelul modulului acvaponic, folosind tehnica acvaponică de cultură pe substrat. Pentru a înregistra o performanță de biofiltrare optimă la nivelul substratului de cultură fără a genera o creștere a costurilor operaționale, se impune o aerare corespunzătoare a acestuia, fapt realizabil prin asigurarea unui regim intermitent de submersie cu ajutorul unei instalații tip sifon clopot „siphon bell”.

Rezultatele prezentului experiment sunt edificatoare în ceea ce privește influența regimului de submersie folosit asupra dinamicii nutrienților și a randamentului creșterii biomaselor de busuioc, mentă și tarhon, în cadrul unui sistem recirculant integrat unde a fost folosită tehnica acvaponică de cultură în substrat LECA.

De asemenea, capacitatea de bioremediere a modulului acvaponic, în condițiile cultivării speciilor de plante anterior menționate, aplicând cele două regimuri de submersie (permanent și intermitent), a fost evaluată.

Caracterizarea chimică și calitativă a biomaselor de busuioc, mentă și tarhon obținute în condiții acvaponice, precum și a celor obținute în condiții convenționale de cultură pe sol, generează apariția unui studiu comparativ menit să stabilească potențialul de comercializare a biomaselor vegetale menționate, în vederea consumului uman.

Rezultatele obținute în cadrul prezentului experiment au un grad semnificativ de încredere, dat fiind configurația designului experimental ce a permis duplicatul variantelor experimentale.

Astfel, drept concluzii finale ale studiului realizat, se pot enunța următoarele aspecte:

- ❖ În condițiile culturilor acvaponice de busuioc și mentă, au fost consemnate diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) ale valorilor pH-ului apei tehnologice între variantele experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie (CF) și cele cu regim intermitent de submersie (F&D). Diferențe nesemnificative ($p > 0,05$) între cele două variante experimentale (CF și F&D) în ceea ce privește valorile pH-ului apei tehnologice, obținute la punctele de prelevare situate la nivelul evacuării unităților acvaponice, au fost consemnate în dreptul culturilor de tarhon. Acest fapt este influențat în mare măsură și de modul de dezvoltare al rădăcinii, pe direcție verticală în cazul tarhonului, ceea ce implică o capacitate mai scăzută de filtrare a apei și o suprafață specifică mai restrânsă pentru dezvoltarea comunităților de bacterii, prezente de regulă la nivelul suprafeței radiculare a plantelor crescute în condiții acvaponice, indiferent de tehnica acvaponică utilizată. Ca atare, regimul de submersie folosit influențează semnificativ valoarea pH-ului apei tehnologice din cadrul unui sistem recirculant integrat, în cadrul căruia a fost aplicată tehnica de cultură pe substrat LECA, doar în condițiile cultivării speciilor de plante ale căror suprafață radiculară are o tendință predominantă de dezvoltare în plan orizontal.
- ❖ Concentrația de oxigen dizolvat (DO) a apei tehnologice a prezentat o tendință descendentă de-a lungul perioadei experimentale, cu valori superioare consemnate la nivelul alimentării unităților acvaponice, comparativ cu cele înregistrate la evacuarea acestora. De asemenea, valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrației de DO au fost obținute la evacuarea unităților acvaponice în cadrul cărora a fost aplicat regimul intermitent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul permanent de submersie, fapt valabil pentru toate cele trei specii cultivate (busuioc, mentă și tarhon). Ca atare, se confirmă ipoteza menționată conform căreia aplicarea unui regim intermitent de submersie îmbunătățește gradul de aerare a apei tehnologice și de asemenea, a substratului de cultură folosit. Un grad superior de aerare a apei a fost consemnat în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost cultivat tarhonul. Acest fapt este datorat unui grad mai mic de acumulare a solidelor la nivelul substratului de cultură LECA, tarhonul având o capacitate de filtrare a solidelor redusă datorită conformației pivotante a suprafeței radiculare.
- ❖ Concentrația de azot amoniacal a apei tehnologice a înregistrat o dinamică ușor ascendentă, concentrații superioare fiind consemnate în punctele de prelevare situate la alimentarea unităților acvaponice, comparativ cu cele înregistrate la evacuarea acestora. În cazul variantelor experimentale aferente culturii de mentă s-au obținut valorile cele mai mici ale concentrației de azot amoniacal din cadrul efluentului unităților acvaponice, fapt ce indică o rată semnificativă de absorbție la nivelul acestei specii de plante, comparativ cu speciile de busuioc sau tarhon. Astfel, se poate conchide o tendință mai însemnată a mentei în vederea absorbției azotului sub formă de amoniu, comparativ cu busuiocul sau tarhonul. Valorile concentrației de azot amoniacal a apei tehnologice s-au încadrat în limite normale pentru creșterea păstrugii, de-a lungul întregii perioade experimentale.
- ❖ Concentrația de nitriți a apei tehnologice prezintă o dinamică fluctuantă de-a lungul perioadei experimentale, cu valori superioare ($p < 0,05$) consemnate la nivelul punctelor de prelevare situate la evacuarea unităților acvaponice, comparativ cu cele înregistrate la alimentarea acestora. Acest fapt confirmă existența procesului biologic de oxidare a azotului amoniacal în nitrit, manifestat la nivelul substratului de cultură LECA. Valori superioare ale concentrației de nitriți din efluentul unităților acvaponice sunt consemnate în cazul variantelor cu biomasă de mentă, fapt posibil a fi generat de gradul de ramificare

superior al suprafeței radiculare a acestei specii de cultură. Astfel, surplusul de suprafață radiculară specifică, utilizată drept suport în vederea dezvoltării comunităților de bacterii nitrificatoare, determină intensificarea procesului de oxidare a azotului amoniacal în nitriți.

- ❖ Dinamica concentrația de nitrați a apei tehnologice a avut o tendință puternic ascendentă pe durata întregii perioade experimentale, fără fluctuații semnificative. Valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrației de nitrați sunt înregistrate la nivelul punctelor de prelevare situate la alimentarea unităților acvaponice, comparativ cu cele consemnate la evacuarea acestora. Se constată o absorbție ridicată a nitraților în cazul variantelor cu regim intermitent de submersie și biomasă de busuioc și mentă, fapt confirmat prin asocierea cu valorile concentrației de azot amoniacal și nitriți din cadrul efluentului acestor variante experimentale.
- ❖ Dinamica ascendentă a concentrației de fosfor (P_2O_5) din apa tehnologică denotă faptul că acest macroelement nu a avut un caracter limitativ în cadrul prezentului experiment. Astfel, se constată valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrației de fosfor (P_2O_5) din apa tehnologică la nivelul punctelor de prelevare situate la alimentarea unităților acvaponice, comparativ cu cele poziționate la evacuarea acestora. Concentrațiile cele mai mici de fosfor (P_2O_5) din efluentul unităților acvaponice se consemnează în dreptul variantelor cu biomasă de mentă, fapt ce evidențiază capacitatea ridicată de absorbție a acestei specii de plante, în ceea ce privește macroelementul în cauză.
- ❖ Caracterul limitativ al calciului la nivelul sistemelor recirculante integrate, nu este observabil în cadrul prezentului experiment, concentrația acestui macroelement înregistrând o dinamică puternic descendentă doar în cadrul primei săptămâni a perioadei experimentale. În restul perioadei experimentale, calciul are o tendință certă de acumulare. Ca atare, se conchide faptul că, în primele stadii de dezvoltare cele trei specii de plante testate (busuioc, mentă, tarhon) manifestă un necesar nutrițional ridicat în ceea ce privește calciul, situația fiind echilibrată pe parcurs. Astfel, se recomandă practicarea unui management de producție de tip CPS „conveyor production system”, ce constă în creșterea concomitentă a biomaselor vegetale aflate în diferite stadii de dezvoltare, în vederea unei valorificări cât mai eficiente a concentrației de calciu din apa tehnologică, de-a lungul unui ciclu de producție.
- ❖ Concentrațiile de magneziu și potasiu înregistrează o evoluție descendentă de-a lungul perioadei experimentale, în deplină corelație cu rata de retenție a acestora, manifestată la nivelul unităților acvaponice. Astfel, valori superioare ($p < 0,05$) a ratelor de retenție ale magneziului și potasiului sunt consemnate în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde s-a întrebuițat regimul intermitent de submersie, fapt valabil pentru toate cele trei specii de plante testate (busuioc, mentă și tarhon). Dinamica valorilor ratelor de retenție ale magneziului și potasiului a fost ascendentă, valoarea cea mai mare fiind observată în cazul variantelor experimentale ce implică creșterea mentei în regim permanent de submersie.
- ❖ Fierul este singurul element suplimentat pe parcursul ciclului de creștere a biomasei vegetale. Întrucât concentrația acestuia din apa tehnologică nu a fost suficientă spre a satisface cerințele nutriționale ale biomaselor vegetale testate, s-a adăugat o cantitate de 100g fier chelat, de-a lungul întregii perioade experimentale, în cinci etape. Dinamica descendentă a concentrației de fier din apa tehnologică este asociată cu evoluția ascendentă a ratei de retenție, valori superioare ($p < 0,05$) ale acesteia fiind consemnate în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde s-a întrebuițat regimul intermitent de submersie, fapt valabil pentru biomaselor de mentă și busuioc. Variantele experimentale cu biomasă

de tarhon nu au înregistrat diferențe semnificative în ceea ce privește rata de retenție a fierului în condițiile aplicării celor două regimuri de submersie menționate anterior. Acest fapt poate indica existența unor probleme legate de adaptabilitatea tarhonului la regimul permanent de submersie.

- ❖ Dinamica concentrației de mangan din apa tehnologică înregistrează o tendință descendentă în prima săptămână a perioadei experimentale, dat fiind necesitățile nutriționale ale speciilor vegetale cultivate, urmată de evoluție relativ constantă până la finalul perioadei experimentale. Echilibrarea concentrației de mangan din apa tehnologică evidențiază faptul că, acesta nu reprezintă un factor limitativ în cadrul sistemului recirculant integrat în cauză. Rata de retenție a manganului este superioară ($p < 0,05$) în condițiile aplicării unui regim intermitent de submersie, fapt valabil pentru toate cele trei specii de plante testate. De asemenea, biomasa de mentă înregistrează cea mai ridicată rată de retenție a manganului, fiind urmată de tarhon și busuioc.
- ❖ Valorile concentrațiilor de TOC, COD și TSS, precum și valoarea procentuală a BOD5 înregistrează o dinamică ascendentă, fiind superioare ($p < 0,05$) în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul intermitent de submersie. Acest fapt confirmă ipoteza asumată, conform căreia prin aplicarea unui regim intermitent de submersie se asigură o mai bună curățare a stratului de cultură, materia organică prezentă la nivelul acestuia fiind eliminată datorită vitezei de evacuare a apei tehnologice mai ridicate, urmată de refacerea nivelului inițial al acesteia. Ca atare, se poate concluziona faptul că, un regim permanent de submersie asigură un procent superior de îndepărtare a solidelor din masa apei, prin acumularea acestora la nivelul substratului LECA, în timp ce aplicarea regimului intermitent de submersie contribuie la optimizarea condițiilor necesare în vederea intensificării proceselor de oxidare a azotului amoniacal în nitriți și a nitriților în nitrați, la nivelul substratului de cultură.
- ❖ Analizând comparativ dinamica COD și TOC, se observă valori superioare ale concentrațiilor acestora, înregistrate la nivelul punctelor de prelevare situate la alimentarea unităților acvaponice, comparativ cu cele poziționate la evacuarea acestora, fapt valabil în prima săptămână a perioadei experimentale. Această situație este radical opusă în cadrul ultimei săptămâni a perioadei experimentale, fapt ce relevă acumulări considerabile de materie organică la nivelul substratului de cultură LECA.
- ❖ Valorile superioare ($p < 0,05$) ale turbidității, consemnate în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul intermitent de submersie, denotă o accentuare a gradului de erodare a argilei structurate ce formează substratul de cultură LECA, în cazul folosirii primului regim menționat.
- ❖ Rata de îndepărtare a TAN prezintă o dinamică ascendentă, valori superioare ($p < 0,05$) fiind consemnate în cazul aplicării regimului intermitent de submersie, comparativ cu regimul permanent de submersie. Acest fapt confirmă cele menționate în paragraful anterior, ce expune concluziile legate de valorile consemnate ale TOC, COD, TSS și BOD5. Cea mai ridicată rată de îndepărtare a TAN este observată în dreptul variantelor experimentale cu biomasă de mentă, acestea fiind urmate de cele cu biomasă de busuioc și apoi tarhon. Gradul de ramificare a suprafeței radiculare reprezintă un fapt determinant în obținerea acestei ierarhizări.
- ❖ Valori superioare ($p < 0,05$) ale ratei de îndepărtare a nitraților sunt observate în cazul aplicării unui regim permanent de submersie, comparativ cu regimul intermitent de submersie, fapt valabil în cazul biomaselor de busuioc și mentă. În cazul tarhonului situația se prezintă radical opus, fapt ce relevă problemele de adaptabilitate ale acestuia

la un regim permanent de submersie. Valori superioare ($p < 0,05$) ale ratei de îndepărtare a nitraților sunt consemnate în cadrul variantelor experimentale cu biomasă de busuioc, urmate fiind de cele cu biomasă de mentă și apoi tarhon. Astfel, cu toate că prin aplicarea regimului intermitent de submersie se intensifică procesul de oxidare a nitriților în nitrați, acesta nu asigură și o absorbție eficientă a produșilor rezultați (nitrații) de către biomasa de cultură vegetală, fapt ce conduce la situația prezentată anterior.

- ❖ Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total la nivelul unității de filtrare biologică, a înregistrat o valoare medie optimă pe durata întregii perioade experimentale.
- ❖ Cantitatea de azot reținută la nivelul biomasei piscicole înregistrează diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între cele două variante experimentale (F1 – 1%BW și F2 – 2%BW). În mare parte, acest fapt este generat de diferențele semnificative în ceea ce privește sporul de creștere, dar și datorită concentrației de azot (TKN) din carnea de păstrugă. Astfel, se poate consemna o creștere a cantității de azot reținută de biomasa piscicolă, proporțională cu valoarea rației zilnice de furajare.
- ❖ Concentrația de azot (TKN) din carnea de păstrugă, consemnată la finalul perioadei experimentale, variază semnificativ ($p < 0,05$) în F1, față de F2. Astfel, se poate afirma faptul că în cadrul prezentului experiment, aplicarea unor anumite rații zilnice de furajare precum cele menționate anterior (1%BW și 2%BW), poate influența semnificativ concentrația de azot (TKN) din carnea de păstrugă.
- ❖ Concentrația de azot (TKN) din biomasa radiculară a celor trei specii de plante testate, este superioară celei înregistrate în cazul biomasei foliare. Biomasa radiculară a plantelor crescute în regim permanent de submersie consemnează o concentrație superioară ($p < 0,05$) de azot (TKN), comparativ cu cea observată în cazul biomasei radiculare a plantelor obținute în urma aplicării unui regim intermitent de submersie. Concentrația cea mai mare de azot (TKN) este consemnată în dreptul biomasei radiculare a busuiocului, urmată fiind de cea a mentei și apoi a tarhonului ($p < 0,05$).
- ❖ Concentrația de azot (TKN) din biomasa foliară a mentei și a busuiocului, cultivate în condițiile unui regim permanent de submersie, este superioară ($p < 0,05$) celor înregistrate în cazul testării regimului intermitent de submersie. Situația se prezintă radical opus în cazul tarhonului. Rezultatele obținute în ceea ce privește biomasa foliară a mentei și busuiocului cultivate în regim permanent de submersie sunt asemănătoare celor consemnate pentru aceleași specii de plante, crescute în condiții convenționale, pe sol.
- ❖ Bilanțul final al azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat a consemnat o valoare procentuală foarte bună în dreptul biomasei vegetale (13%). În ceea ce privește cantitatea prezentă la nivelul reziduurilor grosiere, valoarea procentuală a azotului regăsit în cadrul acestora, raportată la cantitatea totală de azot introdusă în sistem de-a lungul perioadei experimentale, a fost destul de ridicată (27%). Rezultatele înregistrate demonstrează gradul sporit de eficiență a bioremedierii, consemnat în dreptul biomasei de busuioc, mentă și tarhon din cadrul sistemului recirculant integrat, în condițiile aplicării tehnicii de cultură pe substrat LECA. De asemenea, se recomandă o optimizare a rației zilnice de furajare, fapt ce ar determina o valorificare superioară a cantității de hrană administrată și ar limita concentrația de azot regăsită la nivelul reziduurilor fecale.
- ❖ Ratele de retenție a fosforului (P_2O_5) și a calciului au înregistrat valori superioare ($p < 0,05$) în cazul variantelor experimentale în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul intermitent de submersie, fapt valabil pentru biomasele de busuioc și mentă. În ceea ce privește tarhonul, nu s-au consemnat diferențe semnificative între cele două variante experimentale în cadrul cărora au fost testate regimurile de submersie menționate anterior. Biomasa de mentă

consemnează cea mai mare rată de retenție a fosforului (P_2O_5) și a calciului, urmată fiind de biomasa de busuioc și apoi, de către cea de tarhon.

- ❖ Concentrația de fosfor (P_2O_5) și calciu din carnea de păstrugă a înregistrat valori superioare ($p < 0,05$) în cazul variantei experimentale unde a fost aplicată o rație de furajare de 2%BW (F2), comparativ cu cea în cadrul căreia a fost aplicată o rație de 1%BW (F1). Astfel, se conchide faptul că, rația de furajare aplicată influențează semnificativ compoziția chimică a cărnii de păstrugă, crescută în condițiile tehnologice descrise în prezentul experiment.
- ❖ În cazul biomasei de păstrugă crescută în condițiile aplicării unei rații de furajare de 2% BW, se observă o valoare nutrițională mai bună a cărnii, fapt confirmat și de valorile superioare ale PR (proteine reținute/ex) și LR (lipide reținute/ex).
- ❖ Valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrațiilor de nitriți și nitrați din carnea de păstrugă sunt consemnate în cadrul variantei experimentale F2 (2%BW), comparativ cu F1 (1%BW). Este necesar a fi menționat faptul că, diferențe nesemnificative ($p > 0,05$) sunt înregistrate între concentrația de nitriți consemnată în momentul inițial (la populare) și cel final (la recoltare) în cazul variantei experimentale F1 (1%BW). Ca atare, se poate constata o sensibilitate mai mare în dreptul nitraților, în ceea ce privește variația acestora ca urmare a aplicării diverselor rații de furajare a biomasei sturionice.
- ❖ Evoluția descendentă, înregistrată de-a lungul perioadei experimentale, în ceea ce privește concentrația de fosfor (P_2O_5) din reziduurile fecale, denotă o scădere a eficienței de utilizare a acestui macroelement din cadrul hranei administrate, direct proporțională cu sporul de biomasă al materialului piscicol.
- ❖ Valori superioare ($p < 0,05$) ale concentrației de fosfor (P_2O_5) și calciu din biomasa foliară a busuiocului și mentei sunt înregistrate în cadrul variantelor unde a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie. Tarhonului nu a prezentat diferențe semnificative în ceea ce privește concentrația de calciu a biomasei foliare, obținută în condițiile folosirii celor două regimuri de submersie menționate (permanent și intermitent). De asemenea, prin efectuarea unei analize comparative rezultă faptul că, aplicarea tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA) nu produce o depreciere a concentrațiilor de fosfor (P_2O_5) și calciu la nivelul biomasei foliare a celor trei specii de plante testate, comparativ cu valorile obținute în cazul culturii convenționale, pe sol, a speciilor în cauză (busuioc, mentă și tarhon).
- ❖ Aplicarea unui regim permanent de submersie a generat valori superioare ($p < 0,05$) ale masei medii individuale finale a busuiocului și mentei, comparativ cu folosirea regimului intermitent de submersie. În cazul tarhonului, situația consemnată a fost radical opusă celei prezentate pentru biomasele de busuioc și mentă. Ca atare, se poate conchide o adaptabilitate mai bună a busuiocului și a mentei la tehnica de cultură acvaponică pe substrat LECA și regim permanent de submersie, în timp ce regimul intermitent de submersie se recomandă a fi folosit în cazul culturilor de tarhon, în scopul maximizării productivității biomasei vegetale. De asemenea, valorile medii ale suprafeței foliare finale a biomasei vegetale testate confirmă cele relatate anterior, acestea consemnând evoluții similare cu cele ale masei medii individuale.
- ❖ În urma analizei parametrilor principali ce caracterizează randamentul producției vegetale (RGR, NAR, LAR) se constată o grosime superioară a frunzelor de busuioc și mentă din cadrul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie. Acest fapt indică o calitate superioară a speciilor de plante din cadrul variantelor în cauză, situație generată de o mai bună adaptabilitate a acestora la condițiile tehnologice asigurate pe durata întregului ciclu de creștere.

- ◆ Evoluția puternic ascendentă a LAI, observată în cazul biomasei de mentă încă din primele zile ale perioadei experimentale, denotă o adaptabilitate superioară a acestei specii de plante la condițiile acvaponice de cultură în substrat de argilă structurată (LECA).
- ◆ Performanțe de creștere superioare ale biomasei de păstrugă au fost consemnate în cazul variantelor în cadrul cărora a fost utilizată o rație de administrare a hranei de 2% BW. Cu toate acestea, o eficiență de reținere a proteinei ușor mai ridicată este înregistrată pentru variantele unde a fost aplicată o rația de furajare de 1% BW.
- ◆ Concentrații superioare ($p < 0,05$) ale nitriților și nitraților din biomasa radiculară a celor trei specii de plante (busuioc, mentă, tarhon) au fost înregistrate în cadrul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul intermitent de submersie. De asemenea, biomasa radiculară a mentei a consemnat cea mai mare acumulare de nitriți și nitrați, urmată de biomasa radiculară a busuiocului și apoi de cea a tarhonului, diferențele dintre acestea fiind semnificative statistic ($p < 0,05$).
- ◆ Concentrații superioare ($p < 0,05$) ale nitriților și nitraților din biomasa foliară a busuiocului și a mentei sunt consemnate în cadrul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul intermitent de submersie. O situație radical opusă se observă la nivelul biomasei foliare a tarhonului, fapt ce confirmă cele constatate anterior prezentului paragraf și anume că, tarhonul a avut o adaptabilitate mai bună în cadrul variantelor experimentale unde a fost utilizat un regim intermitent de submersie.
- ◆ Valorile concentrațiilor de nitriți din biomasa foliară a celor trei specii de plante cultivate în condiții acvaponice, pe substrat de cultură LECA, sunt inferioare ($p < 0,05$) celor înregistrate în cazul acelorași specii, cultivate în condiții convenționale, pe sol. În ceea ce privește concentrația de nitrați, situația se prezintă radical opus, valori superioare ($p < 0,05$) ale acestora la nivelul biomasei foliare, putând fi observate în dreptul plantelor cultivate în condiții acvaponice, pe substrat de argilă structurată.
- ◆ Concentrația de substanță uscată, cenușă, precum și cantitatea de pigmenți verzi (clorofilieni) și galbeni (carotenoizi) înregistrează valori superioare ($p < 0,05$) în cazul variantelor experimentale unde a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele unde a fost testat regimul intermitent de submersie, fapt valabil pentru biomaselor de busuioc și mentă. Valorile înregistrate pentru biomasa de busuioc și mentă cultivate în condiții acvaponice sunt superioare celor consemnate pentru aceleași specii, cultivate în condiții convenționale, pe sol. O situație radical opusă celei expuse în cazul biomaselor de mentă și busuioc, se observă la nivelul biomasei de tarhon.



CAPITOLUL VI.

*Concluzii finale, contribuții personale,
direcții ulterioare de cercetare*



CONCLUZII FINALE

Principalul deziderat al activității industriale de acvacultură îl constituie creșterea productivității, a sustenabilității și a profitabilității acesteia. Astfel, interesul major în ceea ce privește sistemele recirculante de acvacultură este justificat prin gradul ridicat de intensivitate pe care acestea îl asigură, fapt ce conduce la sporirea productivității acvacole. Aceste sisteme sunt caracterizate, de asemenea, printr-un nivel însemnat de control a parametrilor mediali, flexibilitate în raport cu zona geografică de amplasare și posibilitatea creșterii unei largi varietăți de specii de pești cu valoare economică ridicată.

Folosirea tehnicilor acvaponice în cadrul sistemelor recirculante implică valorificarea reziduurilor metabolice în biomasă vegetală și de asemenea, optimizarea calității apei tehnologice. Ca atare, sistemele recirculante integrate rezultate beneficiază de o creștere a productivității piscicole, prin îmbunătățirea parametrilor de calitate a apei, și de o sporire a sustenabilității și profitabilității, prin obținerea în condiții ecologice a unei biomase secundare, de origine vegetală.

Datorită gradului ridicat de intensivitate a producției pe care îl asigură sistemele recirculante de acvacultură, apa tehnologică din cadrul acestora are o încărcătură nutrițională potrivită pentru cultivarea biomasei vegetale. Administrarea zilnică de hrană pentru biomasa piscicolă contribuie la menținerea concentrațiilor de nutrienți în ecartul optim pentru creșterea biomasei vegetale.

În contextul menționat, obiectivul principal al prezentei teze de doctorat a fost direcționat în vederea evaluării performanțelor tehnologice a unui sistem acvaponic integrat, din punct de vedere al potențialului de fito și bioremediere și al randamentului producției vegetale, folosind o serie de combinații de specii pești-plante, în contextul aplicării unor diverse tehnici acvaponice și densități de creștere diferite în rândul biomasei vegetale. Evaluarea sub aspect cantitativ și calitativ a biomasei vegetale și piscicole rezultate a fost necesară a fi realizată în vederea confirmării posibilității de comercializare a acestora, în scopul consumului uman.

Rezultatele obținute în cadrul studiilor experimentale descrise în prezenta teză de doctorat conduc la o serie de concluzii relevante, prezentate pe larg în cadrul finalului fiecărui capitol. Astfel, prin sintetizarea și corelarea concluziilor rezultate în urma fiecărui experiment realizat, conduce la o analiză detaliată în ceea ce privește următoarele aspecte:

- ▶ eficiența folosirii celor două tehnici acvaponice testate (DWC și pe substrat LECA) din punct de vedere al capacității de optimizare a calității apei și al productivității biomasei vegetale obținute;
- ▶ eficiența utilizării celor două regimuri de submersie testate (permanent – CF și intermitent – F&D) din punct de vedere al capacității de optimizare a calității apei și al productivității biomasei vegetale obținute;
- ▶ evaluarea performanței de fitoremediere a celor patru specii de plante folosite (spanac, busuioc, mentă, tarhon);
- ▶ evaluarea performanței de bioremediere a substratului de cultură format din argilă structurată (LECA);
- ▶ identificarea compatibilității dintre speciile de plante – pești testate.
- ▶ evaluarea calitativă a biomasei vegetale și a celei piscicole rezultate, în vederea confirmării posibilității de comercializare a acestora pentru consumul uman.

Ca atare, urmărind aspectele menționate, se desprind următoarele concluzii generale:

- ✱ Concentrația de azot amoniacal din apa tehnologică prezintă o dinamică pozitivă în cazul utilizării tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA) a spanacului, în timp ce în celelalte condiții experimentale testate, aceasta manifestă o tendință ascendentă certă.
- ✱ Concentrația de nitriți din apa tehnologică înregistrează evoluții ascendente în cazul mentei și a spanacului cultivate pe substrat LECA. Ca atare, se poate constata o influență semnificativă a gradului de ramificare în plan orizontal a suprafeței radiculare a plantelor (creșterea suprafeței specifice pentru dezvoltarea bacteriilor nitrificatoare), asupra eficienței proceselor de oxidare a azotului amoniacal în nitriți și a nitriților în nitrați.
- ✱ Regimul intermitent de submersie asigură o aerare mai bună a substratului de cultură LECA, comparativ cu regimul permanent de submersie, fapt ce intensifică procesele de oxidare de la nivelul acestuia. Astfel, folosirea unui regim intermitent de submersie crește capacitatea de bioremediere a substratului de argilă structurată (LECA).
- ✱ În condițiile utilizării tehnicii acvaponice DWC nu se observă variații semnificative în ceea ce privește concentrații de nitriți din apa tehnologică, înregistrate la alimentarea – evacuarea modului acvaponic. Acest fapt scoate în evidență capacitatea scăzută de bioremediere a acestei tehnici acvaponice, fapt justificat prin lipsa unor suprafețe specifice mari, utilizate pentru dezvoltarea bacteriilor nitrificatoare, precum argila structurată în cazul tehnicii de cultură pe substrat LECA. Ca atare, tehnica acvaponică DWC asigură optimizarea calității apei tehnologice, în mare măsură, prin procese de fitoremediere.
- ✱ Dinamica concentrației de nitrați din apa tehnologică prezintă evoluții ascendente în cadrul tuturor variantelor experimentale testate, cu fluctuații semnificative în cazul spanacului cultivat utilizând tehnica acvaponică DWC și al celui cultivat pe substrat LECA și regim permanent de submersie. Fluctuațiile concentrației de nitrați sunt justificate prin diversele cerințe nutriționale corespunzătoare stadiilor de evoluție a spanacului. În cazul experimentului ce implică creșterea concomitentă a busuiocului, mentei și tarhonului în cadrul aceluiasi sistem recirculant integrat, utilizând tehnica acvaponică pe substrat LECA, nu s-au manifestat fluctuații ale concentrației de nitrați din apa tehnologică. Astfel, se recomandă utilizarea concomitentă de culturile vegetale constând în diverse specii de plante sau diferite stadii de evoluție ale aceleiași specii de plante, în scopul unei valorificări mai eficiente a concentrației de nitrați din apa tehnologică a sistemului recirculant integrat.
- ✱ Rata de îndepărtare a TAN-ului și a nitraților consemnează valori superioare în condițiile utilizării tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA), comparativ cu tehnica DWC. De asemenea, regimul intermitent de submersie a generat rate de îndepărtare superioare a TAN-ului și a nitraților, față de cele înregistrate în cadrul variantelor unde a fost aplicat un regim permanent de submersie. În ceea ce privește biomasa vegetală de cultură, spanacul și busuiocul cultivate utilizând tehnica acvaponică cu substrat LECA au manifestat cea mai mare capacitate de fitoremediere.
- ✱ Concentrațiile de fosfor și calciu prezintă o tendință descendentă în cazul experimentului ce implică cultivarea spanacului prin folosirea tehnicii acvaponice de cultură pe substrat LECA, fapt ce indică un caracter limitativ al acestor doi macronutrienți, pe termen lung, în condițiile tehnologice menționate în cadrul CAPITOLULUI IV.
- ✱ Rata de retenție a fosforului și a calciului indică valori superioare în condițiile utilizării tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA), comparativ cu tehnica DWC. De asemenea, utilizarea unui regim intermitent de submersie generează o retenție superioară a celor doi macronutrienți menționați anterior, comparativ cu regimul

- permanent de submersie. Cea mai mare rată de retenție a fosforului și calciului se observă în dreptul biomasei de mentă, fiind urmată în ordine de cea de busuioc, tarhon și spanac.
- ✱ Concentrațiile de potasiu și magneziu din apa tehnologică înregistrează tendințe descendente în cazul utilizării tehnicii acvaponice de cultură pe substrat LECA, fapt ce indică un caracter limitativ al acestor doi macronutrienți, pe termen lung. Biomasa de mentă manifestă cele mai ridicate exigențe în ceea ce privește necesarul de potasiu și magneziu, consemnând ca atare, cele mai mari valori ale ratei de retenție a macronutrienților în cauză.
 - ✱ Fierul a fost singurul element ce a necesitat suplimentare, concentrația acestuia în apa tehnologică nefiind suficientă în vederea asigurării unei creșteri optime a biomaselor vegetale testate. Rate superioare de retenție a fierului sunt observate în cazul utilizării tehnicii acvaponice de cultură pe substrat LECA, coroborată cu aplicarea unui regim permanent de submersie.
 - ✱ Prin evoluția puternic descendentă, concentrația de mangan din apa tehnologică prezintă un caracter limitativ în condițiile utilizării spanacului drept specie de cultură, fapt accentuat în condițiile aplicării tehnicii acvaponice pe substrat LECA.
 - ✱ Evoluția concentrațiilor de COD, TOC, TSS și valori procentuale a BOD5 indică un grad ridicat de îndepărtare a solidelor din masa apei, în condițiile folosirii unui regim permanent de submersie. În paralel, aplicarea unui regim intermitent de submersie asigură o mai bună curățare a stratului de cultură (LECA), materia organică prezentă la nivelul acestuia fiind eliminată datorită vitezei de evacuare a apei tehnologice mai ridicate, urmată de refacerea nivelului inițial al acesteia. De asemenea, tehnica acvaponică de cultură pe substrat de argilă structurată asigură o rată superioară de îndepărtare a solidelor din masa apei tehnologice, la nivelul modulului acvaponic, comparativ cu tehnica DWC. Gradul și direcția de ramificare a suprafeței radiculare influențează semnificativ capacitatea de îndepărtare a solidelor și ca atare, intensitatea acumulării materiei organice la nivelul unităților acvaponice. Astfel, o capacitate filtratoare mai bună este consemnată în cazul biomasei de mentă, rădăcinile acesteia fiind foarte ramificate și totodată, prezentând o dezvoltare însemnată în planul orizontal. Utilizarea regimului intermitent de submersie generează fluctuații ale parametrilor analizați în cadrul prezentului paragraf, fapt explicabil prin desprinderea aleatorie de-a lungul ciclului de producție, a materiei organice acumulate la nivelul substratului de creștere, sub acțiunea vitezei de evacuare a apei.
 - ✱ Gradul superior de îndepărtare a solidelor la nivelul modulului acvaponic, în condițiile folosirii tehnicii acvaponice pe substrat LECA pentru cultura spanacului, a generat valori ridicate ale ratei volumetrice de îndepărtare a azotului amoniacal total (VRT) în cadrul filtrului biologic tip trickling.
 - ✱ Concentrația de azot (TKN), fosfor și calciu din biomasa foliară a speciilor de plante testate în condiții acvaponice diverse, expuse în prezenta teză de doctorat, au fost asemănătoare sau chiar mai ridicate (cazul spanacului cultivat pe substrat LECA) comparativ cu cele cultivate convențional, pe sol. Excepția a fost întâlnită în cazul spanacului cultivat utilizând tehnica acvaponică DWC și densități de cultivare de 59 și 48 plante/m², unde concentrațiile de TKN, fosfor și calciu au fost inferioare celor consemnate în cadrul lotului de spanac crescut convențional, pe sol. Acest fapt confirmă absorbția superioară a biomasei vegetale cultivate utilizând tehnica acvaponică cu substrat LECA, comparativ cu cea obținută în condițiile folosirii tehnicii DWC.
 - ✱ Semne ale deficienței de calciu au fost vizibile în cazul spanacului cultivat utilizând tehnica acvaponică DWC și densități de cultivare de 59 și 48 plante/m², acestea fiind manifestate prin răsucirea frunzelor nou formate și uscarea acestora la extremități. De asemenea, semne ale deficienței de potasiu sunt observate în cazul aplicării tehnicii de cultură pe

substrat LECA și a unei densități de cultivare de 59 plante/m², fapt vizibil printr-o slabă dezvoltare a suprafeței foliare și o încrețire accentuată a acesteia

- ✱ Bilanțul final al azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat a consemnat valori procentuale foarte bune în dreptul biomasei vegetale și anume: 12,59% pentru spanacul cultivat utilizând tehnica acvaponică DWC; 15,72% pentru spanacul cultivat folosind tehnica acvaponică pe substrat LECA și 13% pentru biomasa mixtă de busuioc – mentă – tarhon, cultivată pe substrat de argilă structurată (LECA).
- ✱ Utilizarea tehnicii acvaponice pe substrat LECA a generat valori superioare în ceea ce privește parametrii ce caracterizează randamentul creșterii biomasei vegetale, comparativ cu folosirea tehnicii DWC. De asemenea, regimul permanent de submersie poate fi considerat drept o soluție tehnică fezabilă, recomandată a fi aplicată în vederea creșterii randamentului de producție a biomasei vegetale de busuioc și mentă.
- ✱ Integrarea modulului acvaponic în cadrul sistemului recirculant nu a exercitat influențe negative asupra performanței creșterii materialului piscicol utilizat în cadrul studiilor experimentale (păstrăv curcubeu și păstrugă).
- ✱ Concentrația de nitrați din biomasa foliară a speciilor de plante cultivate în condiții acvaponice a fost superioară celei înregistrate în rândul loturilor acelorași specii, cultivate convențional, pe sol. Excepția a fost reprezentată de biomasa de spanac cultivată utilizând tehnica acvaponică pe substrat LECA, în condițiile unei densități de cultură de 39 plante/m². Astfel, în acest caz aparte, concentrația de nitrați din biomasa foliară a depășit limita maximă admisă pentru consumul uman. Este necesar a fi punctat faptul că, biomasa foliară a plantelor crescute utilizând tehnica acvaponică DWC înregistrează concentrații de nitrați inferioare celor observate în cazul acelorași specii de plante, cultivate în condițiile aplicării tehnicii acvaponice pe substrat LECA.
- ✱ Biomasa de spanac cultivată utilizând tehnica acvaponică DWC prezintă o calitate inferioară, comparativ cu cea obținută prin aplicarea tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de argilă structurată, fapt confirmat de valorile mai mici ale concentrației pigmentilor clorofilieni și a carotenoizilor. De asemenea, luând în considerare aceleași criterii de diferențiere, se observă o calitate superioară a biomasei vegetale de busuioc și mentă obținută în condițiile unui regim permanent de submersie, comparativ cu cea cultivată în regim intermitent de submersie. Spanacul, busuiocul și menta cultivate în condiții acvaponice înregistrează o calitate comparabilă și chiar superioară în unele cazuri, cu loturile cultivate convențional, pe sol.

Concluziile prezentate anterior confirmă eficiența folosirii celor două tehnici acvaponice testate (DWC și pe substrat LECA) în vederea optimizării calității apei tehnologice din cadrul unui sistem recirculant integrat. De asemenea, randamentul ridicat al producției vegetale denotă compatibilitatea combinațiilor de specii plante:pești testate.

Performanțele de bioremediere a modulului acvaponic în condițiile aplicării tehnicii acvaponice de cultură pe substrat de argilă structurată, sunt influențate semnificativ de densitatea și modul de dezvoltare (pe plant orizontal sau pe plant vertical – pivotant) a biomasei radiculare aferentă speciei de plante cultivate.

Folosirea unui regim intermitent de submersie (F&D) asigură o mai bună aerarea la nivelul substratului de cultură, intensificând astfel procesele de oxidare din cadrul acestuia. De asemenea, regimul F&D asigură o curățare mai bună a substratului de cultură (LECA), prevenind acumularea în cantități însemnate a substanței organice la nivelul acestuia, de-a lungul ciclului de producție.

Utilizarea regimului permanent de submersie (CF) generează o creștere a absorbției de nutrienți în cazul spanacului, mentei și busuiocului, fapt ce determină, de asemenea, sporirea

randamentului de producției al acestor specii vegetale de cultură.

Rezultatele obținute în urma evaluării compoziției chimice și a caracteristicilor calitative ale biomaselor vegetale și piscicole conferă credibilitate în a afirma faptul că producția vegetală și piscicolă obținută în cadrul sistemelor recirculante integrate, îndeplinește criteriile necesare pentru comercializarea în vederea consumului uman.

CONTRIBUȚII PERSONALE

La nivel mondial sunt întreprinse diverse cercetări în vederea creșterii rentabilității sistemelor recirculante de acvacultură și drept urmare, a numărului investitorilor ce activează în cadrul acestui sector de producție. Este cunoscut faptul că, aceste sisteme de producție sunt rentabile în condițiile practicării unor densități mari de stocare, pentru creșterea unor specii cu valoare economică ridicată, precum sturionii. Astfel, în condițiile unui quantum redus al veniturilor obținute în primii ani de funcționare, investitorul are tendința de a se orienta spre orice activitate anexă, aducătoare de fonduri bănești suplimentare.

Ca atare, integrarea culturilor acvaponice în cadrul sistemelor recirculante are considerente economice prin mărirea profitabilității în urma comercializării producției vegetale obținute, dar și ecologice, fapt argumentat prin optimizarea calității apei tehnologice din cadrul sistemelor recirculante integrate și totodată valorificarea nutrienților reziduali, în vederea obținerii unor produse ecologice „pesticide free”.

La nivel național, lucrarea de față reprezintă o noutate în ceea ce privește studiul aspectelor tehnologice, tehnice, a celor legate de dinamica nutrienților, de randamentul producției vegetale, de calitatea acesteia, precum și a celor ce implică capacitatea de fito și bioremediere a sistemelor recirculante integrate, prin utilizarea tehnicilor acvaponice de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA).

De asemenea, un grad reprezentativ de noutate îl constituie studiul comparativ dintre cele două tehnici acvaponice folosite pentru cultura spanacului (*Spinacia oleracea*) și anume, tehnica DWC și tehnica de cultură pe substrat LECA.

Rezultatele obținute în urma experimentărilor întreprinse în cadrul prezentei teze de doctorat constituie premise demne de luat în seamă, atât pentru actualii investitori în acest domeniu, cât și pentru cei ce intenționează a realiza o astfel de investiție. Experimentarea diverselor tehnici acvaponice și a diferitelor regimuri de submersie este menită a răspunde anticipat la eventualele probleme legate de alegerea soluțiilor tehnice potrivite pentru fiecare sistem recirculant în parte, conștientizând gradul semnificativ de diferențiere al acestora.

Actualul studiu constituie un răspuns pe măsură la problemele majore, de înaltă actualitate, legate de creșterea profitabilității și sustenabilității sistemelor recirculante, oferind soluții fezabile, demonstrate din punct de vedere științific.

La nivel mondial, gradul înalt de noutate și originalitate al prezentei lucrări este dat de combinațiile de specii plante : pești testate în condiții acvaponice:

- **spanac (*Spinacia oleracea*) : păstrăv curcubeu (*Oncorhynchus mykiss*)** – tehnica DWC;
- **spanac (*Spinacia oleracea*) : păstrugă (*Acipenser stellatus*)** – tehnica de cultură pe substrat LECA, în regim permanent de submersie;
- **busuioc (*Ocimum basilicum*) : păstrugă (*Acipenser stellatus*)** - tehnica de cultură pe substrat LECA, în regim permanent și intermitent de submersie;
- **mentă (*Mentha piperita*) : păstrugă (*Acipenser stellatus*)** - tehnica de cultură pe substrat LECA, în regim permanent și intermitent de submersie;
- **tarhon (*Artemisia dracunculus* L.) : păstrugă (*Acipenser stellatus*)** - tehnica de cultură pe substrat LECA, în regim permanent și intermitent de submersie.

Astfel, în urma unui studiu amănunțit a literaturii de specialitate disponibile se poate afirma faptul că, niciuna dintre cele patru combinații de specii plante : pești menționate anterior și testate în prezenta teză de doctorat, nu a fost găsită ca fiind studiată.

În concluzie, lucrarea aduce o contribuție însemnată la elucidarea fenomenelor abordate, aspectele cele mai relevante din punct de vedere al gradului de noutate fiind reprezentate de:

- ✿ proiectarea și realizarea celor două sisteme recirculante integrate în scopul asigurării condițiilor ecotehnologice necesare creșterii și dezvoltării speciilor de plante : pești experimentate;
- ✿ managementul tehnologic și operațional al sistemelor recirculante integrate;
- ✿ identificarea capacității de fito – bioremediere a speciilor de plante testate, aplicând diferite tehnici acvaponice și diverse regimuri de submersie;
- ✿ dinamica nutrienților reziduali la nivelul celor două sisteme recirculante integrate;
- ✿ identificarea randamentului creșterii biomaselor de spanac, busuioc, mentă și tarhon, în condițiile utilizării diferitelor tehnici acvaponice și a diverselor regimuri de submersie;
- ✿ evaluarea compoziției chimice și a caracteristicilor calitative ale biomaselor vegetale (spanac, busuioc, mentă, tarhon) și piscicole (păstrăv curcubeu, păstrugă);
- ✿ cuantificarea performanțelor tehnologice păstrugii, crescute în cadrul unui sistem recirculant integrat.

Rezultatele consemnate întăresc credibilitatea sistemelor recirculante integrate, oferind premiza maximizării producției, a scăderii costurilor operaționale și de asemenea, a generării unui supraprofit în urma obținerii unor produse vegetale ecologice, adresate în special unor nișe de consumatori formate din persoane ce au convingeri stricte de ordin etic și al protecției mediului.

DIRECȚII ULTERIOARE DE CERCETARE

Cu toate că prezenta teză de doctorat a reușit să clarifice o serie de probleme din aria de studiu a sistemelor recirculante integrate, rămân totuși o multitudine de aspecte necesare spre a fi elucidate în cadrul viitoarelor studii întreprinse în acest domeniu, precum:

- ⊕ testarea în cadrul unor studii comparative, a tehnicii acvaponice cu film de nutrienți (NFT – nutrient film technique);
- ⊕ identificarea și testarea în premieră a altor combinații de specii plante : pești, în scopul evaluării compatibilității acestora spre a fi crescute în cadrul sistemelor recirculante integrate;
- ⊕ proiectarea, realizarea și testarea altor sisteme recirculante integrate, cu dispunere diferită a modului acvaponic, comparativ cu cea existentă în cadrul celor două sisteme recirculante integrate descrise în prezenta teză de doctorat;
- ⊕ identificarea unor metode de contracarare sau limitare a acumulării de substanță organică la nivelul modului acvaponic, în condițiile folosirii tehnicii acvaponice de cultură pe substrat;
- ⊕ analiza comunităților microbiene existente la nivelul apei tehnologice, a unității de filtrare biologică, a substratului acvaponic de cultură și a suprafeței radiculare aferentă biomasei vegetale, în scopul înțelegerii și controlului cât mai bun a proceselor de fito-bioremediere.

Articole publicate în baze de date internaționale- BDI

1. Bandi A. C., Cristea V., **Petrea Șt. M.**, Georgescu L., Dediu L., Lupoae P., Review – ***Integrated aquaponic systems: Design and technological aspects***, International Scientific Symposium "MODERN ANIMAL HUSBANDRY – STRATEGIES, OPPORTUNITIES AND PERFORMANCES" USAMV Iași, 23-25 Octombrie 2014. (*in press*).
http://www.uaiasi.ro/simpozion_zoo/fisiere/Program_simp_2014.pdf
2. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Liu F., Lupoae P., Antache A., Bandi A. C., Coadă M. T.; ***The nitrate and nitrite levels from both spinach and stellate sturgeon meat in an aquaponic integrated system***, Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES Vol. 71(2), 2014, p:227-235.
<http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/10590/8704>
3. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Liu F., Contoman M., Lupoae P., Antache A., Bandi A. C.; ***A study of nitrogen dynamics in an integrated stellate sturgeon and spinach aquaponic system with different crop densities***; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES Vol. 71(2), 2014, p:219-226.
<http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/10586/8703>
4. Antache A., Cristea V., Dediu L., Grecu I., **Petrea Șt. M.**, Bandi A. C.; ***The biochemical evaluation of aquaculture nile tilapia muscle tissue, in condition of some probiotics administered in feed***; Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies, The 13th International Symposium "PROSPECTS FOR THE 3rd MILLENNIUM AGRICULTURE", USAMV Cluj-Napoca 25-27 September, 2014. (*in press*)
<http://symposium.usamvcluj.ro/Symposium%20program.pdf>
5. Antache A., Cristea V., Grecu I., Dediu L., Crețu M., Bocioc E., **Petrea Șt. M.**; ***Effects of dietary supplementation at nile tilapia with Thymus vulgaris, Trigonella foenum graecum and Azadirachta indica on welfare status***. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES Vol. 71(2), 2014, p:115-122.
<http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/10386/8686>
6. Bandi A. C., Cristea V., **Petrea Șt. M.**, Georgescu L., Dediu L., Diaconu D.; Review – ***Water treatment capacity of different hydroponic modules integrated in recirculating aquaculture systems***; Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies, The 13th International Symposium "PROSPECTS FOR THE 3rd MILLENNIUM AGRICULTURE", USAMV Cluj-Napoca 25-27 September, 2014. (*in press*)
<http://symposium.usamvcluj.ro/Symposium%20program.pdf>
7. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Antache A., Coadă M. T., Plăcintă (Ion) S., Bandi A. C.; ***A study of phosphorus and calcium dynamics in an integrated rainbow trout and spinach (Nores variety) aquaponic system with different crop densities***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol. 47 (2), p: 196 – 206.
<http://www.spasb.ro/index.php/spasb/article/view/1769/1721>
8. Antache A., Cristea V., Grecu I., **Petrea Șt. M.**, Plăcintă (Ion) S., Coadă M. T.; ***The evaluation of synergistic effect of Hippophae rhamnoides and vitamin E on growth***

performance and oxidative stress at *Oreochromis niloticus*-Linnaeus, 1758; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol. 47 (2), p: 176 – 182.

<http://www.spasb.ro/index.php/spasb/article/view/1689/1720>

9. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Lupoae P., Antache A., Dicu M. D., Coadă M. T.; ***Vegetable production in an integrated aquaponic system with stellate sturgeon and spinach – Matador variety***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol. 47 (1); p: 228–238.

<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/1768/1646>

10. Plăcintă (Ion) S., Cristea V., Coadă M. T., **Petrea Șt. M.**; ***Hematological Profile of Juvenile European catfish (*Silurus glanis*) Reared under Different Stocking Densities in Recirculating System Conditions***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol. 47 (1), p:239–244.

<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/1777/1647>

11. Crețu M., Cristea V., Dediu L., **Petrea Șt. M.**; ***The influence of different stocking densities on biochemical composition of rainbow trout meat reared in a recirculating aquaculture system***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol. 47(1),p:200-204.

<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/1782/1641>

12. Dorojan O. G., Cristea V., Plăcintă (Ion) S., **Petrea Șt. M.**; ***The influence of some phytobiotiques (thyme, underbrush) on growth performance of stellate sturgeon (*A. stellatus*, Pallas, 1771) in an industrial recirculating aquaculture system***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol. 47 (1), p:205–210.

<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/1763/1642>

13. Antache A., Cristea V., Grecu I., Dediu L., Crețu M., **Petrea Șt. M.**; ***The influence of some phytobiotics on haematological and some biochemical indices at *Oreochromis Niloticus* – LINNAEUS, 1758***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol.47(1), p: 192 – 199.

<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/1686/1640>

14. Kayis Ş., **Petrea Ş. M.**, Kurtoğlu I. Z., Er A., ***Experimental infections of *Pseudomonas putida* and *Pseudomonas fluorescens* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) alevins***; EL-CEZERÎ JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING Vol: 1 (1), 2014, p:7-11.

<http://www.ecjse.com/index.php/ECJSE/article/view/2/3>

15. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Lupoae P., Plăcintă (Ion) Săndița, Coadă M. T., Enache M.; ***A comparison of nitrate level in spinach grown both under different densities in aquaponic system and under natural growth conditions***; The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati–FASCICLE VI FOOD TECHNOLOGY, 2013, Vol.37 (2); p: 47–58.

<http://www.ann.ugal.ro/tpa/Anale%202013/04%20Petrea.pdf>

16. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Plăcintă (Ion) S., Mocanu (Crețu) M. and Antache A.; ***Study of nitrogen cycle in an integrated aquaponic system with different plant densities***; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES 2013. Vol. 70(1) p: 55-64

<http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/9492/7839>

17. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Lupoae P., Mocanu (Crețu) M. and Coadă M.T.; ***Vegetable production in an integrated aquaponic system with rainbow trout and spinach***; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, Vol. 70(1), 2013, p: 45-55.

- <http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/9485/7838>
18. Antache A., Cristea V., Dediu L., Vasilean I., **Petrea Șt. M.**, Coadă M.T; ***The growth performance of oreochromis niloticus reared in a recirculating aquaculture system in condition of some phytobiotics administered in feed***; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES 2013 Vol. 70(1); p:185-186.
<http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/9293>
19. Mocanu (Cretu) M., Cristea V., Dediu L., **Petrea Șt. M.**; ***Effect of feeding frequency on body composition of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss, Walbaum 1792)***; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES 2013 Vol. 70(2); p: 385-386.
<http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/9446/7829>
20. Dicu (Stroe) M.D., Cristea V., Maoreanu M., Dediu L. and **Petrea Șt.M.**; ***Effect of stocking density on growth performance and hematological profile of stellate sturgeon (A. stellatus, Pallas, 1771) fingerlings reared in an industrial „flow-through” aquaculture system***; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES Vol. 70(2); p: 244-254
<http://journals.usamvcluj.ro/index.php/zootehnie/article/view/9274>
21. Antache.A., Cristea V., Grecu I., Dediu L., Mocanu (Crețu) M., Placintă (Ion) S., **Petrea Șt. M.**; ***The Effects of some Phytobiotics on Biochemical Composition of Oreochromis niloticus Meat Reared in a Recirculating Aquaculture System***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2014, Vol.46(1), p:238-243
<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/200/81>
22. Antache A., Cristea V., Dediu L., Grecu I., Docan A., Vasilean I., Mocanu (Crețu) M., **Petrea Șt. M.** ***The influence of some phytobiotics on growth performance at Oreochromis niloticus reared in an intensive recirculating aquaculture system.*** „SCIENTIFIC PAPERS, ANIMAL SCIENCE SERIES” USAMV-Iasi, 2013, Vol. 60 (18); p:204-208.
http://www.uaiasi.ro/revista_zoo/ro/documente/Pdf_Vol_60/Alina_Antache.pdf
23. Dicu (Stroe) M. D., Cristea V., Dediu L., Maoreanu M., **Petrea Șt. M.** ***The influence of feeding frequency on growth performance and meat quality of A. Stellatus (Pallas,1771) species, growth in a recirculating aquaculture system.*** „SCIENTIFIC PAPERS, ANIMAL SCIENCE SERIES” USAMV Iasi-Vol. 60(18) 2013; p:193-198.
http://www.univagro-iasi.ro/revista_zoo/ro/documente/Pdf_Vol_60/Maria_Dicu.pdf
24. Dicu (Stroe) M. D., Cristea V., **Petrea Șt. M.**, Plăcintă S., Coadă M. T., Mirea (Ciortan) C.; ***Effects of Different Levels of Dietary Vitamins C on Growth Performance of Stellate Sturgeon (Acipenser stellatus, Pallas).*** SCIENTIFIC PAPERS: ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2013, 46(2), p:244-249
<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/viewFile/265/283>
25. Mirea (Ciortan) C., Cristea V., Dediu L., Mocanu (Cretu) M., Dicu (Stroe) D. M., **Petrea Șt. M.**, ***Determining the potential of compensatory growth of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758) in a recirculating Aquaculture system.*** „SCIENTIFIC PAPERS, ANIMAL SCIENCE SERIES” USAMV Iasi- Vol. 60(18) 2013; p: 199-203.
http://www.univagro-iasi.ro/revista_zoo/ro/documente/Pdf_Vol_60/Catalina_Mirea1.pdf
26. Dicu D. M., Cristea V., Lorena D., Mocanu (Crețu) M., **Petrea Șt. M.**, Popescu A.; ***Preliminary Results about Growth Performance and Food Conversion Ratio of Acipenser stellatus juveniles, Fed with Different Dietary Protein Levels***; SCIENTIFIC PAPERS: ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2012, Vol. 45 (2); p: 37-42.

<http://www.usab->

[tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Vol%201/FZB_vol2_2012_Editura/Aquaculture/aquaculture_pdf/dicu.pdf](http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Vol%201/FZB_vol2_2012_Editura/Aquaculture/aquaculture_pdf/dicu.pdf)

27. **Petrea Șt. M.**, Kurtoğlu I. Z., Kayis Ş., Cristea V., Metaxa I., Coadă M.T., Ion (Plăcinta) S., ***Economic Situation of Fish Farming in Southeastern Coast of the Black Sea***; SCIENTIFIC PAPERS: ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2012, Vol. 45 (2); p:78-87

<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/323/204>

28. **Petrea Șt. M.**, Kurtoglu I.Z., Kayis Ş., Cristea V., Metaxa I. and Coadă M. T., ***An analyse of Coastal Marine Aquaculture in Southeastern part of the Black Sea***; „SCIENTIFIC PAPERS, ANIMAL SCIENCE SERIES” USAMV Iasi-Vol. 58(17), 2012; p:311-317.

http://www.univagro-iasi.ro/revista_zoo/ro/documente/Pdf_Vol_58/St_Petrea.pdf

29. Coadă M. T. Patriche N., Cristea V., Antache A., Ion (Plăcintă) S., Mocanu (Crețu) M., **Petrea Șt. M.**; ***The Effect of Feeding with Different Dietary Protein Levels on Haematological Profile and Leukocytes Population of Juvenile Paddlefish (Polyodon spathula)***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2012, Vol.45(2): p: 7-13.

<http://www.usab->

[tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Vol%201/FZB_vol2_2012_Editura/Aquaculture/aquaculture_pdf/coada%201.pdf](http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Vol%201/FZB_vol2_2012_Editura/Aquaculture/aquaculture_pdf/coada%201.pdf)

30. Ion (Placinta) S., Cristea V., Mocanu (Cretu) M., Antache A., Coadă M. T., **Petrea Șt. M.**, ***Effects of Dietary Vitamin C Supplementation on Growth Performance and Tissue Chemical Composition of Silurus Glanis (Linnaeus, 1578)***; SCIENTIFIC PAPERS ANIMAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGIES, 2012, Vol.45(2), p: 88-92.

<http://spasb.ro/index.php/spasb/article/view/324/205>

31. Ion (Plăcintă) S., Cristea V., Grecu I. R., Mocanu (Crețu) M., Coadă M.T., Antache A., Bocioc E., **Petrea Șt. M.**; ***The Influence of Stocking Density on Silurus Glanis (Linnaeus, 1758) Growth Performance in a Recirculating Aquaculture System***; „SCIENTIFIC PAPERS, ANIMAL SCIENCE SERIES” USAMV Iasi-Vol. 58(17), 2012; p:306-310.

http://www.univagro-iasi.ro/revista_zoo/ro/documente/Pdf_Vol_58/Sandita_Placinta.pdf

Articole comunicate în cadrul Conferințelor Internaționale:

1. Bandi A. C., Cristea V., **Petrea Șt. M.**, Georgescu L., Dediu L., Lupoae P., **Review – Integrated aquaponic systems: Design and technological aspects**, Simpozionul științific internațional "Zootehnia modernă - Strategii, Oportunități și Performanțe Europene" USAMV Iași, 23-25 Octombrie 2014.
http://www.uaiasi.ro/congres/fisiere/Congres_Z_Plen_Vineri.pdf
2. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Liu F., Lupoae P., Antache A., Bandi A. C., Coadă M. T., **The Nitrate and Nitrite Levels From Both Spinach and Stellate Sturgeon Meat in an Aquaponic Integrated System**, The 13th International Symposium "Prospects for the Third Millennium Agriculture" USAMV Cluj-Napoca, 25-27 Septembrie 2014.
<http://symposium.usamvcluj.ro/Symposium%20program.pdf>
3. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Dediu L., Liu F., Contoman M., Lupoae P., Antache A., Bandi A. C., **A study of nitrogen dynamics in an integrated stellate sturgeon and spinach aquaponic system with different crop densities**, The 13th International Symposium "Prospects for the Third Millennium Agriculture" USAMV Cluj-Napoca, 25-27 Septembrie 2014.
<http://symposium.usamvcluj.ro/Symposium%20program.pdf>
4. Antache A., Cristea V., Dediu L., Grecu I., **Petrea Șt. M.**, Bandi A. C., **The biochemical evaluation of aquaculture Nile tilapia muscle tissue, in condition of some probiotics administered in feed**, The 13th International Symposium "Prospects for the Third Millennium Agriculture" USAMV Cluj-Napoca, 25-27 Septembrie 2014.
<http://symposium.usamvcluj.ro/Symposium%20program.pdf>
5. Antache A., Cristea V., Grecu I., Dediu L., Crețu M., Bocioc E., **Petrea Șt. M.**, **Effects of dietary supplementation at Nile tilapia with Thymus vulgaris, Tigonela foenum graecum and Azadirachta indica on welfare status**. The 13th International Symposium "Prospects for the Third Millennium Agriculture" USAMV Cluj-Napoca, 25-27 Septembrie 2014.
<http://symposium.usamvcluj.ro/Symposium%20program.pdf>
6. Bandi A. C., Cristea V., **Petrea Șt. M.**, Georgescu L., Dediu L., Diaconu D., **Review – Water treatment capacity of different hydroponic modules integrated in recirculating aquaculture systems**, The 13th International Symposium "Prospects for the Third Millennium Agriculture" USAMV Cluj-Napoca, 25-27 Septembrie 2014.
<http://symposium.usamvcluj.ro/Symposium%20program.pdf>
7. **Petrea Șt. M.**, Cristea V., Contoman M., Lupoae P., Coadă M. T., Bandi A. C., **Aspecte privind reutilizarea apei tehnologice și nutrienților reziduali din acvacultura sistemelor recirculante prin tehnologii de acvaponie**, Simpozionul "Schimb de bune practici și promovarea de tehnologii moderne în acvacultură", Complexul muzeal de științele naturii "Răsvan Angheluță" Galați, 16-17 August 2014.
8. Bandi A. C., Cristea V., **Petrea Șt. M.**, Georgescu L., Dediu L., Lupoae P., Diaconu D., **Designul și eficiența sistemelor acvaponice integrate**, Simpozionul "Schimb de bune practici și promovarea de tehnologii moderne în acvacultură", Complexul muzeal de științele naturii "Răsvan Angheluță" Galați, 16-17 August 2014.

9. **Petrea Ș. M.**; Cristea V., Dediu L., Contoman M., Antache A., Coadă M. T., Plăcintă S., Bandi A. C., ***A study of phosphorus and calcium dynamics in an integrated rainbow trout and spinach (Nores variety) aquaponic system with different crop densities***, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2014" USAB Timișoara, 29-30 Mai 2014.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/2014/Symposium_program_Timisoara2014_4.pdf
10. **Petrea Ș. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Lupoae P., Antache A., Dicu M. D., Coadă M. T., ***Vegetable production in an integrated aquaponic system with stellate sturgeon and spinach – Matador variety***, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2014" USAB Timișoara, 29-30 Mai 2014. http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/2014/Symposium_program_Timisoara2014_4.pdf
11. Antache A.; Cristea V., Grecu I., **Petrea Ș. M.**, Plăcintă S., Coadă M. T., ***The evaluation of synergistic effect of Hippophae rhamnoides and vitamin E on growth performance and oxidative stress at Oreochromis niloticus – Linnaeus, 1758***, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2014" USAB Timișoara, 29-30 Mai 2014.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/2014/Symposium_program_Timisoara2014_4.pdf
12. Antache A.; Cristea V., Grecu I., Dediu L.; Crețu M., **Petrea Ș. M.**, ***The influence of some phytobiotics on haematological and some biochemical indices at Oreochromis Niloticus – Linnaeus, 1758***, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2014" USAB Timișoara, 29-30 Mai 2014.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/2014/Symposium_program_Timisoara2014_4.pdf
13. Plăcintă S., Cristea V., Coadă M. T., **Petrea Ș. M.**, ***Hematological profile of juvenile European catfish (Silurus glanis) reared under different stocking densities in recirculating system conditions***, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2014" USAB Timișoara, 29-30 Mai 2014.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/2014/Symposium_program_Timisoara2014_4.pdf
14. Crețu M., Cristea V., Dediu L.; **Petrea Ș. M.**, ***The influence of different stocking densities on biochemical composition of rainbow trout meat reared in a recirculating aquaculture system***, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2014" USAB Timișoara, 29-30 Mai 2014.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/2014/Symposium_program_Timisoara2014_4.pdf
15. Dorojan O. G., Cristea V., Plăcintă S., **Petrea Ș. M.**, ***The influence of some phytobiotiques (thyme, underbrush) on growth performance of stellate sturgeon (A. stellatus, Pallas, 1771) in an industrial recirculating aquaculture system***, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2014" USAB Timișoara, 29-30 Mai 2014.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/2014/Symposium_program_Timisoara2014_4.pdf
16. Kayis Ș., **Petrea Ș. M.**, Kurtoğlu I. Z., Er A., ***Experimental infections of Pseudomonas putida and Pseudomonas fluorescens in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) alevins***; El-Cezeri Journal of Science and Engineering
<http://www.ecjse.com/index.php/ECJSE/article/view/2>

17. **Petrea Ș. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Lupoae P., Plăcintă S., Coadă M. T., Enache M., ***A comparison of nitrate level in spinach grown both under different densities in aquaponic system and under natural growth conditions***, The 6th International Symposium EUROALIMENT, CSSD UDJ Galați, 3-5 Octombrie 2013.
<http://www.euroaliment.ugal.ro/Programme%20EuroAliment%202013.pdf>
18. Crețu M., Cristea V., Dediu L., **Petrea Ș. M.**, ***The influence of different stocking densities on biochemical composition of rainbow trout meat reared in a recirculating aquaculture system***, The 6th International Symposium EUROALIMENT, CSSD UDJ Galați, 3-5 Octombrie 2013.
<http://www.euroaliment.ugal.ro/Programme%20EuroAliment%202013.pdf>
19. Coadă M. T., Patriche N., Cristea V., Bocioc E., Placinta S., Enache M., **Petrea Ș. M.**, ***The evaluation of catch-up growth potential at juvenile paddlefish *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792) reared in a recirculating aquaculture system***, The 6th International Symposium EUROALIMENT, CSSD UDJ Galați, 3-5 Octombrie 2013.
<http://www.euroaliment.ugal.ro/Programme%20EuroAliment%202013.pdf>
20. Plăcintă S., Cristea V., Coadă M. T., **Petrea Ș. M.**, Mocanu (Crețu) M., Bocioc E., ***The influence of light on growth performance of juvenile catfish (*Silurus glanis*, L., 1758) reared in a recirculating aquaculture system***, The 6th International Symposium EUROALIMENT, CSSD UDJ Galați, 3-5 Octombrie 2013.
<http://www.euroaliment.ugal.ro/Programme%20EuroAliment%202013.pdf>
21. **Petrea Ș. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Ion (Plăcintă) S., Mocanu (Crețu) M., Antache A., ***Study of nitrogen cycle in an integrated aquaponic system with different plant densities***, Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Animal Science and Biotechnologies, 2013.
22. **Petrea Ș. M.**, Cristea V., Dediu L., Contoman M., Lupoae P., Mocanu (Crețu) M., Coadă M. T., ***Vegetable production in an integrated aquaponic system with rainbow trout and spinach*** The 12th International Symposium PROSPECTS FOR 3rd MILLENNIUM AGRICULTURE 26 - 28 September, 2013 Cluj-Napoca,.
http://www.edumanager.ro/docs/program_simpozion.pdf
23. Antache A., Cristea V., Dediu L., Vasilean I., **Petrea Ș. M.**, Coadă M. T.; ***The growth performance of *Oreochromis niloticus* reared in a recirculating aquaculture system in condition of some phytobiotics administered in feed***, The 12th International Symposium PROSPECTS FOR 3rd MILLENNIUM AGRICULTURE 26 - 28 September, 2013 Cluj-Napoca,.
http://www.edumanager.ro/docs/program_simpozion.pdf
24. Mocanu (Crețu) M., Cristea V., Dediu L., **Petrea Ș. M.**, ***Effect of feeding frequency on body composition of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum, 1792)***, The 12th International Symposium PROSPECTS FOR 3rd MILLENNIUM AGRICULTURE 26 - 28 September, 2013 Cluj-Napoca,.
http://www.edumanager.ro/docs/program_simpozion.pdf
25. Dicu (Stroe) M. D., Cristea V., Maereanu M., Dediu L., **Petrea Ș. M.**, ***Effect of stocking density on growth performance and hematological profile of stellate sturgeon (*A. stellatus*, Pallas, 1771) fingerlings reared in an industrial „flow-through” aquaculture system***, The 12th International Symposium PROSPECTS FOR 3rd MILLENNIUM AGRICULTURE 26 - 28 September, 2013 Cluj-Napoca,.
http://www.edumanager.ro/docs/program_simpozion.pdf
26. Mirea (Ciortan) C., Cristea V., **Petrea Ș. M.**, Antache A. Plăcintă S., ***Hematological and blood biochemical characterization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*, L., 1758) fed with an additive feed, vitamin C, in a recirculating aquaculture system***, The 12th

International Symposium PROSPECTS FOR 3rd MILLENNIUM AGRICULTURE 26 - 28 September, 2013 Cluj-Napoca,.

http://www.edumanager.ro/docs/program_simpozion.pdf .

27. Antache A., Cristea V., Grecu I., Dediu L., Mocanu (Crețu) M., Plăcintă (Ion) S., **Petrea Ș. M.**, *The effects of some phytobiotics on biochemical composition of Oreochromis niloticus meat reared in a recirculating aquaculture system*, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2013" USAB Timișoara, 30-31 Mai 2013.
[http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion2013/ISSBAR%202013%20Scientific%20Programme\(1\).pdf](http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion2013/ISSBAR%202013%20Scientific%20Programme(1).pdf)
28. Dicu (Stroe) M. D., Cristea V., **Petrea Ș. M.**, Plăcintă S., Coadă M. T., Mirea (Ciortan) C., *Effects of different levels of dietary vitamins C on growth performance of stellate sturgeon (Acipenser stellatus, Pallas, 1771)*, Simpozionul internațional "Bioengineering of animal resources 2013" USAB Timișoara, 30-31 Mai 2013. [http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion2013/ISSBAR%202013%20Scientific%20Programme\(1\).pdf](http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion2013/ISSBAR%202013%20Scientific%20Programme(1).pdf)
29. **Petrea Ș. M.**, Cristea V., *The development of certain types of aquaponic sub-systems, integrated among recirculating industrial aquaculture systems*, Conferința Științifică a Școlii Doctorale din UDJG 2013, ediția I, Galați, 16-17 Mai 2013.
30. Antache A., Cristea V., Dediu L., Grecu I., Docan A., Vasilean I., Mocanu (Crețu) M., **Petrea Ș. M.**, *The influence of some phytobiotics on growth performance at Oreochromis niloticus reared in an intensive recirculating aquaculture system*, Scientific Papers, Animal Science Series - Vol. 60, USAMV Iași, Faculty of Animal Sciences, 2013.
http://www.uaiasi.ro/revista_zoo/index.php?lang=ro&pagina=pagini/Vol-60/Alina_Antache.html
31. Dicu (Stroe) M. D., Cristea V., Dediu L., Maereanu M., **Petrea Ș. M.**, *The influence of feeding frequency on growth performance and meat quality of A. Stellatus (Pallas, 1771) species, growth in a recirculating aquaculture system*, Scientific Papers, Animal Science Series - Vol. 60, USAMV Iași, Faculty of Animal Sciences, 2013.
32. Mirea (Ciortan) C., Cristea V., Dediu L., Mocanu (Crețu) M., Dicu (Stroe) D. M., **Petrea Ș. M.**, *Determining the potential of compensatory growth of Nile tilapia (Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758) in a recirculating Aquaculture system*, Scientific Papers, Animal Science Series - Vol. 60, USAMV Iași, Faculty of Animal Sciences, 2013.
33. Dicu M. D., Cristea V., Dediu L., Mocanu (Crețu) M., **Petrea Ș. M.**, Popescu A., *Preliminary results about growth performance and food conversion ratio of Acipenser stellatus juveniles, fed with different dietary protein levels*, International Scientific Symposium „Bioengineering of Animal Resources”, Timișoara, published by USAMVBT, 24-25 Mai 2012.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Symposium_program_Timisoara2012_5.pdf
34. **Petrea Ș. M.**, Kurtoğlu I. Z., Kayis Ș., Cristea V., Metaxa I., Coadă M. T., Ion (Plăcintă) S., *Economic situation of fish farming in southeastern coast of the Black Sea*, International Scientific Symposium „Bioengineering of Animal Resources”, Timișoara, published by USAMVBT, 24-25 Mai 2012.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Symposium_program_Timisoara2012_5.pdf

35. Coadă M. T., Patriche N., Cristea V., Antache A., Ion (Plăcintă) S., Mocanu (Crețu) M., **Petrea Ș. M.**, *The effect of feeding with different dietary protein levels on haematological profile and leukocytes population of juvenile paddlefish (*Polyodon spathula*)*; International Scientific Symposium „Bioengineering of Animal Resources”, Timișoara, published by USAMVBT, 24-25 Mai 2012.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Symposium_program_Timisoara2012_5.pdf
36. Ion (Plăcintă) S., Cristea V., Mocanu (Crețu) M., Antache A., Coadă M. T., **Petrea Ș. M.**, *Effects of dietary vitamin C supplementation on growth performance and tissue chemical composition of *Silurus glanis* (Linnaeus, 1578)*; International Scientific Symposium „Bioengineering of Animal Resources”, Timișoara, published by USAMVBT, 24-25 Mai 2012.
http://www.usab-tm.ro/utilizatori/ZOOTEHNIE/file/simpozion%202012/Symposium_program_Timisoara2012_5.pdf
37. **Petrea Ș. M.**, Kurtoğlu I. Z., Kayis Ş., Cristea V., Metaxa I., Coadă M. T., *An analyse of coastal marine aquaculture in southeastern part of the Black Sea*, International Scientific Symposium “Modern Zootechny, Factor of Sustainable Development”, Animal Science Series, Iași, published by USAMV Iași, 26-27 Aprilie 2012.
38. Plăcintă (Ion) S., Cristea V., Grecu I. R., Mocanu (Crețu) M., Coadă M. T., Antache A., Bocioc E., **Petrea Ș. M.**, *The influence of stocking density on *Silurus glanis* (Linnaeus, 1758) growth performance in a recirculating aquaculture system*, International Scientific Symposium “Modern Zootechny, Factor of Sustainable Development”, Animal Science Series, Iași, published by USAMV Iași, 26-27 Aprilie 2012.
39. Oancea I., **Petrea Ș. M.**, Metaxa I., *The status of mollusc catches, in the last decade, over the Black Sea area*, Second NACEE Conference of Young Researchers, Szarvas, Hungary, published by HAKI, 2012.
http://www.haki.hu/dokumentumok/dir5/718_56_Proceedings.pdf

BIBLIOGRAFIE

- [1] Food and Agriculture Organization. 2012. "The State of Food Insecurity in the World 2012" <http://www.fao.org/docrep/016/i3027e/i3027e00.htm>;
<http://www.worldhunger.org/articles/Learn/world%20hunger%20facts%202002.htm>
- [2] Food and Agriculture Organization, International Fund for Agricultural Development, World Food Program. 2002 "Reducing Poverty and Hunger, the Critical Role of Financing for Food, Agriculture, and Rural Development
- [3] Petrea, Șt. M., Kurtoğlu, I. Z., Kayis, Ş., Cristea, V., Metaxa, I., Coadă, M.T., Ion (Plăcinta), S., *Economic Situation of Fish Farming in Southeastern Coast of the Black Sea*; Scientific Papers: Animal Science And Biotechnologies, Vol.45(2), 2012, Pages78-87
- [4] <http://gillingsproject.wordpress.com/aquaponics-and-sustainable-aquaculture/>
- [5] <http://www.aquanue.com/aquanue-journal/2013/3/20/the-case-for-investing-in-aquaculture.html>
- [6] <http://www.aquanue.com/aquanue-journal/2013/3/4/no-slowng-growth-in-aquaculture.html#.VGFK3vmUdbK>
- [7] <http://www.fao.org/docrep/005/y7300e/y7300e08.htm>
- [8] Oancea, I., Petrea, Șt. M., Metaxa, I.; *The status of mollusc catches, in the last decade, over the Black Sea area*; 30-31 August 2010; Second NACEE Conference of Young Researchers - Szarvas, Hungary, published by HAKI, 2010, Szarvas http://www.haki.hu/dokumentumok/dir5/718_56_Proceedings.pdf
- [9] Enache, I., *Cercetări privind evaluarea plasticității tehnologice a puietului de crap Cyprinus Carpio (Linnaeus 1758) în condițiile unui sistem recirculant de acvacultură industrială*, Teza de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 2012.
- [10] <http://www.fao.org/docrep/003/ab412e/ab412e07.htm>
- [11] Cristea, V., Ceapă, C., Grecu I. *Ingineria sistemelor recirculante din acvacultură*, Editura Didactica si Pedagogica R.A., 2002, București,
- [12] *Overview - Aquaculture & Planning Approval Process, NSW Land Based Sustainable Aquaculture Strategy, State of New South Wales through Industry & Investment NSW*, Published by Industry & Investment NSW, 2009. Pages1-15.
- [13] http://www.aquacatalyst.ca/?page_id=971
- [14] Petrea, Șt.M., Kurtoglu, I.Z., Kayis, Ş., Cristea, V., Metaxa, I., and Coadă, M. T. *An analyse of Coastal Marine Aquaculture in Southeastern part of the Black Sea*; „Scientific Papers, Animal Science Series” Usamv Iasi-Vol. 58(17), 2012; Pages 311-317
- [15] <http://www.depi.vic.gov.au/fishing-and-hunting/fisheries/moving-and-stocking-live-aquatic-organisms/translocation-protocol-for-commercial-freshwater-open-aquaculture-systems>
- [16] Martinsa, C.I.M., Edinga, E.H., Verdegema, M.C.J., Heinsbroeka, L.T.N., Schneiderc, O., Blanchetond, J.P., Roque d'Orbcasteld, E. and Verretha, J.A.J., *New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability*, Aquacultural Engineering, Volume 43, 2010, Issue 3, Pages 83-93
- [17] Rosenthal, H., 1980. *Recirculation systems in western europe*. World Symposium on Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation System, Stavanger, Institut für Kuesten-und Binnefischerei, Bundesforschungsanstalt Hamburg, BRD.
- [18] Verreth, J. A. J., Eding, E. H., *European Farming Industry of African Catfish (Clarias gariepinus) Facts and Figures*. J. World Aquacult. Soc. 24, 1993, Pages 6-13
- [19] Martins, C.I.M., Eding E.H., Schneider O., Rasmussen R., Olesen B., Plesner,L., Verreth, J.A.J., 2005. *Recirculation Aquaculture Systems in Europe*. CONSENSUS. Oostende, Belgium, Consensus working Group, European Aquaculture Society. Page 31
- [20] Bergheim, A., Drengstig, A., Ulgenes, Y. and Fivelstad, S., *Dominating Systems for Production of Atlantic Salmon Smolt in Europe Proceedings*, Aquacultural Engineering Society's Fourth, Issues Forum, 2008, Pages 59-72.
- [21] Bergheim, A., Drengstig, A., Ulgenes, Y., Fivelstad, S.,. *Production of Atlantic salmon smolts in Europe-Current characteristics and future trends*. Aquacult. Eng., Volume 41, 2009, Pages 46-52.

- [22] Kristensen, T., Åtland, Å., Rosten, T., Urke, H. A., Rosseland, B. O., *Important influent-water quality parameters at freshwater production systems in two salmon producing countries*. Aquacult. Eng. Volume 41, 2009, Pages 53-59
- [23] Heinen, J.M., Hankins, J.A., Adler, P.R., *Water quality and waste production in a recirculating trout-culture system with feeding of a higher-energy or a lower-energy diet*. Aquacult. Res. Volume 27, 1996, Pages 699-710.
- [24] Grozea A., (2007). Elemente de Acvacultură, Ed. Eurobit, Timișoara, Page 130.
- [25] Plăcintă (Ion), S., Cristea, V., Coadă, M. T., **Petrea, Șt. M.**; *Hematological Profile of Juvenile European catfish (Silurus glanis) Reared under Different Stocking Densities in Recirculating System Conditions*; Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies, Vol. 47 (1), 2014, Pages 239–244
- [26] Crețu, M., Cristea, V., Dediu, L., **Petrea, Șt. M.** *The influence of different stocking densities on biochemical composition of rainbow trout meat reared in a recirculating aquaculture system*; Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies, Vol. 47(1), 2014, Pages 200-204.
- [27] Cristea, V. Mocanu (Crețu), M., Antache A. Docan A., Dediu L., Ion (Placinta) P. and Coadă M. T., *Effect of Stocking Density on Leuckocyte Reaction of Oncorhynchus mykiss (Walbaum, 1792)*, Animal Science and Biotechnologies, Volume 45 (2), 2012, Pages 31-36.
- [28] Dorojan, O. G., Cristea, V., Placinta S., **Petrea, Șt. M.**, *The influence of some phytobiotiques (thyme, underbrush) on growth performance of stellate sturgeon (A. stellatus, Pallas, 1771) in an industrial recirculating aquaculture system*; Bioengineering of animal resources Symposium; Animal Science and Biotechnologies, 47 (1), 2014, Pages:205–210.
- [29] Dicu (Stroe), M.D., Cristea, V., Maereanu, M., Dediu, L. and **Petrea, Șt.M.**; *Effect of stocking density on growth performance and hematological profile of stellate sturgeon (A. stellatus, Pallas, 1771) fingerlings reared in an industrial „flow-through” aquaculture system*; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies, Vol. 70(2), 2013, Pages 244-254;
- [30] Ion (Plăcintă), S., Cristea, V., Grecu, I. R., Mocanu (Crețu), M., Coadă, M.T., Antache, A., Bocioc, E., **Petrea, Șt.M.**; *The Influence of Stocking Density on Silurus Glanis (Linnaeus, 1758) Growth Performance in a Recirculating Aquaculture System*; Scientific Papers, Animal Science Series” Usamv Iasi-Vol. 58(17), 2012; Pages: 306-310.
- [31] Boyd, C.E. and Tucker, C.S., *Pond Aquaculture Water Quality Management*. Kluwer . Academic Publishers. USA, 1998.
- [32] Dicu, M. D., Cristea, V., Dediu, L., Mocanu, (Crețu) M., **Petrea, Șt. M.**, Popescu, A.; *Preliminary Results about Growth Performance and Food Conversion Ratio of Acipenser stellatus juveniles, Fed with Different Dietary Protein Levels* Scientific Papers: Animal Science And Biotechnologies, Vol. 45 (2), 2012, Pages 37-42.
- [33] Piper, R.G., McElwain, I.B., Orme, L.E. McCraren, J.P., Fowler, L.G. and Leonard, J.R., *Fish hatchery management*, U.S. Fish and Wildlife Service. Washington, D.C., 1982.
- [34] Antache, A, Cristea, V., Dediu, L., Grecu, I., Docan, A., Vasilean, I., Mocanu, (Crețu) M., **Petrea, Șt.M.** *The influence of some phytobiotics on growth performance at Oreochromis niloticus reared in an intensive recirculating aquaculture system*. Scientific Papers, Animal Science Series USAMV-Iasi, Vol. 60 (18), 2013, Pages: 204-208
- [35] Pagand, P., Blancheton, P., Casellas, C., *A model for predicting the quantities of dissolved inorganic nitrogen released in effluents from a sea bass (Dicentrarchus labrax) recirculating water system*; Aquacultural Engineering, No. 22, 2000, Pages 137-153.
- [36] Wilkie, M., *Mechanisms of Ammonia Excretion Across Fish Gills*, Comp. Biochem. Physiol. Volume. 118A, No. 1, 1997, Page: 39-50
- [37] Pruszyński, T., *Effects of feeding on ammonium excretion and growth of the African catfish (Clarias gariepinus) fry*, Czech J. Anim. Sci., No.48, 2003, Pages 106-112.
- [38] Kelly, L.A., Bergheim, A., Hennessy, M.M.; *Predicting output of ammonium for fish farms*; Wat. Res. J., Volume.28, no.6, 1994, Pages 1403 – 1405.
- [39] Fernandes, M., Lauer, P., Cheshire, A., Angove, M., *Preliminary model nitrogen loads from southern Bluefin tuna aquaculture*, Marine Pollution Bulletin, No. 54, 2007, Pages 1321-1322.

- [40] Thomas, S. L., Piedrahita, R.H., *Apparent ammonia-nitrogen production rates of white sturgeon (acipenser transmontanus) in commercial aquaculture systems*, Aquacultural Engineering, No. 17, 1998, Pages 45-55.
- [41] Hutchinson, W., Jeffrey, M., O'Sullivan, D., Casement, D., Clarke, S., *Recirculating Aquaculture Systems: Minimum Standards for Design, Construction and Management*, Inland Aquaculture Association of South Australia Inc. 2004, Pages: 1-78.
- [42] Twarowska, J., Westerman, P. W., Losordo, Th. M., *Water treatment and waste characterization evaluation of an intensive recirculating fish production system*, Aquacultural Engineering J., No.16, 1997, Pages 133-147.
- [43] Libey, G.S.; *Evaluation of a drum filter for removal of solids from a recirculating aquaculture system*; Technique for modern aquaculture. Proc. of an aquaculture engineering conf. Spokane, WAASAE, St. Joseph MI, 1993, Pages 519-532.
- [44] Scott, K.R., Allard, L; *A four tank water recirculation system with a hydrocyclone prefilter and a single water reconditioning unit*. Prog. Fish. Cult, No. 46, 254-261.
- [45] Franco-Nava, M.A., Blancheton, J.P., Deviller, G., Charrier, A., Le-Gall, J.Y., *Effect of fish size and regime on particulate organic matter dynamic in a recirculating aquaculture system: elemental carbon and nitrogen approach*, Aquaculture, No. 239, 2004, Pages 179-198.
- [46] Whhetaton, F., Hochheimer, J., Kaiser, G.E.; *Fixed film nitrification filters for aquaculture*” In: D.I.Brune and J.R. Thomasso (Editors), Aquaculture and water quality, World Aquacult. Soc., Baton Rouge, LA, 1991, pp.272-303. Reviewed in J.Van Rijn, 1996. - „The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture – A review”, Aquaculture, 139, Pages 181-201.
- [47] South African Water Quality Guidelines; Volume 6: Agricultural Water Use: Aquaculture Second Edition, Department of Water Affairs & Forestry, 1996, Pages: 31-109.
- [48] <http://www.wri.org/blog/2013/12/global-food-challenge-explained-18-graphics>
- [49] Viadero, R.C., Noblet, J.A., „*Membrane filtration for removal of fine solids from aquaculture process water*”, Aquacult. Eng. 26, 2002, Pages 151–169.
- [50] Sharrer, M. J., Tal, Y., Ferrier, D., Hankins, J. A., Summerfelt, S.T., „*Membrane biological reactor treatment of a saline backwash flow from a recirculating aquaculture system*”, Aquacultural Engineering, Vol. 36, 2007, Pages 159-176.
- [51] Wendland, C., Andrea, A., *Sisteme de epurare durabilă și eficientă a apelor reziduale din comunitățile rurale și suburbane cu până la 10,000 PE*, WECF, 2010., Page 35.
- [52] Proffitt, G., *Effluent water treatment: Constructed wetlands*, Manual on effluent treatment in aquaculture, www.aquaetreat.org , 2006, Pages: 53-67.
- [53] Tanner, C., Champion, P.,D., Kloosterman, V., *New Zealand Constructed Wetland Planting Guidelines*, 2006, Page 25.
- [54] Vymazal, Jan, *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment- A Review*”, Water , Vol.2, 2010, Pages: 530-549.
- [55] Kadlec, R.H., *Overview: Surface Flow Constructed Wetlands*, In Proceedings of the 4th International Conference Wetland Systems for Water Pollution Control; ICWS Secretariat: Guangzhou, China, 1994, Pages 1-12.
- [56] Vymazal, J., *Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands for wastewater treatment*, Ecol. Eng., Vol. 25, 2005, Pages 478-490.
- [57] Reed, S.C., Crites, R.W., Middlebrooks, E.J., *Natural Systems for Waste Management and Treatment* 2 ed. 1995, „McGraw Hill, Inc. USA.
- [58] Endut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B., Hassan, A., *A Study On The Optimal Hydraulic Loading Rate And Plant Ratios In Recirculation Aquaponic System*. Bioresource Technology 101; 2010, Pages 1511–1517.
- [59] Rakocy, J., E., Hargreaves, J., A. and Bailey, O., S., *Effects of hydroponic vegetable production on water quality in a closed recirculating system*. J.World Aquacul. Soc., 20, 1989, 64A.
- [60] Adler, P., R., Summerfelt, S., T., Glenn, D., M., and Takeda, F., *Mechanistic approach to phytoremediation of water*. Ecol. Eng., 20, 2003, Pages 251–264.
- [61] Dushenkov, V., Kumar, P.B.A.N., Motto, H. and Raskin, L., *Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams*. Environ. Sci. Tech., 19 (1995) Pages 1239–1245.

- [62] Naegel, L.C.A., *Combined production of fish and plants in a recirculating water*, Aquaculture 10, 1977, Pages 10-24.
- [63] Pierce, B., *Water re-uses aquaculture systems in two green houses in northern Vermont*, Proc. World Maric. Soc., 1980, Pages 118-127.
- [64] Lewis, W., M. and Sutton, R., J, *Further observation on fish production system that incorporated hydroponically grown plants*, Prog. Fish Cult. 44 (1). 1982, Pages 55-59.
- [65] Hassall & Associates, *Hydroponics as an Agricultural Production System*. RIRDC Publication No 01/141 RIRDC Project No HAS-9A. 2001.
- [66] Savidov, N., 2003, *Aquaponics, An Environmentally Friendly Production System*, Agri-News.
- [67] Aquaponics Research Project *The relevance of aquaponics to the New aid programme, particularly in the Pacific Commissioned Report*, Hambrey Consulting - New Zealand Aid Programme Ministry of Foreign Affairs and Trade - December 2013, Pages 1-96.
- [68] <http://en.wikipedia.org/wiki/Aquaponics#History>
- [69] Rakocy, J., Bailey E., Donald S., Shultz, R., Thoman, C., Eric, S., *Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponic System*. University of the Virgin Islands Agricultural Experiment Station. Retrieved 11 March 2013.
- [70] Boutwelluc, J., (December 15, 2007). "Aztecs' aquaponics revamped". *Napa Valley Register*. Retrieved April 24, 2013.
- [71] Rogosa, E., *How does aquaponics work?* Retrieved April 24, 2013.
- [72] Palagri, P., *Ottimizzazione della nutrizione del basilico in fuori suolo*. BSc thesis, Tuscia University, Italy., 2004 - Parvej,H., 2008, Personal communication. Actionaid Bangladesh. Dhaka, Bangladesh.
- [73] Trang, N.T.D., Schierup, H.H., Brix, H., *Leaf vegetables for use in integratet hydroponics and aquaculture systems; Effects of root flooding on growth, mineral composition and nutrient uptake*, African Journal of Biotechnology, Vol. 9(27), 2010, Pages 4186-4195.
- [74] Timmons, M.B., Ebeling, J.M., Wheaton, F.W., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., *Recirculating Aquaculture Systems* -2nd Edition, Pub. No 01-002, Cayaga Aqua Ventures – N. Y.
- [75] Diver, S., *Aquaponics – Integration of Hydroponics With Aquaculture*, Publicatoin ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service, 2006, Pages 1-26.
- [76] Graber, A., Junge, R.; *Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production*. Science Direct, Desalination 246, 2009;: Pages 147–156
- [77] Blidariu, F., Grozea, A., *Increasing The Economical Efficiency And Sustainability Of Indoor Fish Farming By Means Of Aquaponics– Review*; Animal Science And Biotechnologies, No. 44 (2), 2011, Pages 1-8.
- [78] Villarroel, M., Alvario, J.M.R. and Duran, J., M., *Aquaponics: integrating fish feeding rates and ion waste production for strawberry hydroponics*. Spanish Journal of Agricultural Research 9(2), 2011, Pages 537-545.
- [79] Hanson, A., Yabes J., Jr., Primavera, L.P., *Cultivation of Lemon Basil, Ocimum americanum, in two different hydroponic configurations supplemented with various concentrations of Tilapia aquaculture green water*, Bios, No.79(3), 2008, Pages: 92-102
- [80] Sinemus, M., *Aquaponics In Developing Countries*, Engr0011 Schaub, 4:00 R10 Pages 1-6
- [81] Goodman, E., "Aquaponics: Community and Economic Development." *Massachusetts Institute of Technology*. (Online article). <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/67227>. p. 13.
- [82] Nelson J., Zeratsky K., "Catfish and tilapia: Healthy or harmful." *Mayo Clinic*. (Online article). <http://www.mayoclinic.com/health/tilapia/MY00167>, 2011, Page 1.
- [83] AL-Hafedh, Y., S., Alam, A., Beltagi, M.S., *Food Production and WaterConservation in a Recirculating Aquaponic System in Saudi Arabia at Different Ratiosof Fish Feed to Plants*.Journal of the World Aquaculture Society Volume.39, No.4, 2008, Pages 510-522.
- [84] Fox, B., *Toward Lower-Cost, More Reliable, Pacific-Friendly Aquaponics Systems. Presentation to the Expert Consultation: Aquaponics for the Pacific Islands Region: Review of Opportunities and Constraints Secretariat of the Pacific Community Aquaculture*. Rarotonga, Cook Islands, September 23rd-27th, 2013,
- [85] Lennard "Fact sheet" - fish : plant ratios www.aquaponicsolutions.com.
- [86] Savidov, N., *Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta*. Phase II. Final Report - Project #2004-67905621; 2005.

- [87] Rakocy, J., E., Masser, M., P., Losordo, T., M., *Recirculating aquaculture tank production system: Aquaponics- Integrating fish and plant culture*, SRAC Publication, No.454, 2006, Pages 1-16.
- [88] Davidson, J. and Summerfelt, S.T. Solids removal from a coldwater recirculating system—comparison of a swirl separator and a radial-flow settler. *Aquacultural Engineering* Volume 33, 2005. Pages 47–61.
- [89] Rakocy, J.E., *Aquaponics, integrating fish and plant culture*. In: Simmons, T.B., Ebeling, J.M., *Recirculating aquaculture*. Cayuga aqua ventures, Ithaca, NY – USA, 2007, Pages 767- 826
- [90] Zweig, R.D., An integrated fish culture hydroponic vegetable production system. *Aqua. Mag.* Volume 12 No.3, 1986, Pages 34–40.
- [91] Rakocy, J.E., *Vegetable hydroponics and fish culture: a productive interphase*. *World Aqua.* Volume 20 No.3, 1989, Pages 42–47.
- [92] Jensen, M.H., Collins, W.L., Hydroponic vegetable production. *Hort. Rev.* 7, 1985, Pages 483–558.
- [93] <http://townaquaponics.blogspot.ro/>
- [94] Rajeev, S., Changfoot, A., BestGROW Greenhouses Ltd. – *Development of hydroponic greenhouse for lettuce production in Alberta*, Fundamental Research Corp., Investment Analysis for Intelligent Investors, 2012.
- [95] Jensen, M.H., *Deep Flow Hydroponics - Past, Present and Future* , Proceedings of the 30th National Agricultural Plastics Congress, San Diego, CA, American Society for Plasticulture, February 23 – 26, Paper #P – 125933 – 12 – 01, 2002, Pages 40 – 46.
- [96] Tyson, R.V., Hochmuth, R., Cantlife, D.J., *Hydroponic Vegetable Production in Florida*, University of Florida Extension, Publication #HS405, 2010,.
- [97] Roberto, K., *How-To Hydroponics*, Fourth Edition, The Futuregarden Press a division of Futuregarden, Inc., 2003.
- [98] Ramos, C.L., Aquaponic Farm Update: BoFish, Guadalajara, Mexico, *Aquaponics Journal* 47, 2007, Pages 38 – 39.
- [99] Martan, E., *Polyculture of fishes in aquaponics and Recirculating Aquaculture*, *Aquaponics Journal* Issue #48, 2008, Pages 28-33.
- [100] Coolong, T., Hydroponic Lettuce, UK Cooperative extension service, University of Kentucky-College of Agriculture, 2012.
- [101] Mukherjee, S., *Concept Note: Aquaponics systems and technologies*, Sankalpa Research Center SRC/ATD/AP.01 Revision 1, 2011.
- [102] <http://blog.aquaponicssystems.com/search/label/biofilter>
- [103] http://www.simplyhydro.com/n_f_t_.htm
- [104] Leoni, S., *Colture Senza Suolo in Ambiente Mediterraneo. Le Nuove Tecniche per L'orticoltura e la Floricoltura da Serra*. Edagricole, Bologna, Italy. 2003, Page 278.
- [105] <http://hydroponics-info.blogspot.ro/2011/05/photo-of-hydroponics-farm.html>
- [106] <http://community.theaquaponicsource.com/photo/my-first-nft-system>
- [107] <http://120thingsin20years.blogspot.ro/2011/08/aquaponics-blocked-nft-test-tube.html>
- [108] <http://community.theaquaponicsource.com/photo/my-first-nft-system>
- [109] Koohakan P. Jeanaksorn T. și Nuntagij I., *Major Diseases of Lettuce Grown by Commercial Nutrient Film Technique in Thailand*, KMITL Sci. Tech. J., Volume. 8 No. 2, 2008.
- [110] Jones, B. Jr., *Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponics* 101, 2002.
- [111] Meade, A., *Soilless lettuce in the South Pacific*, *The Growing Edge* 13(4), 2002, Pages 40-43.
- [112] Monneta, F., Vaillant, N., Hitmia, A., Vernaya, P., Coudretb, A., Sallanonb, H., 2002, *Treatment of domestic wastewater using the nutrient film technique (NFT) to produce horticultural roses*, *Water Research* 36, 2002, Pages 3489–3496.
- [113] Puerta, A., R., Sato, S., Shinohara, Y., Maruo, T., *A Modified Nutrient Film Technique System Offers a More Uniform Nutrient Supply to Plants*, *HorTechnology*, Volume 17(2), 2007.
- [114] Zekki, H., Gauthier, L., și Gosselin, A., Growth, Productivity, and Mineral Composition of Hydroponically Cultivated Greenhouse Tomatoes, with or without Nutrient Solution Recycling, *J. AMER. SOC. HORT. SCI.* Volume 121(6), 1996, Pages 1082–1088.
- [115] Lacheta, A., *The future of food*, *WellBeing Natural Health & Living News*, 2010.
- [116] Wahome, P.K., Oseni, T.O., Masarirambi, M.T. and Shongwe, V.D., *Effects of Different Hydroponics Systems and Growing Media on the Vegetative Growth, Yield and Cut Flower Quality of*

Gypsophila (*Gypsophila paniculata* L.), World Journal of Agricultural Sciences Volume 7 (6), 2011, Pages 692-698.

[117] Bradley K. Fox, Robert Howerton, and Clyde S. Tamaru, *Construction of Automatic Bell Siphons for Backyard Aquaponic Systems* Biotechnology, June BIO-10, 2010, Pages 1-11.

[118] Abou-Hadid, A. F., El-Behairy U. A., *Soilless Culture, a Tool for Maximizing the Utilization of Arid Land Resources*, Arid Land Agricultural Research Laboratories, Faculty of Agriculture, in Shams University, 1999.

[119] Mader J., *Plant Growth in Aquaponic System through Comparison of Different Plant Media*, Westover Honors Program April. 2012.

[120] Ferguson, O., *Aqua-ecology: the relationship between water, animals, plants, people and their environment*. Rodale's Network, Summer, Rodale Press, Emmaus, PA, 1982.

[121] McMurtry, M.R., Nelson, P.V., Sanders, D.C. Hughes, L., *Sand culture of vegetables using recirculating aquaculture effluents*. J. Appl. Agric. Res. Volume 5(4), 1990, Pages 280–284.

[122] Ghazvini, F., Payvas, R. G. and Azarian, H., *Effect of Clinoptilolitic-zeolite and Perlite Mixtures on the Yield and Quality of Strawberry in Soil-less Culture*, Hort. Sci, 2007, Pages 885-888.

[123] http://3x5aquaponics.blogspot.ro/2011_05_01_archive.html

[124] <https://aquaponicsusa.wordpress.com/2011/11/>

[125] Wilson, A., Lennard, C., Brian, V. Leonard, *A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique in an Aquaponic test system)*; Aquacult Int Springer Science, Business Media B.V., Volume 14, 2006, Pages 539–550.

[126] Lennard, W. and Leonard, B. *A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system*, Aquaculture International 12, Kluwer Academic Publishers, 2004, Pages. 539–553.

[127] Lewis, W.M., Yopp, J.H., Schramm, H.L. and Brandenburg, A.M. *Use of hydroponics to maintain quality of recirculated water in a fish culture system*. Transactions of the American Fish Society, Volume 197, 1978, Pages 92–99.

[128] Nair, A., Rakocy, J.E. and Hargreaves, J.A. *Water quality characteristics of a closed recirculation system for Tilapia culture and tomato hydroponics*. Second International Conference on WarmWater Aquaculture – Fin Fish. Proceedings of a conference, Hawaii, USA, 1985. Pages 223–254.

[129] McMurtry, M.R., Sanders, D.C., Patterson, R.P. and Nash, A. *Yield of tomato irrigated with recirculating aquacultural water*. Journal of Production Agriculture, Volume 6, 1993, Pages 429–432.

[130] Dediu, L., Cristea, V., Xiaoshua, Z.; *Waste Production And Valorization In An Integrated Aquaponic System With Bester And Lettuce*. African Journal Of Biotechnology, Vol. 11(9), 2012, Pages 2349-2358.

[131] Ionescu, D. G., *Introducere în mecanica fluidelor*, Editura Tehnică, România, 2005, Pages 123-158.

[132] Badea, G., *Instalații alimentare apă*, Editura Risoprint, România, 2008, Pages 91-102.

[133] Endut A., Jusoh A., Ali N., Wan Nik W.N.S., Hassan A., *Effect of flow rate on water quality parameters and plant growth of water spinach (Ipomoea aquatic) in an aquaponic recirculating system*, Desalination and Water J., 2009, No. 5, Pages 19-28.

[134] Rafiee, G., Che Roos, S.; *The Effect of Natural Zeolite (Clinoptilolite) on Aquaponic Production of Red Tilapia (Oreochromis sp.) and Lettuce (Lactuca sativa var. longifolia), and Improvement of Water Quality*; J. Agric. Sci. Technol., Volume 8, 2006, Pages 313-323.

[135] Rakocy, J.E., *A recirculating system for tilapia culture and vegetable hydroponics*, R.C. Smitherman and D. Tave (Eds.), Proceedings of the Auburn Symposium on Fisheries and Aquaculture, Auburn University, Auburn, AL., 1984, Pages 103 - 114.

[136] Watten, B.J., Busch, R.L., *Tropical production of tilapia (Sarotherodon aurea) and tomatoes (Lycopersicon esculentum) in a small-scale recirculating water system*. Aquaculture J., Volume 41, 1984, Pages 271–283.

[137] Pantanella, E., Cardarelli, M., Colla, G., Rea, E., Marcucci, A., *Aquaponics Vs Hydroponics: Production And Quality Of Lettuce Crop*, Isha Acta Horticulturae 927: XXVII International Horticultural Congress On Science And Horticulture For People (Ihc2020) International Symposium On Greenhouse 2010 And Soilless Cultivation, 2010, Pages 1-8.

[138] Schneder, O., *Fish waste management by conversion into heterotrophic bacteria biomass*, PhD. Thesis, Wageningen Univ. - The Netherlands, 2006, Pages 3-150.

- [139] Dicu (Stroe), M. D., Cristea, V., Dediu, L., Maereanu, M., **Petrea, Șt. M.**, *The influence of feeding frequency on growth performance and meat quality of A. Stellatus (Pallas,1771) species, growth in a recirculating aquaculture system*. Scientific Papers, Animal Science Series USAMV Iasi, Volume 60(18), 2013, Pages 193-198.
- [140] De Silva, S.S., Anderson, T.A., *Fish nutrition in aquaculture*. Chapman and Hall, London, UK, 1995, Pages 334.
- [141] Schnaittacher, G., King, W., Berlinsky, D.L., *The effect of feeding frequency on growth of juvenile Atlantic halibut, Hippoglossus hippoglossus*, Aquaculture International, Volume 36, 2005, Pages 370-377.
- [142] Aderolu, A. Z., Seriki, B. M., Apatira, A.L., Ajaegbo, C.U., *Effect of feeding frequency on growth, feed efficiency and economic viability of rearing African catfish (Clarias gariepinus, Burchell 1822) fingerlings and juveniles*, African Journal of Food Science, Volume 4(5), 2010, Pages 286-290.
- [143] Goddard, S., *Feeding management in intensive aquaculture*, Chapman and Hall, New York, 1996.
- [144] Mocanu (Cretu), M., Cristea, V., Dediu, L., **Petrea, Șt. M.** *Effect of feeding frequency on body composition of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss, Walbaum 1792)*; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science And Biotechnologies, Volume. 70(2), 2013, Pages 385-386.
- [145] Coadă, M. T., Patriche, N., Cristea, V., Antache, A., Ion (Plăcintă), S., Mocanu (Cretu), M., **Petrea, Șt. M.**, *The Effect of Feeding with Different Dietary Protein Levels on Haematological Profile and Leukocytes Population of Juvenile Paddlefish (Polyodon spathula)* Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies, Volume 45 (2), 2012, Pages 7-13.
- [146] Dicu (Stroe), M. D., Cristea, V., **Petrea, Șt. M.**, Plăcintă, S., Coadă, M. T., Mirea (Ciortan), C., *Effects of Different Levels of Dietary Vitamins C on Growth Performance of Stellate Sturgeon (Acipenser stellatus, Pallas)* Scientific Papers: Animal Science And Biotechnologies, Volume 46(2), 2013, Pages 244-249.
- [147] Verlhac, V. and Gabaudan, J., *The effect of vitamin C on fish health* -Nutritional Products DSM, 2006; <http://esal.wordpress.com/2009/09/28/the-effect-of-vitamin-c-on-fish-health/>.
- [148] Tyson, R.V., Simonne, E.H. and Treadwell, D.D. *Reconciling pH for Ammonia Biofiltration and Cucumber Yield in a Recirculating Aquaponic System with Perlite Biofilters*. Hortscience, Volume 43(3) 2008, Pages 719–724.
- [149] Sikawa, D., Yakupitiyage, A., *The hydroponic production of lettuce (Lactuca sativa L) by using hybrid catfish (Clarias macrocephalus×C. gariepinus) pond water: Potentials and constraints*; Agricultural Water Management, Volume 97, 2010, Pages 1317–1325.
- [150] Rakocy, J.E., Hargreaves, J.A., *Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A Review*. Wang, J.K. (Ed.), Techniques for Modern Aquaculture. American Society of Agricultural Engineers, Michigan, USA, 1993. Pages 112–136.
- [151] Rakocy, J.E, Losordo, T.M. and Masser, M.P., *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems. Integrating Fish and Plant Culture* SRAC Publication No. 454, Department of Agriculture, USA, 1992. Available from: <http://ag.arizona.edu/azaqua/extension/Classroom/SRAC/454fs.pdf>
- [152] Cripps, S. and Kumar, M., *Environmental and other impacts of aquaculture*. Lucas, J.S. and Southgate, P.C., eds., Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants, Blackwell, Oxford, 2003, Pages 74–99.
- [153] Nelson, E.B., *Microbial dynamic and interactions in the sphermosphere*. Ann. Rev. Phytopathol., Volume 42, 2004, Pages 271–309.
- [154] Viadero, R.C., Cunningham, J.H., Semmens, K.J. and Tierney, A.E., *Effluent and production impacts of flow through aquaculture operations in West Virginia*. Aquacul. Eng., Volume 33, 2005, Pages 258–270.
- [155] Bouzoun, J.R., Diener, C.J. and Butler, P.L., *Pilot-scale evaluation of the nutrient film technique for wastewater treatment*. US Army Corps of Engineers, Hanover, New Hampshire, 1982.
- [156] Ghaly, A.E., Kamal, M., Mahmoud, N.S., *Phytoremediation Of Aquaculture Wastewater For Water Recycling And Production Of Fish Feed*; Environment International, 2005, No. 31, Pages 1–13.
- [157] Ghaly, A.E. and Snow, A.M., *Use of barley for the purification of aquaculture wastewater in a hydroponics system*. Am. J. Environ. Sci., 4, 2008, Pages 89–102.
- [158] Jiang, Z. and Xinyuan, Z., *Treatment and utilization of wastewater in Beijing Zoo by an aquatic macrophytes system*. Ecol. Eng., 11, 1998, Pages 101–110.

- [159] Lin, Y.F., Jing, S.R., Lee, D.Y., and Wang, T.W., *Nutrient removal from aquaculture wastewater using a constructed wetlands system*, Aquaculture 209, 2002, Pages 169–184.
- [160] Rakocy, J., Thomas, M., Losordo, Michael, P. Masser; *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems Integrating Fish And Plant Culture*, SRAC, Publication, No.454, 1992, Pages 103.
- [161] Vaillant, N., Monnet, F., Sallanon, H., Coudret, A., and Hitmi, A., *Use of commercial plant species in a hydroponic system to treat domestic wastewaters*. J. Environ. Qual., Volume 33, 2004, Pages 695–702.
- [162] Schlesinger WH. Biogeochemistry: an analysis of global change. New York: Academic Press; 1996
- [163] Gloger, K.C., Rakocy, J.E., Conter, J.B., Bailey, D.S., Cole, W.M., Shultz, K.A., *Contribution of lettuce to wastewater treatment capacity of raft hydroponics in a closed recirculating fish culture system*. Timmons MB, editor. Aquacultural engineering and waste management . Proceedings from the Aquaculture Expo VIII and Aquaculture in the Mid-Atlantic Conference, Washington DC: 1995. Pages 272–300
- [164] Mant, C., Peterkin, J., May, E., Butler, J., *A feasibility study of a Salix viminalis gravel hydroponic system to renovate primary settled wastewater*. Bio- resource Technology, Volume 90, 2003, Pages 19–25.
- [165] Poxton, M.G. and Allouse, S.B., *Water quality criteria for marine fisheries*. Aquacul. Eng., 1, 1982, Pages 153–191.
- [166] Jo, J.Y., Ma J.S. and Kim, I.B., *Comparisons of four commonly used aquatic plants for removing nitrogen nutrients in the intensive bioproduction Korean (IBK) recirculating aquaculture system*. Proc. 3rd Intl. Conf. on Recirculating Aquaculture, Roanoke, VA, 2000.
- [167] Clarkson, R. and Lane, S.D., *Use of a small scale nutrient-film hydroponic technique to reduce mineral accumulation in aquarium water*. Aquacult. Fish. Manage., Volume 22, 1991, Pages 37–45
- [168] Lin, Y.F., Jing, S.R., and Lee, D.Y., *The potential use of constructed wetlands in a recirculating aquaculture system for shrimp culture*. Environ. Pollut., Volume 123, 2003, Pages 107–113.
- [169] Lin Y.F., Jing S.R. and Lee, D.Y., *Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate*, Environ. Poll., Volume 134, 2005, Pages 411–421.
- [170] Schulz, C., Gelbrecht, J. and Rennert, B., *Treatment of rainbow trout farm effluents in constructed wetland with emergent plants and subsurface horizontal water flow*. Aquacul., Volume 217, 2003, Pages 207–221.
- [171] Koottatep T. and Polprasert C., *Role of plant uptake on nitrogen removal in constructed wetlands located in the tropics*. Water Sci. Technol., Volume 36, 1997, Pages 1–8.
- [172] Wren SW *Comparison of hydroponic crop production techniques in a recirculating fish culture system*. MSc thesis, Texas A&M University, Texas, USA, 1984,
- [173] Goto, E., Both, A.J., Albright, L.D., Langhans, R.W., Leed, A.R., *Effect of dissolved oxygen concentration on lettuce growth in floating hydroponics*. Acta Horticulture (ISHS) 440, 1996, Pages 205–210.
- [174] Yoshida, S., Kitano, M., Eguchi, H., *Growth of lettuce plants (Lactuca sativa L.) under control of dissolved oxygen O₂ concentration in hydroponics*. Biotronics Volume 26, 1997, Pages 39–45.
- [175] <http://www.canadianaquaponics.com/2013/10/nutritional-supplements-for-aquaponics.html>
- [176] Hargreaves, J.A., Steeby, J., *Factors affecting metabolism of commercial channel catfish ponds as indicated by continuous dissolved oxygen measurement*. Journal of the World Aquaculture Society Volume 30, 1999. Pages 410–421.
- [177] Yi, Y., Lin, C.K., Diana, J.S., *Hybrid catfish (Clarias macrocephalus × Clarias gariepinus) and Nile tilapia (Oreochromis niloticus) culture in an integrated pen- cum-pond system: growth and performance and nutrient budgets*. Aquaculture Volume 217, 2003, Pages 395–408.
- [178] Seawright, D.E., Stickney, R.R., Walker, R.B., *Nutrient dynamics in integrated aquaculture hydroponic systems*. Aquaculture Volume 160, 1998, Pages 215–237.
- [179] Winsor, G., Adams, P., *Diagnosis of Mineral Disorders in Plants*. Ministry of Agriculture, Fisheries, and Food Agricultural and Food Research Council, Robinson, J.B.D. Ed., Glasshouse Crops, Vol. B., Her Majesty's Stationery Office, London, England, 1987, Page 168.
- [180] Dontje, J.H., Clanton, C.J., *Nutrient fate in aquacultural systems for waste treatment*. Transactions of the ASAE American Society of Agricultural Engineers Volume 42, 1999; Pages 1073–1085.
- [181] Marschner, H. *Mineral nutrition of high plants*. New York: Academic Press; 1988.

- [182] Quillere, I., Roux, L., Marie, D., Roux, Y., Gosse, F., Morot- Gaudry, J.F., *An artificial productive ecosystem based on a fish/bacteria/plant association*. 2. Performance, Agriculture, Ecosystems and Environment, No. 53, 1995, Pages 19-30.
- [183] Douglas, J.S., *Advanced Guide to Hydroponics*. Pelham Books, London, 1985. Pages 369.
- [184] Gerber, J.M., *Plant growth and nutrient formulas*. In: Savage, A.J. Ed. , *Hydroponics Worldwide: State of the Art in Soilless Crop Production*. International Center for Special Studies, Honolulu, Hawaii, 1985. Pages 58–69.
- [185] Antache, A., Cristea, V., Grecu, I., Dediu, L., Mocanu (Cretu), M., Ion (Placinta) S., **Petrea, Șt. M.**, *The Effects of some Phytobiotics on Biochemical Composition of Oreochromis niloticus Meat Reared in a Recirculating Aquaculture System*; Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies, Volume 46(1), 2014, Pages 238-243.
- [186] Suresh, V., Tilapias. Lucas, J.S. and Southgate, P.E., *Farming Aquatic Animals and Plants, Aquaculture*: BlackwellPublishingCo., Oxford, United Kingdom, 2003, Pages 321-345.
- [187] http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oreochromis_niloticus/en#tcNA00D9
- [188] Mirea (Ciortan), C., Cristea, V., Dediu, L., Mocanu (Cretu), M., Dicu (Stroe), D. M., **Petrea, Șt. M.**, *Determining the potential of compensatory growth of Nile Tilapia (Oreochromis niloticus, Linnaeus, 1758) in a recirculating Aquaculture system*. „Scientific Papers, Animal Science Series” - Volume. 60 (18), 2013, Pages 199-203.
- [189] Ion (Placinta), S., Cristea, V., Mocanu (Cretu), M., Antache, A., Coadă, M. T., **Petrea, Șt. M.**; *Effects of Dietary Vitamin C Supplementation on Growth Performance and Tissue Chemical Composition of Silurus Glanis (Linnaeus, 1578)*; Scientific Papers Animal Science And Biotechnologies, Volume 45(2), 2012, Pages 88-92.
- [190] Antache, A., Cristea, V., Grecu, I., Dediu, L., Cretu, M., **Petrea Șt. M.** *The influence of some phytobiotics on haematological and some biochemical indices at Oreochromis Niloticus – LINNAEUS, 1758*; Scientific Papers: Animal Science and Biotechnologies, 2014, Volume 47 (1), Pages 192-199.
- [191] Antache, A., Cristea, V., Grecu, I., Dediu, L., Vasilean, I., **Petrea, Șt. M.** Coadă, M. T., *The growth performance of oreochromis niloticus reared in a recirculating aquaculture system in condition of some phytobiotics administered in feed*; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science And Biotechnologies, Volume 70(1), 2013, Pages 185-186.
- [192] Chughtai, M.A., *Effect of water spinach (Ipomoea aquatica) on nutrient regime and fish growth*. MSc Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1995, Page 70.
- [193] Dediu., L., Cristea, V., Docan, A. and Vasilean, I. *Evaluation of condition and technological performance of hybrid bester reared in standard and aquaponic system*. AACL Bioflux, Volume 4, Issue 4., 2011, Pages. 490-498.
- [194] Savidov, N.A., Hutchings, E., Rakocy, J.E., *Fish and plant production in a recirculating aquaponic systems: a new approach to sustainable agriculture in Canada*, Proc. Int. Conf. & Exhibition on Soilless Culture, Ed. K. K. Chow, Acta. Hort. 742, 2007, Pages 209-221.
- [195] Licamele, J., *Biomass production and nutrient dynamics in aquaponic systems*. PhD. Dissertation Submitted to the Faculty of the Department of Agriculture and Biosystems Engineering – The University of Arizona, 2009.
- [196] Buonomoa, B., Falcucci, M., Hull, V., Rioneroa, S. A mathematical model for an integrated experimental aquaculture plant, Ecological Modelling Volume183, 2005, Pages 11–28.
- [197] Vasilean, I., *Cercetări privind alevinajul speciei Huso huso (Linne,1758) în condițiile unui sistem recirculant*, Teza de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos, Galați. 2010.
- [198] Mocanu (Crețu), M. *Cercetări privind elaborarea modelului creșterii păstrăvului curcubeu (Onchorhynchus mykiss, Walbaum 1792) într-un sistem recirculant de acvacultură industrială*. Teza de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 2013, Page 39.
- [199] Cristea, V., *Scientific partnerships to develop a pilot recirculating system for the promotion and implementation of innovative technologies for superintensive aquaculture*. Granted by: Ministry of Education and Research, National Authority for Scientific Research, Program CEEEX, Module I, AGRAL. 2008.
- [200] Dicu (Stroe), M. D., *Cercetări privind elaborarea modelului creșterii păstrugii A. stellatus (Pallas, 1771) în condițiile unui sistem recirculant de acvacultură industrială*, Teza de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 2013, Pages 34 - 37.

- [201] Hampson, B.L. *Ammonia concentration in relation to ammonia toxicity during a rainbow trout rearing experiment in a closed freshwater-seawater system*. Aquaculture, Volume 9, 1976, Pages 61–70.
- [202] Klontz, G.W. *Manual for Rainbow Trout Production on the Family-owned Farm*. Nelson and Sons Inc, Utah. 1991.
- [203] Munteanu, G., Bogatu, D., *Tratat de ihtiopatologie*, Editura Excelsior Art, 2003, Pages 383-388.
- [204] Berka, R., Kujal, B., Lavicky, J., *Recirculating systems in Eastern Europe*. Proc. World Symp. On Aquaculture in Heated Effluents and Recirculation Systems, 1981, Volume 2, Stavanger, 28–30 May, Berlin, 1980.
- [205] http://icpi.ro/DBs/sustainleather/index.php?id_detaliu=23&m=detaliu
- [206] Szczepkowski, M., Zakęś, Z., Szczepkowska, B., Piotrowska, I., Effect of size sorting on the survival, growth and cannibalism in pikeperch (*Sander lucioperca* L.) larvae during intensive culture in RAS; Czech J. Anim. Sci., Volume 56 (11), 2011, Pages 483–489.
- [207] Ozalkan, C, Sepetoglu H.T., Daur I. and Sen O.F. *Relationship between some plant growth parameters and grain yield of chickpea (Cicer arietinum)*. During different growth stages. Turkish journal of field crops, 15(1), 2010, Pages 79-83.
- [208] Ionescu A. si colab., *Procesarea industrială a pestelui*, Editura Fundației Universitare „Dunarea de Jos”, Galați, 2006.
- [209] Masser, M.P., J. Rakocy, and T.M. Losordo. *Recirculating aquaculture tank production systems: management of recirculating systems*. S. Regional Aquaculture Center Publication No. 452: 1999, Page 12.
- [210] McMurtry, M.R., Sanders, D.C., Cure, J.D., Hodson, R.G., Haning, B.C., St. Amand PC. *Efficiency of water use of an integrated fish/vegetable co-culture system*. J. World Aquac. Soc. 28, 1997, Pages 420-428.
- [211] Dediu, L., „Cercetari privind utilizarea sistemelor biologice in cresterea intensiva a pestilor”, Teza de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos, Galați. 2009,
- [212] Hayward, R.S., Noltie, D.B., Wang, N. *Use of compensatory growth to double hybrid sunfish growth rates*. Trans. Am. Fish. Soc. 126: 1997, Pages 316–322.
- [213] Myrick, C.A., and J.J. Cech, Jr.. *Temperature effects on Chinook salmon and steelhead: a review focusing on California's Central Valley populations*. Bay-Delta Modeling Forum Technical Publication 01-1. 2001.
- [214] **Petrea, St. M.**, Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Ion (Placinta), S., Mocanu (Cretu), M. and Antache, A.; *Study of nitrogen cycle in an integrated aquaponic system with different plant densities*; 2013; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science And Biotechnologies Volume. 70(1), 2013, Pages 55-64.
- [215] Advisory Committee On Vegetable Crops Spinach Vegetable Crops Production guide For The Atlantic Provinces, http://www.nr.gov.nl.ca/nr/agrifoods/crops/veg_pdfs/spinach.pdf
- [216] Dediu, L., *Manipularea comunităților microbiene în scopul bioremedierii effluentului de acvacultură intensivă*”, Proiect de cercetare postdoctorală, Universitatea Dunărea de Jos, Galați. 2011.
- [217] Cockx, E. And Simonne E.H., *Reduction of the impact of fertilization and irrigation on processes in the nitrogen cycle in the vegetable fields with BMPs*, University of Florida, Horticultural Science Publication, HS948, 2003, Page 22.
- [218] Petrea, St. M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Antache, A., Coada, M. T., Ion, S., Bandi, Al. C., *A study of phosphorus and calcium dynamics in an integrated rainbow trout and spinach (Nores variety) aquaponic system with different crop densities*; Bioengineering of animal resources Symposium; Animal Science and Biotechnologies, Volume 47 (2), 2014, Pages 196-206.
- [219] Blidariu, F. C., *Sporirea eficienței economice și a sustenabilității creșterii peștilor în sisteme recirculante prin intermediul culturilor acvaponice*”, Teza de doctorat, USAMVB Timisoara, 2013.
- [220] Lan, M.L., Use of wastewater from Intensive hybrid catfish (*Clarias macrocephalus*×*Clarias gariepinus*) pond culture as fertilizer for rice crop. MSc Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1999, Page 76.
- [221] Yi, Y., Lin, C.K., Diana, J.S., *Hybrid catfish (Clarias macrocephalus×Clarias gariepinus) and Nile tilapia (Oreochromis niloticus) culture in an integrated penum- pond system: growth and performance and nutrient budgets*. Aquaculture 217, 2003, Pages 395–408.

- [222] Roosta, H. R., Hamidpour, M., *Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems*, Scientia Horticulturae 129, 2011, Pages 396–402.
- [223] Stout, P.R., Johnson, C.M., Broyer, T.C. Chlorine in plant nutrition, California Agriculture, 1956, Page 1956.
- [224] Midlen A. , Redding T., *Environmental management for aquaculture*, Chapman & Hall, NY, 1998, Page 223, Aquaculture series 2 in : Ridha, M.D., Cruz, E.M., *Effect of biofilter media on water quality and biological performance of Nile tilapia Oreochromis niloticus L. reared in a simple recirculating system*, Aquacultural Engineering 24, 2001, Pages 157 – 166.
- [225] Hargreaves, J.A., Tucker, C.S., *Defining loading limits of static ponds for catfish aquaculture*. Aquacultural Engineering 28, 2003, Pages 47–63.
- [226] Tyson, R. V., Simonne, E. H., Davis, M., Lamb, E. M., White, J. M. and Treadwell, D. D., *Effect of Nutrient Solution, Nitrate-Nitrogen Concentration, and pH on Nitrification Rate, Perlite Medium*, Journal of Plant Nutrition, 30, 2007, Pages 901–913.
- [227] Bergstrand, K-J., Khalil, S., Hultberg, M., Alsanius, B. W., *Cross Response of Slow Filters to Dual Pathogen Inoculation in Closed Hydroponic Growing Systems*, The Open Horticulture Journal, No. 4, 2011, Pages 1-9.
- [228] Lund, J., *Aquaculture Effluents as Fertilizer in Hydroponic Cultivation - A Case Study Comparing Nutritional and Microbiological Properties*, Swedish Univ. Of Agricultural Science, 2014, Pages 9 – 11. <http://stud.epsilon.slu.se>
- [229] Díaz, V., Ibáñez, R., Gómez, P., Urtiaga, A.M., Ortiz, I., *Kinetics of nitrogen compounds in a commercial marine Recirculating Aquaculture System*. Aquacultural Engineering, Model AQUE-1635: 2012, Pages 20-27.
- [230] Eding, E.H., Kamstra, A, Verreth, J.A.J, Huisman, E.A, Klapwijk, A., *Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review*. Aquac. Eng. 2006. Volume 34, Pages 234–260.
- [231] Lyssenko, C., Wheaton, F. Impact of positive ramp short-term operating disturbances on ammonia removal by trickling and submerged-upflow biofilters for intensive recirculating aquaculture. Aquacult. Eng. 2006, Volume 35, Pages 26–37.
- [232] Petrea, Șt M., Cristea, V., Dediu, L, Contoman, M., Lupoae, P., Ion (Placinta), S., Coada, M. T., Enache M. *A comparison of nitrate level in spinach grown both under different densities in aquaponic system and under natural growth conditions*; The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI – Food Technology, 2013, Volume 37(2), Pages 47-58.
- [233] Schachtman, d. P., Reid r. J., Ayling s. M., *Phosphorus Uptake By Plants: From Soil To Cell*; Plant Physiol. No. 116: 1998, Pages 447–453.
- [234] Nrc. National Research Council. *Nutrients Requirements Of Fish*. National Academy Press. 1993, Page 114.
- [235] Lazzari, R., Baldisserotto, B.; *Nitrogen And Phosphorus Waste In Fish Farming*; B. Inst. Pesca, São Paulo, Volume 34(4), 2008, Pages 591 – 600.
- [236] Jahan, P.; Watanabe, T., Satoh, S.H., Kiron, I.; *Different Combinations Of Protein Ingredients In Carp Diets For Reducing Phosphorus Loading*. Fisheries Science, Tokyo, 68, 2002; Pages:595-602.
- [237] Ismail, F., Anjum M.R., Mamon, A.N., Kazi, T.G.; *Trace Metal Contents Of Vegetables And Fruits Of Hyderabad Retail Market*; Pakistan Journal Of Nutrition Volume10 (4), 2011, Pages 365-372.
- [238] Naylor, S. J., Moccia R. D., Durant G. M.; *The Chemical Composition Of Settleable Solid Fish Waste (Manure) From Commercial Rainbow Trout Farms In Ontario, Canada*; North American Journal Of Aquaculture Volume 61, 1999, Pages 21-26.
- [239] Westerman, P W., Hinshaw J. M., Barker J. C.; *Trout Manure Characterization And Nitrogen Mineralization Rate*; J-K. Wang, Editor. Techniques For Modern Aquaculture. American Society Of Agricultural Engineers, 1993, Pages 35-43.
- [240] Olson, G. L. *The Use Of Trout Manure As A Fertilizer For Idaho Crops*. In Blake, 1992, Pages 198-205.
- [241] Bergheim, A., Kristiansen R., Kelly L., *Treatment And Utilization Of Sludge From Landbased Farms For Salmon*; In J-K. Wang, Editor. Techniques For Modern Aquaculture. American So Ciety Of Agricultural Engineers; 1993, Pages 486-495.

- [242] Mudrak, V. A., *Guidelines For Economical Commercial Fish Hatchery Wastewater Treatment Systems*. In L. J. Allen And E. C. Kinney, Editors. Proceedings Of The Bio-Engineering Symposium For Fish Culture. American Fisheries Society, Fish Culture Section, Bethesda, Maryland; 1981, Pages 174-182.
- [243] Axler, R. E, C. Tikkanen, J. Henneck, J. Schuldt, McDonald M.E., *Characteristics Of Effluent And Sludge From Two Commercial Rainbow Trout Farms In Minnesota*. Progressive Fish-Culturist Volume 59, 1997, Pages 161.
- [244] Moccia, R., Bevan, D, Reid, G., *Composition Of Fecal Waste From Commercial Trout Farms In Ontario: Macro And Micro Nutrient Analyses And Recommendations For Recycling*; Final Report Submitted To The:Ontario Sustainable Aquaculture Working Group Environment Canada And University Of Guelph, 2007, Page 7.
- [245] Satoh, S., Hernandez, A., Tokoro, T., Morishita, Y., Kiron, V., Watanabe, T. *Comparison Of Phosphorus Retention Efficiency Between Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss) Fed A Commercial Diet And A Low Fish Meal Based Diet*; Aquaculture Volume 224, 2003, Pages 271–282.
- [246] Bureau, D.P., Cho, C.Y., *Phosphorus Utilization By Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss): Estimation Of Dissolved Phosphorus Waste Output*. Aquaculture 179; 1999; Pages 127–140.
- [247] Rodehutscord, M., Gregus, Z.; Pfeffer, E; *Effect Of Phosphorus Intake On Faecal And Non-Faecal Phosphorus Excretion In Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss) And The Consequences For Comparative Phosphorus Availability Studies*. Aquaculture, Amsterdam, Volume 188, 2000; Pages 383-398.
- [248] Kim, J.D., Kaushik, S.J., Breque J., *Nitrogen And Phosphorus Utilization In Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss) Fed Diets With Or Without Fish Meal*. Aquatic Living Resources, Paris, Volume 11(4), 1998, Pages 261-264.
- [249] Green, J.A.; Brannon, E.L.; Hardy, R.; *Effects Of Dietary Phosphorus And Lipid Levels On Utilization And Excretion Of Phosphorus And Nitrogen by Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss)*. Aquaculture Nutrition, Volume 8, 2002, Pages 291-298.
- [250] McCay, C. M., Tunison, A. V., Crowell, M., and Paul, H., *The Calcium And Phosphorus Content Of The Body Of The Brook Trout In Relation To Age, Growth And Food*, J. Biol. Chem. 114; 1936, Pages 259-263.
- [251] Nakamura, Y., Yamada, J., *Effects Of Dietary Calcium Levels, Ca/P Ratios, And Calcium Components On The Calcium Absorption Rate In Carp*, Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ, Volume 31(4), 1980, Pages 277-282.
- [252] Kaya, C., Higgs, D., Kirnak, H., *The effects of high salinity and supplementary phosphorus and potassium on physiology and nutrition development of spinach*; Bulg. J. Plant Physiol., 27(3–4), 2001, Pages 47–59.
- [253] Blidariu, F., Drasovean, A., Grozea, A., *Evaluation Of Phosphorus Level In Green Lettuce Conventional Grown Under Natural Conditions And Aquaponic System*; Bulletin Of University Of Agricultural Sciences And Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science And Biotechnologies, 2013, Pages 128-135.
- [254] Evans, G.C., *The quantitative analysis of plant growth*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1972
- [255] Causton, D.R, Venus, J.C., *The biometry of plant growth*. Edward Arnold, London, 1981.
- [256] Hunt, R., *Basic growth analysis. Plant growth analysis for beginners*, Academic Press, London, 1990.
- [257] Ahad, M.A., *Growth analysis of Rice bean (Vigna umbellata Thunb.) under different management practices and their agronomic appraisal*. Ph.D. Dissertation in Agron., 1986, Pages 21-22.
- [258] Petrea, St.M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Lupoae, P., Mocanu (Cretu), M. and Coadă, M.T.; *Vegetable production in an integrated aquaponic system with rainbow trout and spinach*; Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies, Volume 70(1), 2013, Pages 45-55.
- [259] Shipley, B. *Net assimilation rate, specific leaf area and leaf mass ratio: which is most closely correlated with relative growth rate? A meta-analysis*. Functional Ecology; British Ecological Society, 2006.

- [260] Percy, R.W., Ehleringer, J., Mooney, H.A., and Rundel, P.W., *Plant Physiological Ecology*. Chapman and Hall. London, 1989, Pages 457.
- [261] Dutta, R.K. and Mondal, M., *Evaluation of lentil genotypes in relation to growth characteristics, assimilate distribution and yield potential*. LENS News I. 25, 1998, Pages 51-55.
- [262] Resh, H., M., *Hydroponic Food Production*. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbra, CA 93012, 2001.
- [263] Hanan, J., J. *Greenhouses. Advanced Technology for Protected Cultivation*. CRC Press, 1998.
- [264] Marschner, H. *Mineral nutrition of higher plants, 2nd edition*. Academic Press, London, U.K., 1995.
- [265] Britto, D., T., Herbert, J., Konzucker., NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal Plant Physiology*, Volume 159, 2002, Pages 567-584.
- [266] Fytianos, K., Zanogiannis. *Nitrate and nitrite accumulation in fresh vegetable from Greece*. Bull Environ.Contam. Toxicol, Volume 62, 1999. Pages 187-192.
- [267] Muramoto, J. *Comparison of Nitrate Content in Leafy Vegetables from Organic and Conventional Farms in California*. Center for Agroecology and Sustainable Food Systems University of California, Santa Cruz, 1999.
- [268] Mor, F. , Sahindokuyucu, F., Erdogan N, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, Volume: 9 , Issue: 15, 2010, Pages 2013-2016.
- [269] Jaworska, G. Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach. *Food Chemistry*, Volume 89 (2), 2005, Pages 235-242.
- [270] Chung, S., Y., Kim, J., S., Kim, M., Hong, M., K., Lee, J., O., Kim, C., M., Survey of nitrate and nitrite contents of vegetables grown in Korea. *Food Additives Contaminants*, Volume 20, 2003, Pages 621-628.
- [271] Muresan, C., Tofana, M., Socaci, S., Salanta, L.. *Content Evaluation on Nitrates and Nitrites in Local and Imported Vegetables*. *Bulletin UASVM Agriculture*, 69(2), 2012, Pages 510-512.
- [272] Uwah, E., I., Abah, J., Ndahi, N., P., Ogugbuaja, V., O., *Concentration levels of nitrate and nitrite in soils and some leafy vegetables obtained in Maiduguri*, Nigeria. *JASES*, 4(3), 2009, Pages 233-244.
- [273] Ayaz, A., Topcu, A., Yurttagul, M., Survey of nitrate and nitrite levels of fresh vegetables in Turkey. *Journal of Food Technology – Medwell Journals*, 5(2), 2007, Pages 177-179.
- [274] Jaworska, G., Kmiecik, W. *Content of selected mineral compounds, nitrates II and V and oxalates in spinach (spinacea oleracea l.) and new zealand spinach (tetragonia expansa murr) for spring and autumn growing seasons*. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, series Food Science and Technology*, 2(2), 1999.
- [275] Petersen, A., Stolze, S. *Nitrate and nitrite in vegetables on the Danish market: Content and intake*. *Food Additives & Contaminants*, Volume 16, 1999, Pages 291-299.
- [276] MAFF. *1997/98 UK monitoring programme for nitrate in lettuce and spinach*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Food Durveillance Information Sheet No.154, , London, August 1998.
- [277] Sumiko, T., Masako, K. *Naturally occurring of nitrite and nitrate existing in various raw and processed foods*. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, Volume 34, 1993, Pages 294-313.
- [278] Shokrzadeh, M., Shokravie, M., Ebadi, A., G., Babaee, Z., Tarighati, A. *The measurement of nitrate and nitrite content in leak and spinach samples from central cities of Mazandaran State of Iran*. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, Volume 2(2), 2007, Pages 169-172.
- [279] *Chemical Hazard Evaluation. Nitrate and Nitrite in Vegetables Available in Hong Kong. Risk Assessment Studies Report No. 40*, 2010.
280. Korus, A., Lisiewska, Z. *Effect of Cultivar and Harvest Date of Kale (Brassica Oleracea L. Var. Acephala) on Content of Nitrogen Compounds*. *Polish Journal of Environmental Studies*, Volume 18(2), 2009, Pages 235-241.
- [281] EFSA. *Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in Food Chain on a request from the European Commission to perform a scientific risk assessment on nitrate in vegetables*. The EFSA Journal, Volume 69, 2008, Pages 1-79.
- [282] Feng, J. *Assessment of nitrate exposure in Beijing residunts via consumption of vegetables*. *Chinese Journal of Food Hygiene*, Volume 18(6), 2006, Pages 14-516.
- [283] Thomson, B. *Nitrates and nitrites dietary exposure and risk assessment: prepared as part of a New Zealand Food Safety Authority contract for scientific services*. Institute of Environmental Science &

Research Limited. Christchurch Science Centre. 2004. <http://www.nzfsa.govt.nz/consumers/food-safety-topics/chemicals-in-food/residues-in-food/>

[284] WHO. Additives (Food additives Series 50) – Geneva. 2003.

<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v50je07.htm>

[285] Malmauret, L., Parent-Massin, D., Hardy, J., L., Verger, P. *Contaminants in organic and conventional foodstuffs in France*. Food Additives & Contaminants, Volume 19, 2002, Pages 524–532.

[286] Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. *UK Monitoring Programme for Nitrate in Lettuce and Spinach*, Food Survey Information Sheet Number 16/01, July 2001, London.

[287] van der Schee, H., A., Speek, A., J. *Report of Nitrate Monitoring Results Concerning Regulation EU 194/97*. The Netherlands 1999, Amsterdam, Food Inspection Agency Northwest, 2000.

[288] Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., Todaro, E. *Survey of nitrate and oxalate content in fresh vegetables*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 79, 1999, Pages 1882–1888.

[289] Ysart, G., Clifford, R., Harrison, N. *Monitoring for nitrate in UK-grown lettuce and spinach*. Food Additives & Contaminants, Volume 16, 1999, Pages 301–306.

[290] Dutt MC, Lim HY, Chen RK *Nitrate consumption and the incidence of gastric cancer in Singapore*. Food Chem Toxicol Volume 25, 1987, Pages 515–520

[291] Ord. 611/03.04.1995, www.legex.ro

[292] Ordinul ministerului agriculturii, alimentației și pădurilor Nr. 293/640/2001-1/2002 privind condițiile de securitate și calitate pentru legume și fructe proaspete destinate consumului uman, 2002.

[293] EC (European Commission), Commission Regulation (EC) No 563/2002 of 2 April 2002 amending Regulation (EC) No 466/2001 as regards nitrate in foods for infants and young children. Official J. Eur. Commun. L86: 5-6, (2002);

[294] Proca, C., Micu, D., Danielescu, C., Manea, F. *Case study of the risk assessment of nitrates on human health on west side of Romania*. NATO science for Peace and Security Series – C:Environmental Security Exposure and risk assessment of chemical pollution Contemporary Methodology, Springer, Sofia-Bulgaria. 2008.

[295] Roe, M., Church, S., Pinchen, H., Finglas, P. *Nutrient analysis of fruit and vegetables*. Institute of Food Research –UK. 2013.

[296] Hannatu, A. S., Tsafe, A. I., Bagudo, B. U., Itodo, A. U., *Toxic Metals Uptake by Spinach (Spinacea oleracea) and Lettuce (Lactuca sativa) Cultivated in Sokoto: A Comparative Study*, Volume. 10, Issues 6, 2011, Pages 572-576.

[297] Akhter, F., Islam, M., Khatun, A., Munshi, M.K., Hossain, A., Hoque, M., Huque, R. *Biochemical composition and effects of radiation on sensory, biochemical and physiological quality of fresh spinach (Spinacia oleracea L.)*. International Journal of Biosciences, Vol. 3, No. 5, 2013, Pages 25-34.

[298] Umar, K.J., Hassan, L.G., and Dangoggo, S.M., *Nutritional composition of water spinach leaves* Journal of Applied Science (7), 2007, Pages 803-809.

[299] Coadă, M. T., *Cercetări privind evaluarea tehnologică a plasticității speciei Polyodon spathula în condițiile unui sistem recirculant de acvacultură industrială*, Teza de doctorat, Universitatea Dunărea de Jos, Galați, 2012, Page 39.

[300] Martins C. I. M., Eding E. H., Verdegem M. C. J., Heinsbroek L.T. N., Schneider O., Blancheton J. P., Roque d'Orbcastel, Verreth J. A. J., *Fish farming Xpert*, no. 4, 2011, Pages 29-39.

[301] Nichols M, "Aquaponics: Where One Plus One Equals Three", Massey University, Palmerston North, New Zealand, Maximum Yield- Indoor gardening, UK January-February 2008.

[302] Gonzales, J.; Greenwater tank systems and aquaponics. Aquaponics Journal, Volume 4, 2002, Pages.9–19.

[303] Tyson, R.V., R.C. Hochmuth, E.M. Lamb, G.J. Hochmuth, and M.S. Sweat; A decade of change in Florida's greenhouse vegetable industry: 1991-2001. Proc. Fla State Hort. Soc. 114: 2001, Pages 280–283.

[304] Petrea, Ș. M., Cristea, V., Dediu, L., Liu, F., Contoman, M., Lupoae, P., Antache, A., Bandi, A. C., *A Study of Nitrogen Dynamics in an Integrated Stellate Sturgeon and Spinach Aquaponic System with Different Crop Densities*, Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies 71(2), 2014, Pages 196-206.

[305] Project No: COLL-CT-2006-030384 - Ghid pentru o acvacultură sustenabilă, 2006, Pages 95 - 104.

- [306] Vasilean, I., Cristea V., Dediu, L., Research on quality of sturgeon meat from recirculating aquaculture systems. University of agricultural sciences and veterinary medicine „Ion Ionescu de la Brad” Iasi. Faculty of animal sciences. Volume 53(15), 2010. Pages 289-293.
- [307] <http://world-population.net/food/ro/k90k21>, 13.08.2014.
- [308] Petrea, St. M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Lupoae, P., Antache, A., Dicu, M.D., Coadă, M. T., *Vegetable production in an integrated aquaponic system with stellate sturgeon and spinach – Matador variety*; Bioengineering of animal resources Symposium; Animal Science and Biotechnologies, Volume 47(1), 2014, Page 235-245.
- [309] Petrea, Șt. M., Cristea, V., Dediu, L., Liu, F., Lupoae, P., Antache, A., Bandi, A., C., Coadă, M. T., *The Nitrate and Nitrite Levels From Both Spinach and Stellate Sturgeon Meat in an Aquaponic Integrated System*, Bulletin UASVM Animal Science and Biotechnologies 71(2), 2014, *in press*.
- [310] http://www.google.ro/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ctahr.hawaii.edu%2Fmpm%2FAquaponics%2520for%2520workshop.ppt&ei=oFtGVLGeBM_uJeBgAF&usg=AFQjCNFaZbSoMsb97jvJQGfG9hVvJEYRBQ 13.08.2014
- [311] Rakocy, J.E., *Evaluation of a closed recirculating system for tilapia culture*. Ph.D. Dissertation, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, AL, 1980, Page 129.
- [312] Sutton, R.J. and Sutton, H.E. *Evaluation of an aquarium with external biofiltration*. Journal of Aquaculture and Aquatic Sciences 3, 1983, Pages 37–40.
- [313] Li, T. S. C., *Medicinal Plants: Culture, Utilization and Phytopharmacology*, Print ISBN-13: 978-1566769037, 2000.
- [314] Zarski, D., Kucharczyk D., Targońska K., Krejszeff S., Czarkowski T., Babiarz E., Nowosielska D. B., *Dynamics of nitrogen and phosphorus in closed and semi-closed recirculating aquaculture systems during the intensive culture of goldfish, Carassius auratus auratus (L.), juveniles*, Arch. Pol. Fish. Volume 18, 2010, Pages 187-193.
- [315] Jamu, D.M. , Piedrahita, R.H., *An organic matter and nitrogen dynamics model for the ecological analysis of integrated aquaculture/agriculture systems: I. model development and calibration*, Environmental Modelling & Software Volume 17, 2002, Pages 571–582.
- [316] Dzida, K., *Nutrients contents in sweet basil (Ocimum basilicum L.) herb depending on calcium carbonate dose and cultivar* Acta Sci. Pol., Hortorum Cultus Volume 9(4), 2010, Pages 143-151
- [317] Grzeszczuk M. și Jadczak D., *Estimation of biological value and suitability for freezing of some species of spice herbs*, J. Elementol, Volume 13 (2), 2008, Pages 211-220.
- [318] http://www.titudorancea.ro/z/informatii_nutritionale_condimente_tarhon_uscat.htm 12.07.2014, Page 319.
- [319] <http://www.nutrition-and-you.com/tarragon-herb.html> 12.07.2014.
- [320] Lu, X. M; Huang M. S., *Nitrogen and phosphorus removal and physiological response in aquatic plants under aeration conditions*, Int. J. Environ. Sci. Tech., Volume 7 (4), 2010, Pages 665-674.
- [321] Rao, E.V.S.P, Puttanna K., Rao ,G. R. S., Ramesh, S., *Nitrogen and potassium nutrition of French basil (Ocimum basilicum Linn.)*, Journal of Spices and Aromatic Crops Volume 16 (2), 2007, Pages 99–105.
- [322] Lazzari, R., Baldisserotto, B., *Nitrogen and phosphorus waste in fish farming*, B. Inst. Pesca, São Paulo, Volume 34(4), 2008, Pages 591 – 600.
- [323] Shpigel, M., Neor.i A., Popper. D.M., Gordin, H., *A proposed model for “environmentally clean” landbased culture of fish, bivalves and seaweeds*. Aquaculture, 117(1/2), 1993, Pages 115-128.
- [324] Zawioelak, G., Dzida, K., *Composition of essential oils and content of macronutrients in herbage of tarragon (Artemisia dracunculus L.) grown in south-eastern Poland*, J. Elem., 2012, Pages 721–729.
- [325] Padmini, E., Valarmathi, A., Rani, M.U., *Comparative analysis of chemical composition and antibacterial activities of Mentha spicata and Camellia sinensis*, Asian J. Exp. Biol. Sci. Volume 1(4), 2010, Pages 772- 781.
- [326] Ferit, R., Gilten, K., Mevi, K., *Growth performance and food conversion ratio of Siberian Sturgeon (Acipenser baeri) at different daily feeding rates*; Turk J. Vet. Anim. Sci., Volume 27, 2003, Pages 1085 – 1090.
- [327] Aderolu, A. Z., Seriki, B. M., Apatira, A. L., Ajaegbo, C. U., *Effects of feeding frequency on growth, feed efficiency and economic viability of rearing African catfish (Clarias gariepinus, Burchell 1822) fingerlings and juveniles*. African Journal of Food Science, Volume 4(5), 2010, Pages 286-290.

- [328] Shahlaei, A., Ansari, N. A., Dehkordie, F. S., *Evaluation of nitrite and nitrate content of Iran Southern (Ahwaz) vegetable during winter and spring of 2006*, Asian Journal of Plant Sciences Volume 6 (8), 2007, Pages 1197 – 1203.
- [329] Oșvat, I. M., *Research on incidence and significance of hygiene nitrates, nitrites and nitrosamines in foods, plant and animal in Bihor county*, Phd THESIS - Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară Cluj – Napoca, Școala Doctorală - Facultatea De Medicină Veterinară, 2011, Pages: 7-11.
- [330] Nowrouz, P., Taghipour, H., Dastgiri, S., Bafandeh, Y., Hashemimajd, K., *Nitrate Determination of Vegetables in Varzeghan City, North-western Iran*, Health Promot Perspect. Volume 2(2): 2012, Pages 244–250.
- [331] Andac, M., Eren, H., Coldur, F., *Determination of Nitrate in Leafy Vegetables by Flow Injection Analysis with Potentiometric Detection*, Journal of Food and Drug Analysis, Volume 19, No. 4, 2011, Pages 457-462
- [332] Grzeszczuk, M., Jadczyk, D., *Estimation of biological value of some species of mint (Mentha L.)*, Herba polonica, Volume 55 No 3, 2009, Pages 193 -199.
- [333] Paltenea, E., Talpeș, M., Ionescu, A., Zara, M., Vasile, A. and Mocanu, E., *Quality assessment of fresh and refrigerated culture sturgeon meat*, Lucrări Științifice Zootehnie și Biotehnologii - Timișoara, Volume. 42 (2), 2007, Pages 433-443

ANEXE - SECȚIUNEA 1:

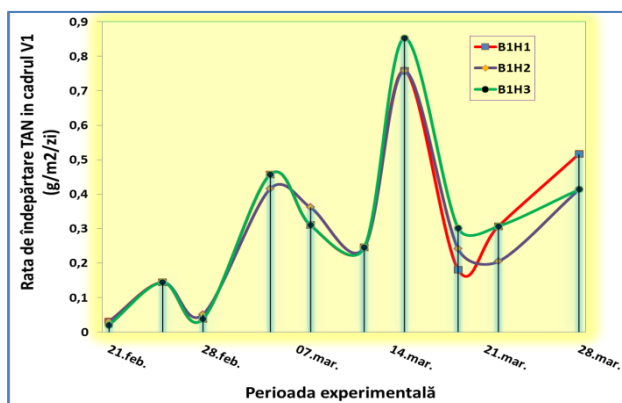


Fig. A. 1. Evoluția ratei de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) la nivelul modului acvaponic B1H

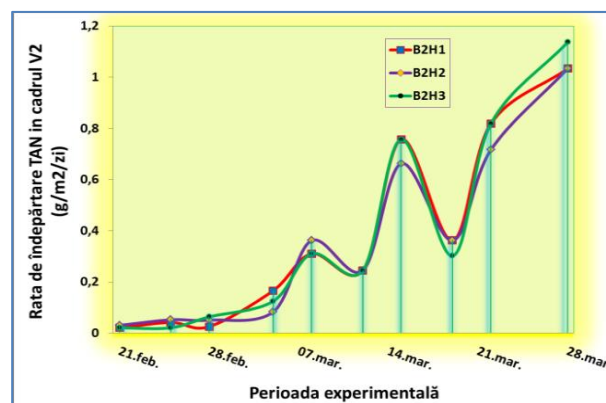


Fig. A. 2. Evoluția ratei de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) la nivelul modului acvaponic B2H

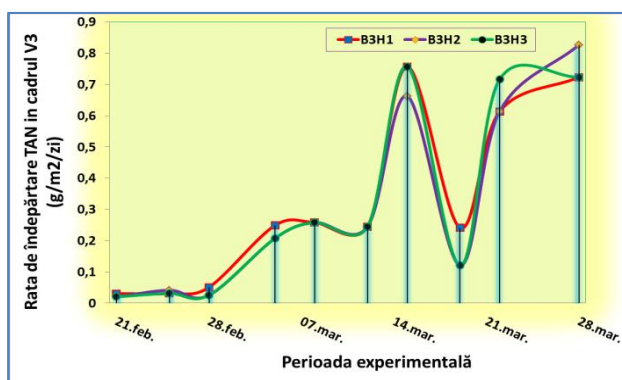


Fig. A. 3. Evoluția ratei de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) la nivelul modului acvaponic B3H

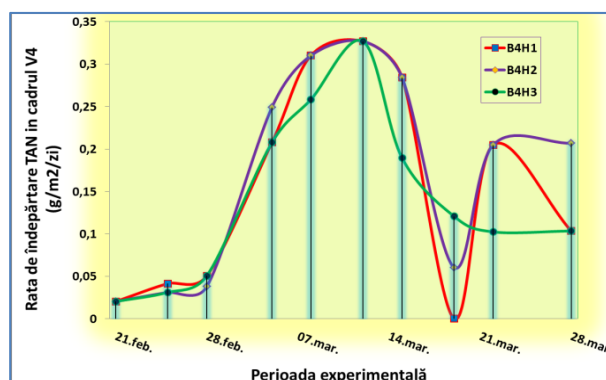


Fig. A. 4. Evoluția ratei de îndepărtare a azotului total amoniacal (TAN) la nivelul modului acvaponic B4H (martor)

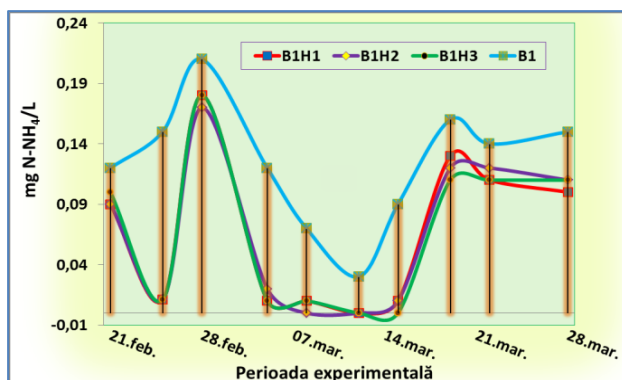


Fig. A. 5. Evoluția concentrației de azot amoniacal (N-NH₄) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B1H

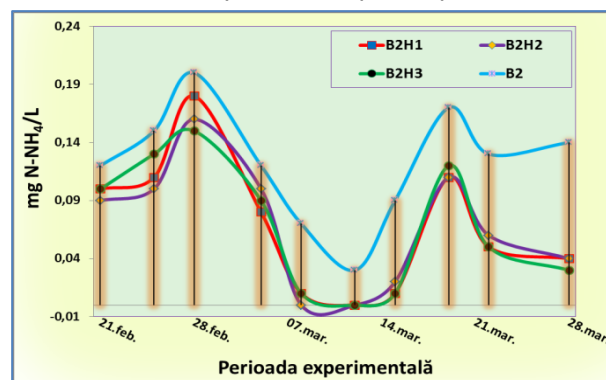


Fig. A. 6. Evoluția concentrației de azot amoniacal (N-NH₄) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B2H

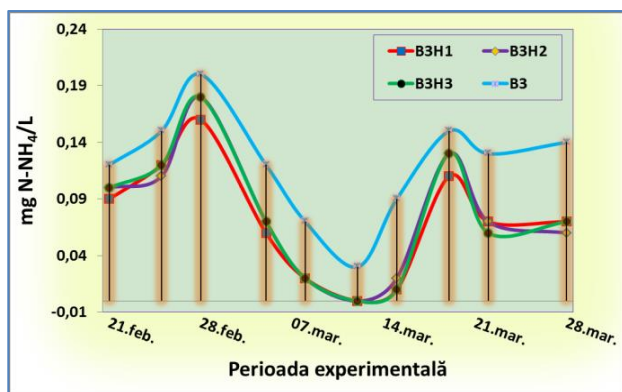


Fig. A. 7. Evoluția concentrației de azot amoniacal (N-NH₄) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B3H

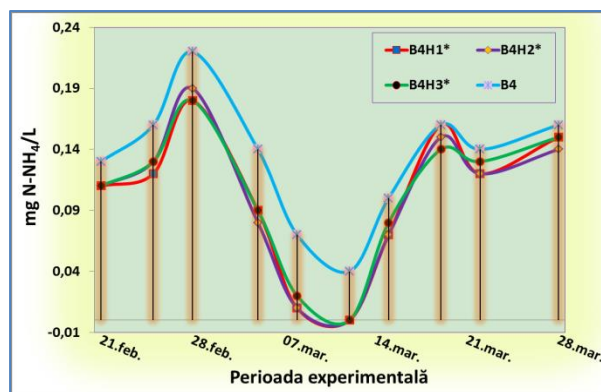


Fig. A. 8. Evoluția concentrației de azot amoniacal (N-NH₄) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B4H (martor)

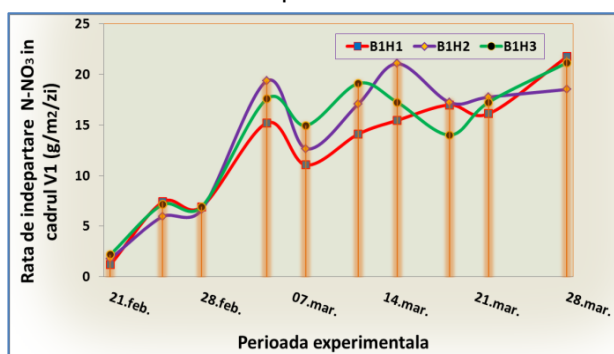


Fig. A. 9. Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților (N-NO₃) la nivelul modului acvaponic B1H

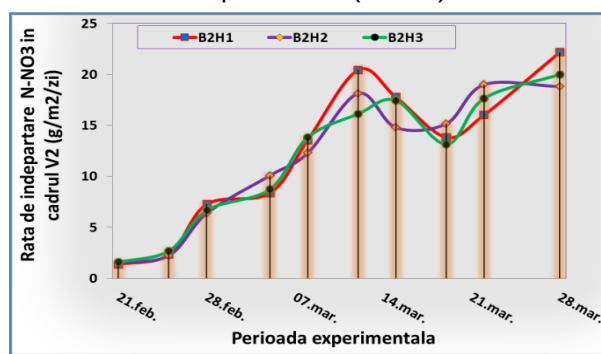


Fig. A. 10. Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților (N-NO₃) la nivelul modului acvaponic B2H

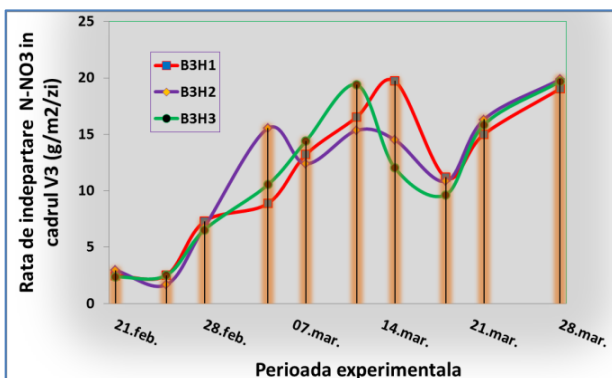


Fig. A. 11: Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților (N-NO₃) la nivelul modului acvaponic B3H

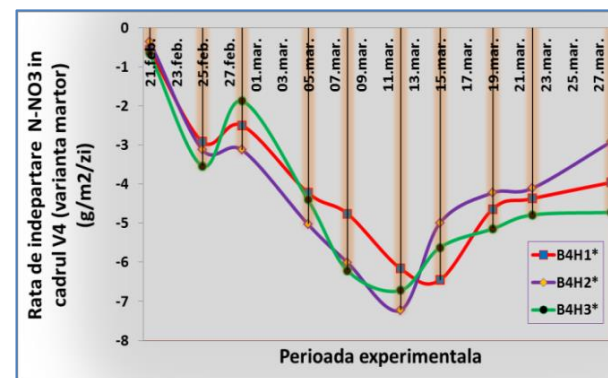


Fig. A. 12: Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților (N-NO₃) la nivelul modului acvaponic B4H (Martor)

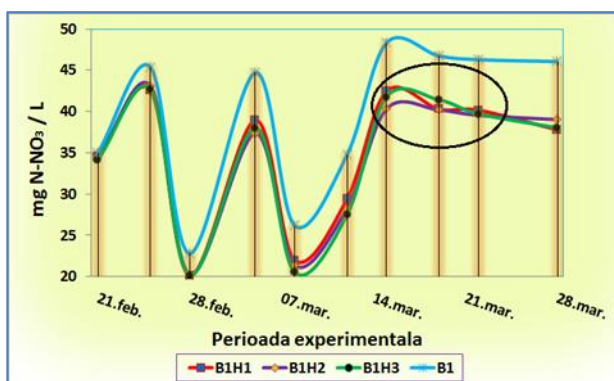


Fig. A. 13. Evoluția concentrației de nitrați (N-NO₃) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B1H

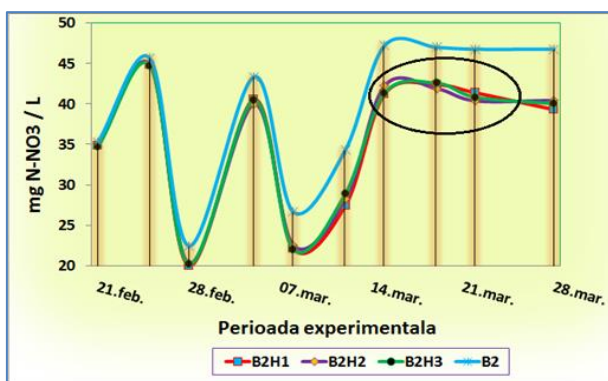


Fig. A. 14. Evoluția concentrației de nitrați (N-NO₃) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B2H

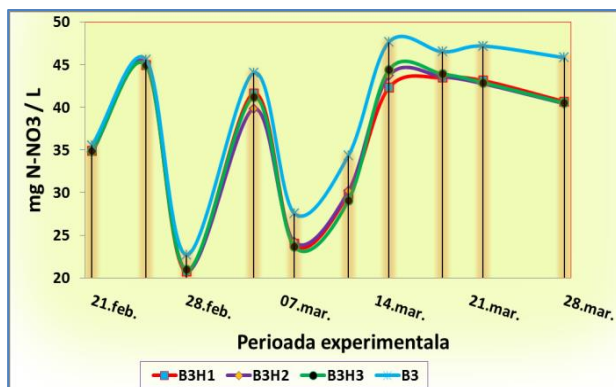


Fig. A. 15. Evoluția concentrației de nitrați (N-NO_3) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B3H

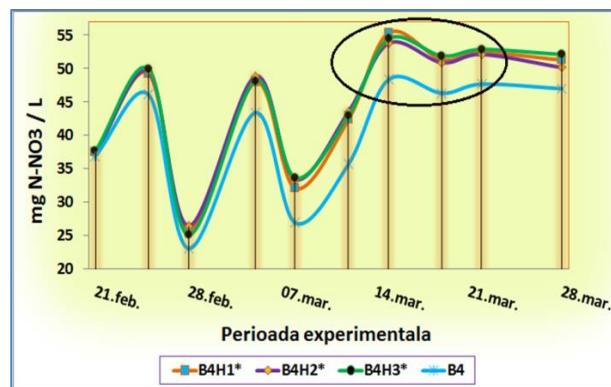


Fig. A. 16. Evoluția concentrației de nitrați (N-NO_3) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B4H

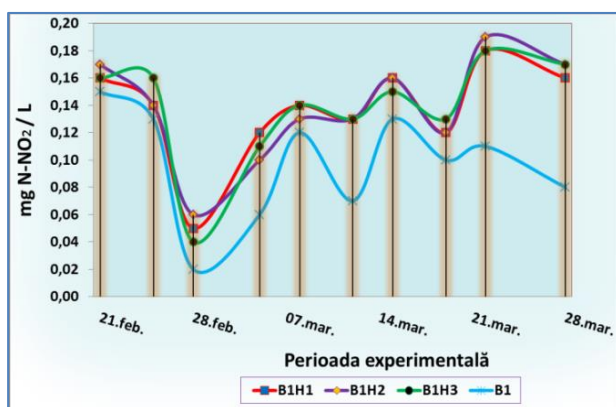


Fig. A. 17: Evoluția concentrației de nitriți (N-NO_2) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B1H

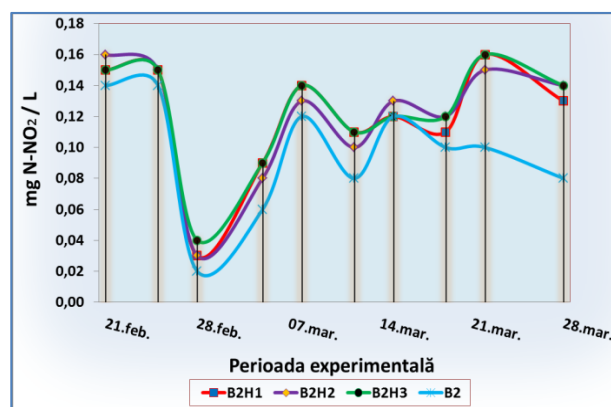


Fig. A. 18: Evoluția concentrației de nitriți (N-NO_2) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B2H

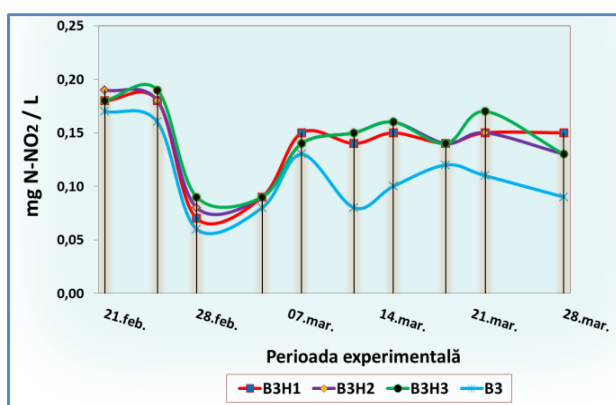


Fig. A. 19. Evoluția concentrației de nitriți (N-NO_2) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B3H

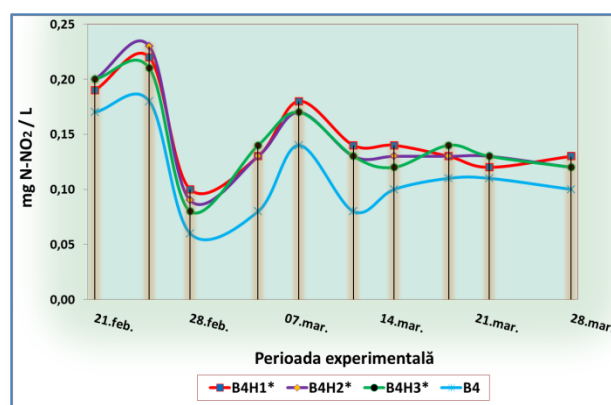


Fig. A. 20. Evoluția concentrației de nitriți (N-NO_2) din apa tehnologică, la nivelul modului acvaponic B4H (Martor)

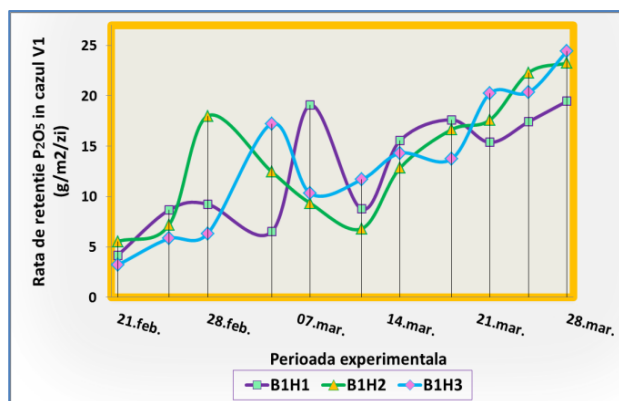


Fig. A. 21: Evoluția ratei de retenție a fosforului (P_2O_5) la nivelul modulului acvaponic B1H

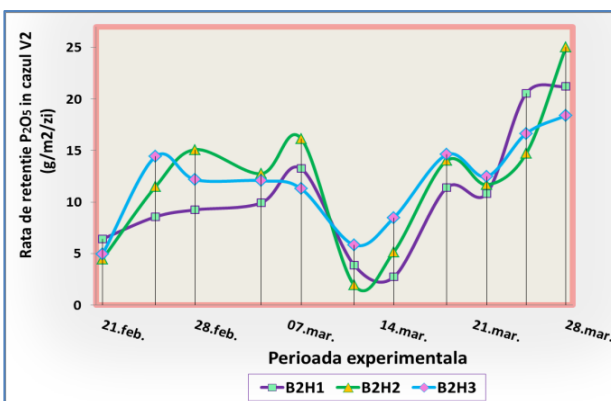


Fig. A. 22: Evoluția ratei de retenție a fosforului (P_2O_5) la nivelul modulului acvaponic B2H

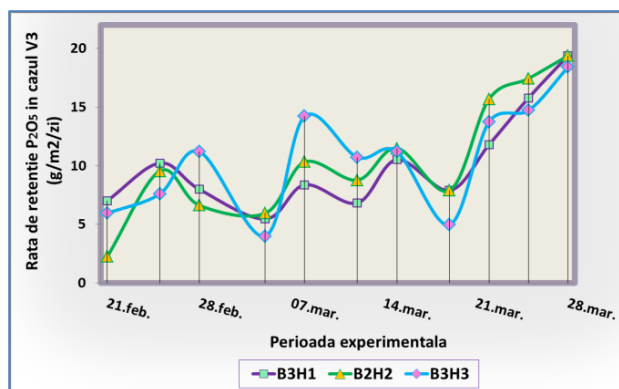


Fig. A. 23: Evoluția ratei de retenție a fosforului (P_2O_5) la nivelul modulului acvaponic B3H

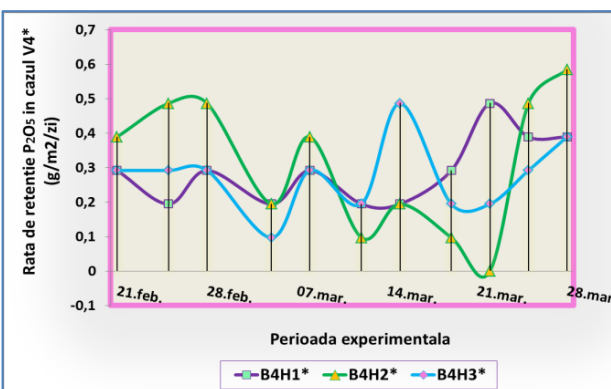


Fig. A. 24: Evoluția ratei de retenție a fosforului (P_2O_5) la nivelul modulului acvaponic B4H (Martor)

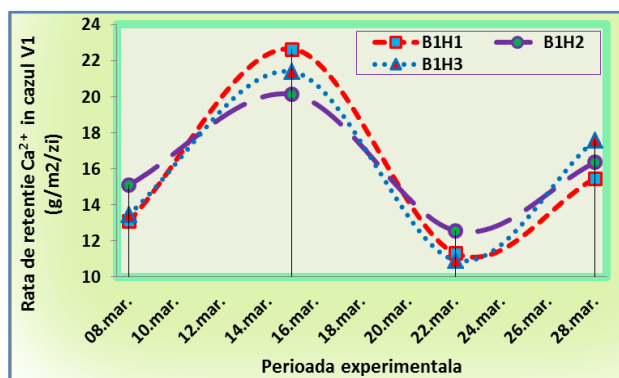


Fig. A. 25: Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul modulului acvaponic B1H

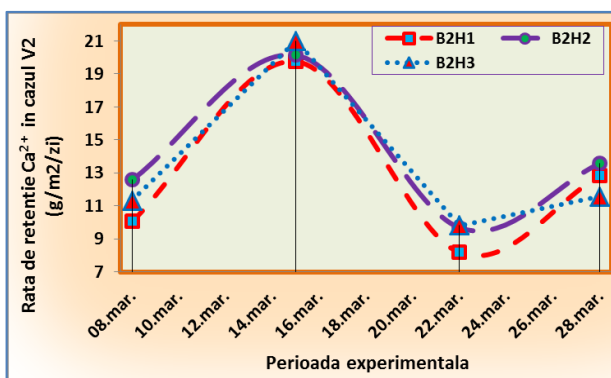


Fig. A. 26: Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul modulului acvaponic B2H

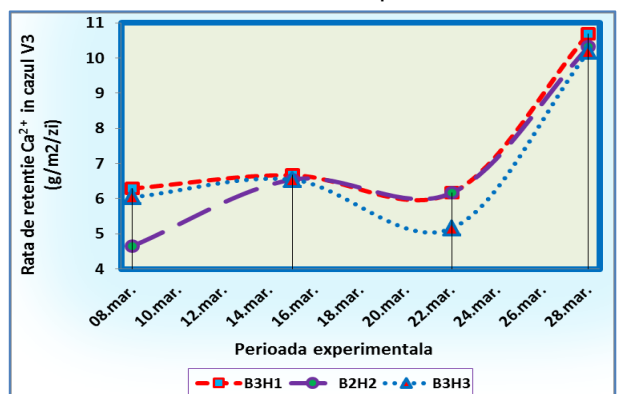


Fig. A. 27: Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul modulului acvaponic B3H

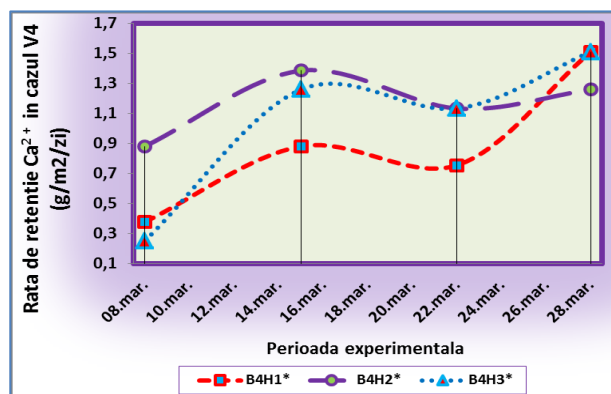


Fig. A. 28: Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul modulului acvaponic B4H (Martor)

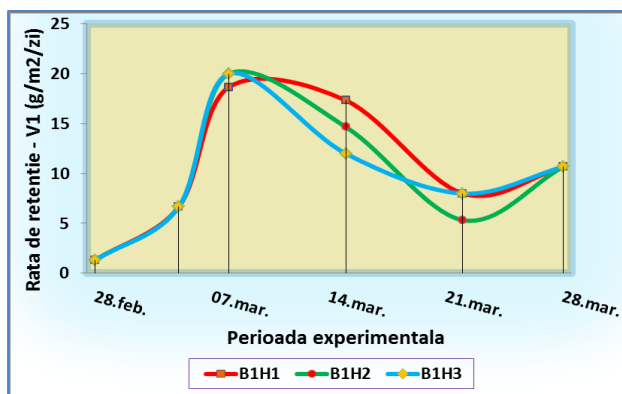


Fig. A. 29. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul modulului acvaponic B1H

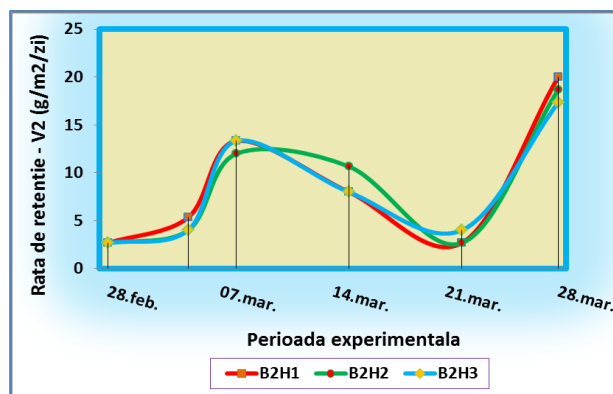


Fig. A. 30. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul modulului acvaponic B2H

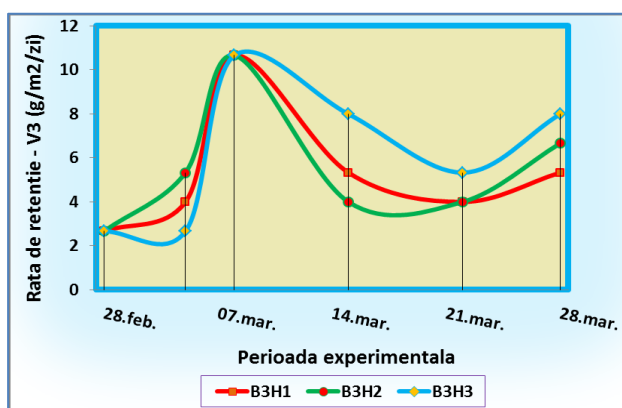


Fig. A. 31. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul modulului acvaponic B3H

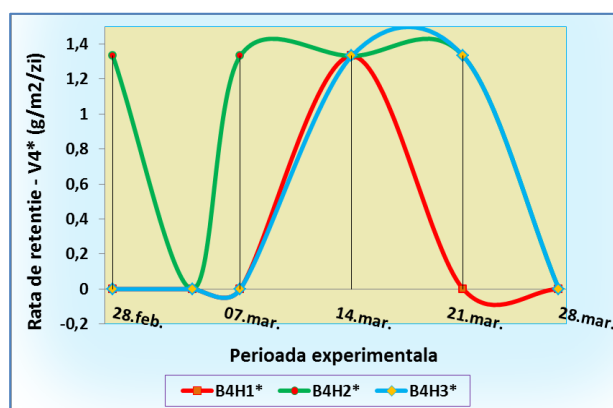


Fig. A. 32. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul modulului acvaponic B4H (Martor)

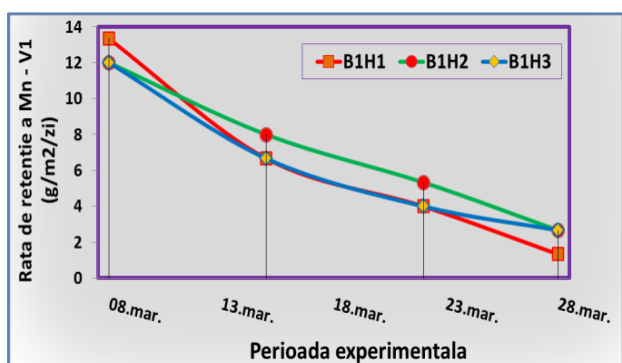


Fig. A. 33. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul modulului acvaponic B1H

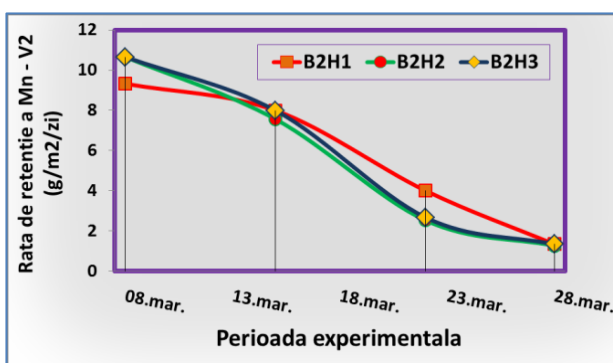


Fig. A. 34. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul modulului acvaponic B2H

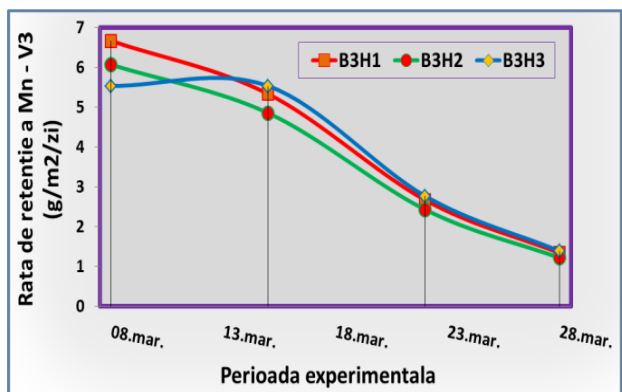


Fig. A. 35. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul modulului acvaponic B3H

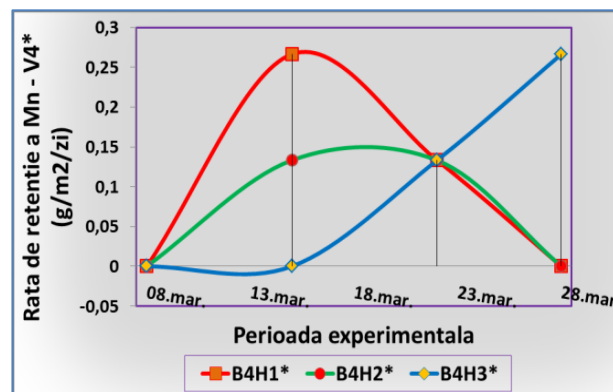


Fig. A. 36. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul modulului acvaponic B4H (Martor)

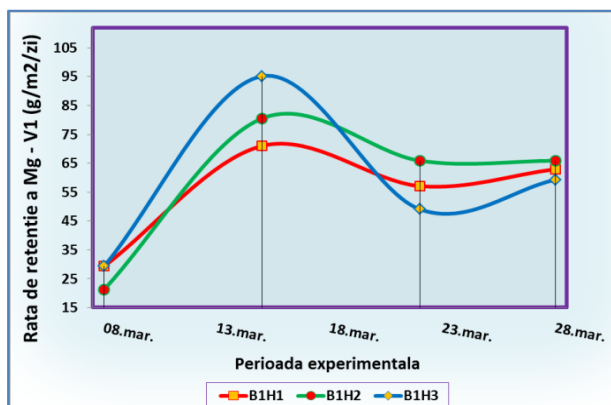


Fig. A. 37. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul modulului acvaponic B1H

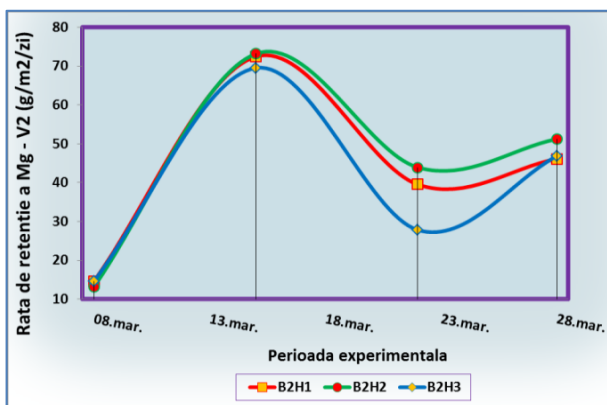


Fig. A. 38. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul modulului acvaponic B2H

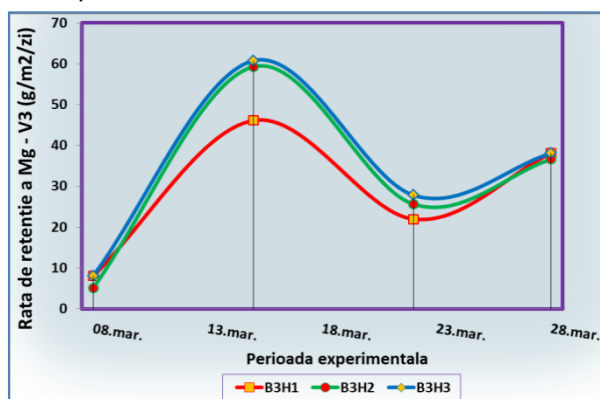


Fig. A. 39. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul modulului acvaponic B3H

Tabel A. 1: Rata de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice

INDICATOR (g/m ² /zi)	Valoarea medie	St.Dev.	Valoarea minima	Valoarea maxima
B1H1	70,93	52,45	22,64	145,19
B1H2	71,59	51,9	17,32	141,19
B1H3	71,93	49,37	23,98	139,86
B2H1	53,95	34,6	14,65	98,57
B2H2	52,61	35,16	13,32	98,57
B2H3	56,28	34,91	13,32	98,57
B3H1	45,95	26,82	11,99	77,26
B3H2	44,29	28,34	10,66	79,92
B3H3	45,29	28,95	10,66	81,25
B4H1*	-1,33	1,33	1,33	1,33
B4H2*	-1,33	0	2,66	1,33
B4H3*	-2,66	-1,33	2,66	0
A.F.B	38,69	34,21	11,99	77,26
E. F B	39,64	35,98	10,66	79,92

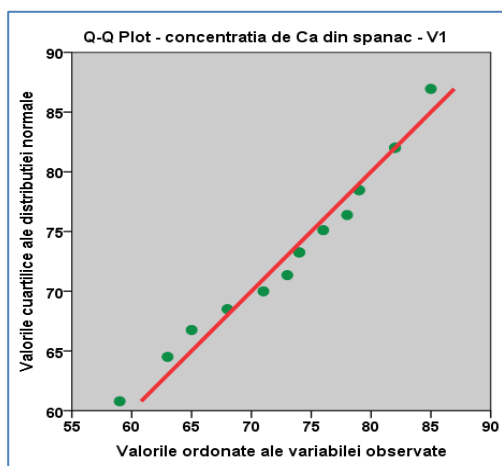


Fig. A. 40. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din spanacul obținut în varianta B1H (V1)

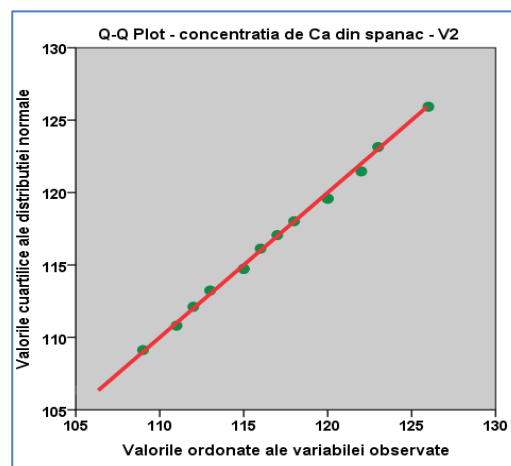


Fig. A. 41. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din spanacul obținut în varianta B2H (V2)

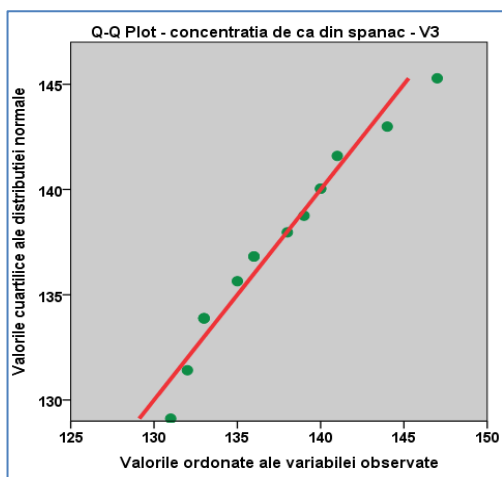


Fig. A. 42. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din spanacul obținut în varianta B3H (V3)

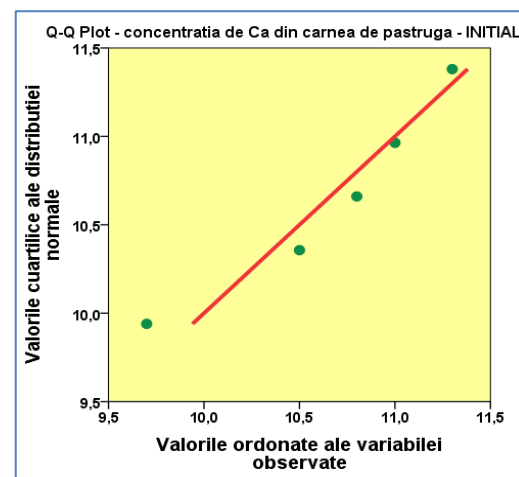


Fig. A. 43 Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă, în momentul inițial

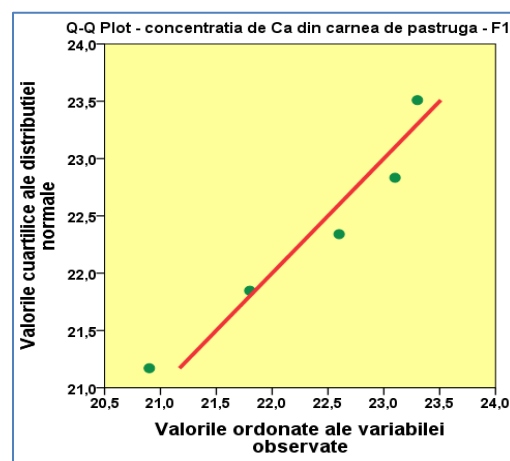


Fig. A. 44. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F1

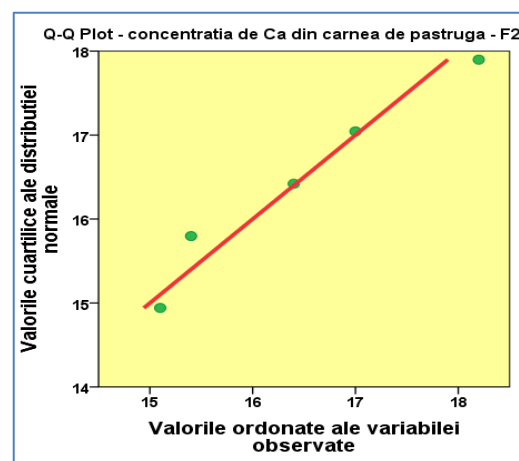


Fig. A. 45. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F2

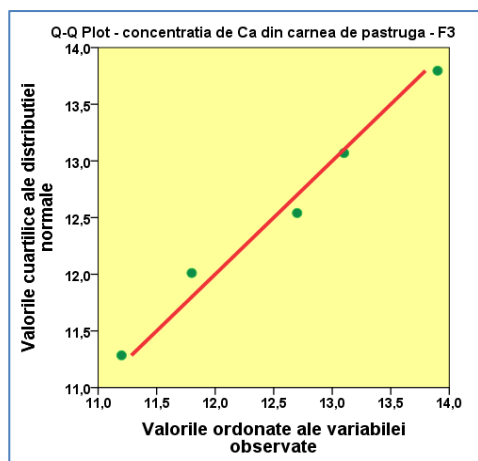


Fig. A. 46. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F3

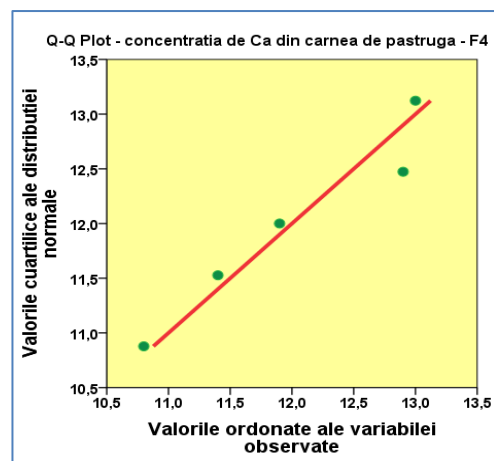


Fig. A. 47. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F4

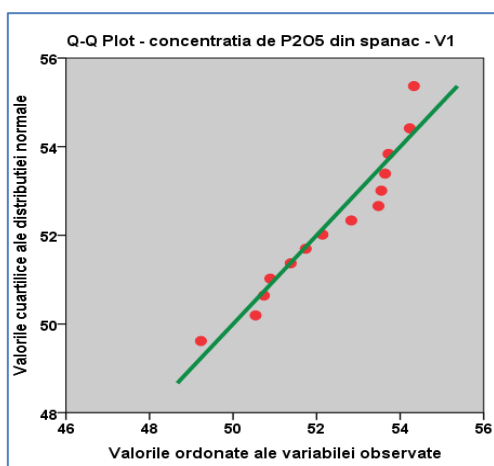


Fig. A. 48. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din spanacul obținut în varianta B1H (V1)

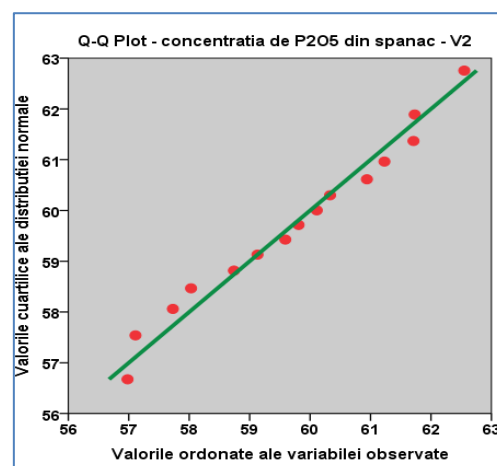


Fig. A. 49. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din spanacul obținut în varianta B2H (V2)

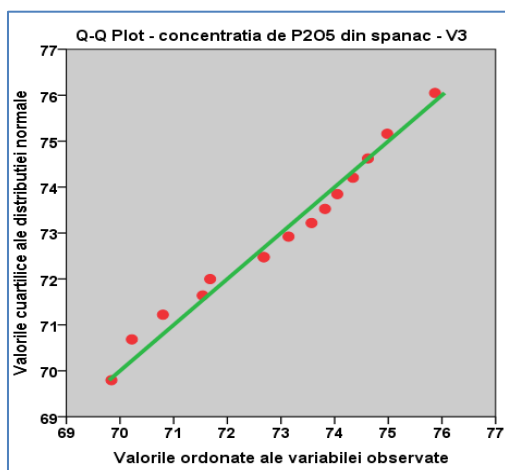


Fig. A. 50. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din spanacul obținut în varianta B3H (V3)

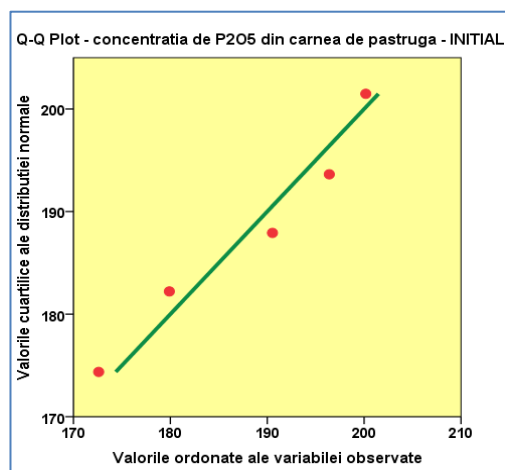


Fig. A. 51. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă, în momentul inițial

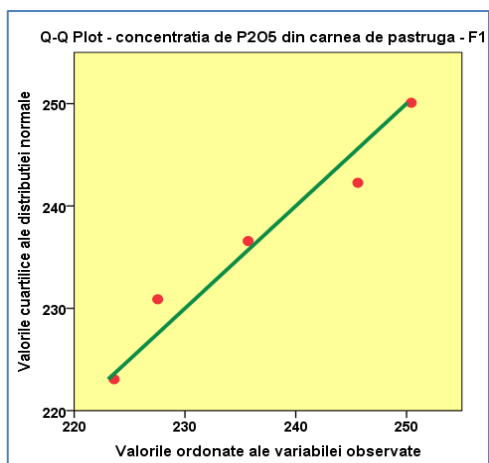


Fig. A. 52. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F1

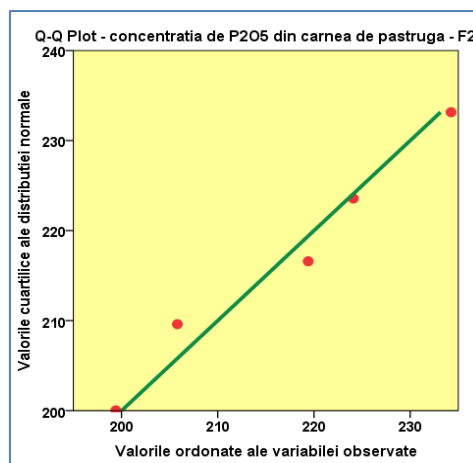


Fig. A. 53. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F2

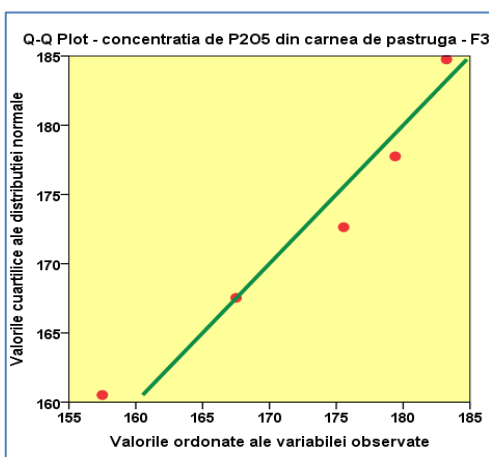


Fig. A. 54. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F3

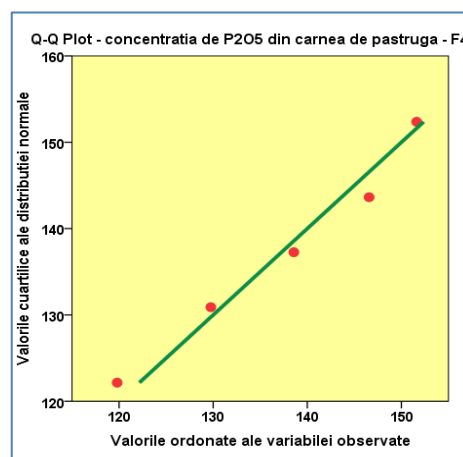


Fig. A. 55. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă, în cadrul variantei F4

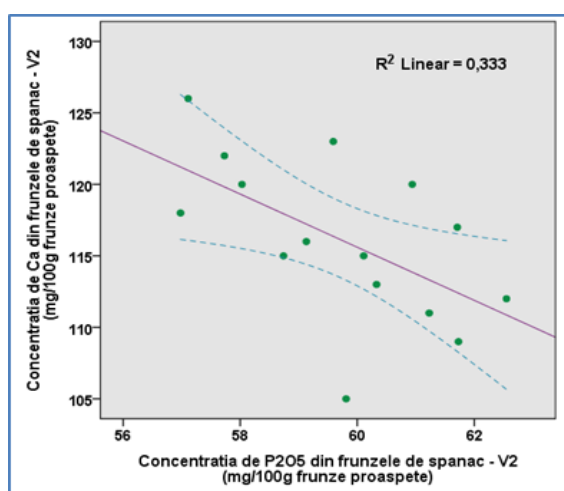


Fig. A. 56. Dependenta liniară a concentrației de calciu, în funcție de concentrația de fosfor (P_2O_5), manifestată la nivelul biomasei foliare din B2H (V2)

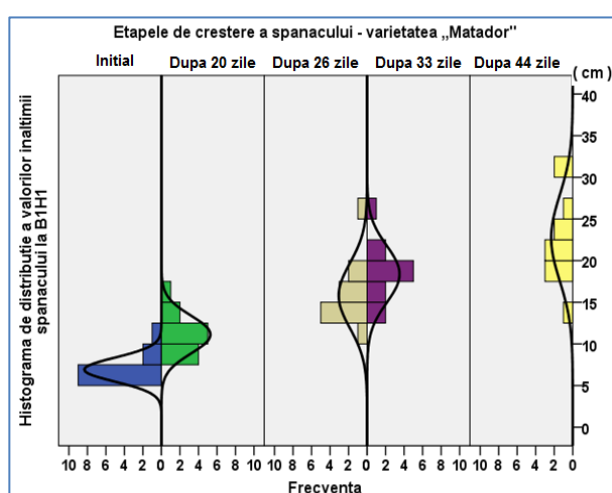


Fig. A. 57. Histograme distribuției valorilor înălțimii spanacului în cadrul B1H1, de-a lungul perioadei experimentale

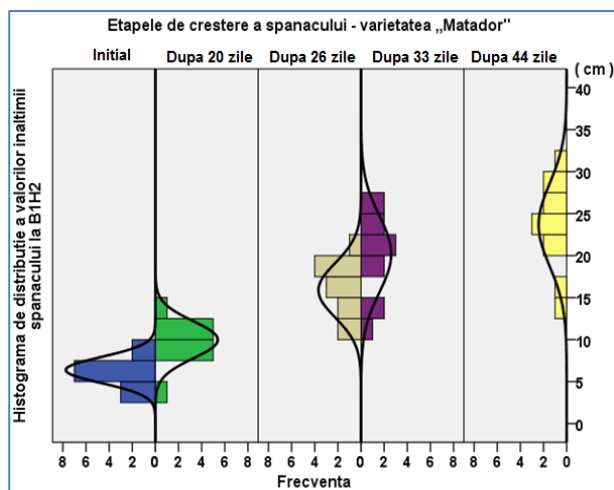


Fig. A. 58. Histograme de distribuție a valorilor înălțimii spanacului în cadrul B1H2, de-a lungul perioadei experimentale

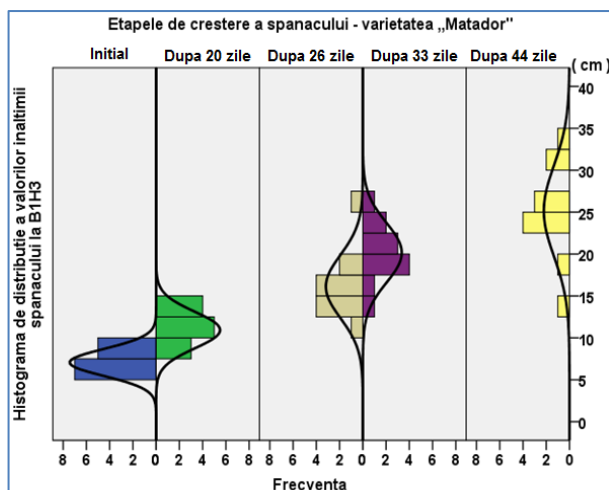


Fig. A. 59. Histograme de distribuție a valorilor înălțimii spanacului în cadrul B1H3, de-a lungul perioadei experimentale

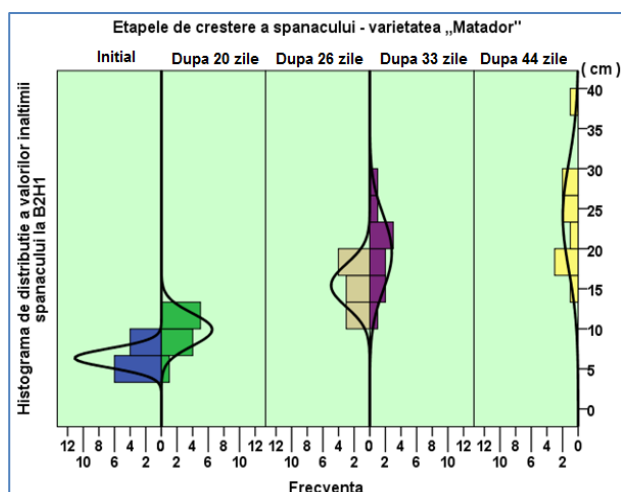


Fig. A. 60. Histograme de distribuție a valorilor înălțimii spanacului în cadrul B2H1, de-a lungul perioadei experimentale

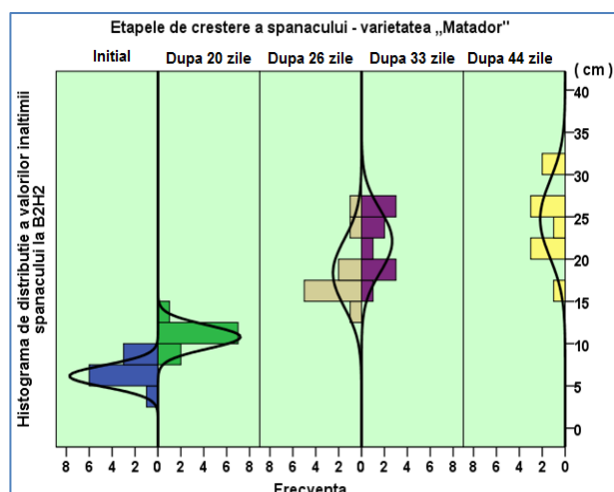


Fig. A. 61. Histograme de distribuție a valorilor înălțimii spanacului în cadrul B2H2, de-a lungul perioadei experimentale

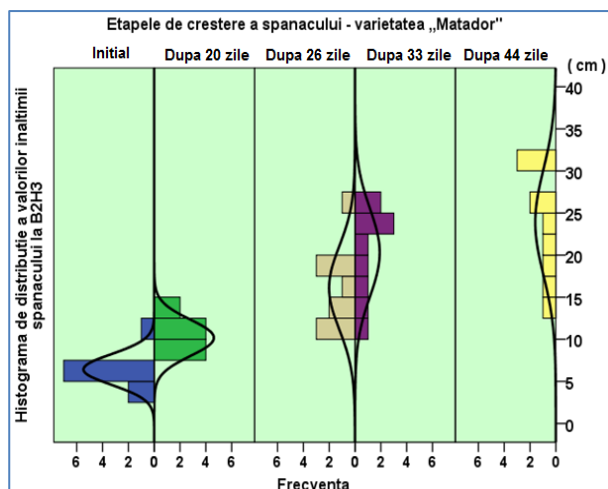


Fig. A. 62. Histograme de distribuție a valorilor înălțimii spanacului în cadrul B2H3, de-a lungul perioadei experimentale

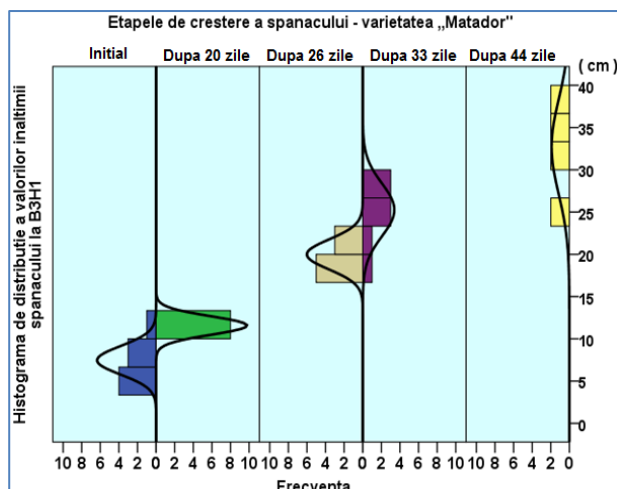


Fig. A. 63. Histograme de distribuție a valorilor înălțimii spanacului în cadrul B3H1, de-a lungul perioadei experimentale

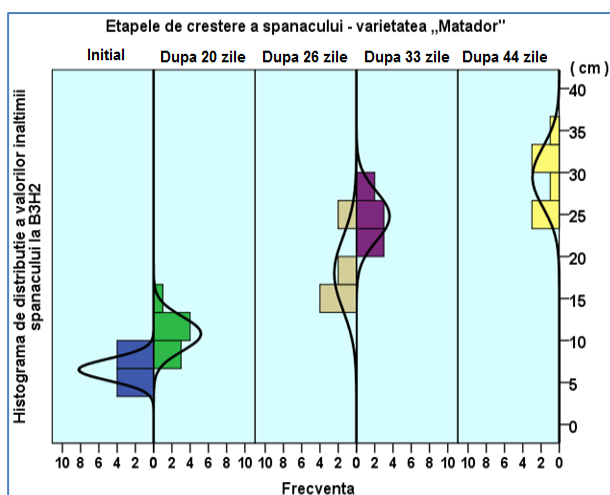


Fig. A. 64. Histogramele distribuției valorilor înălțimii spanacului în cadrul B3H2, de-a lungul perioadei experimentale

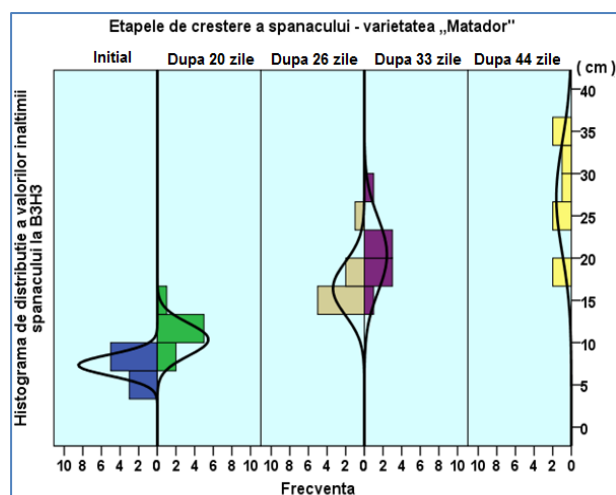


Fig. A. 65. Histogramele distribuției valorilor înălțimii spanacului în cadrul B3H3, de-a lungul perioadei experimentale

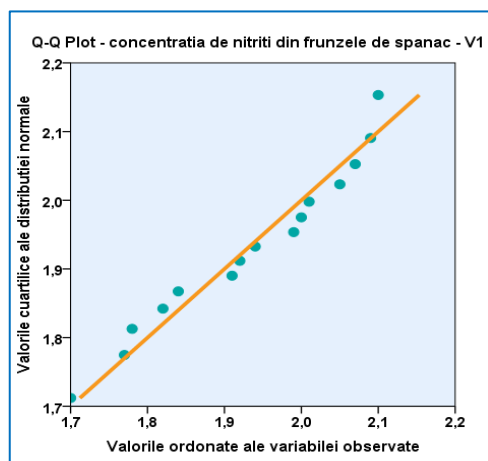


Fig. A. 66. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a spanacului, în cadrul variantei BH1 (V1)

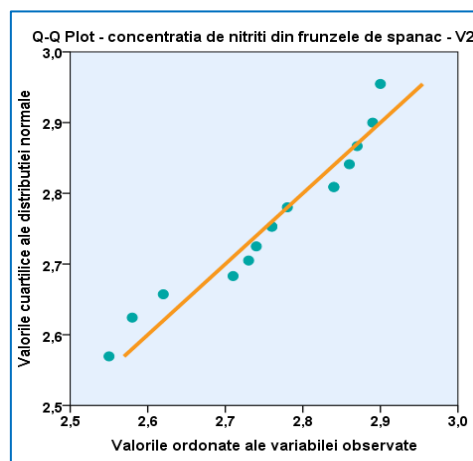


Fig. A. 67. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a spanacului, în cadrul variantei BH2 (V2)

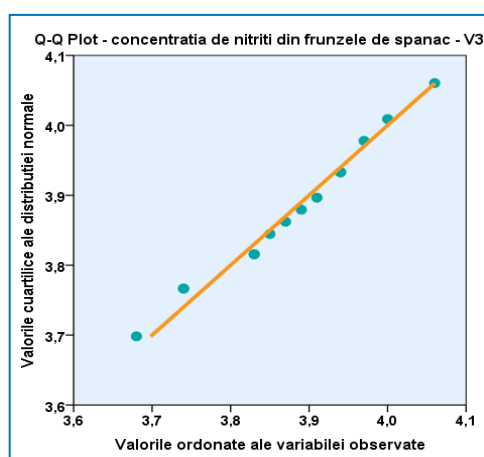


Fig. A. 68. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a spanacului, în cadrul variantei BH3 (V3)

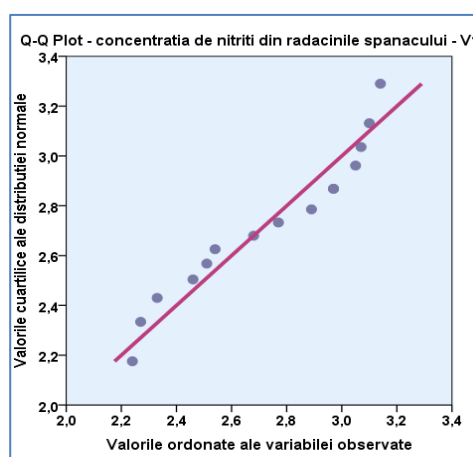


Fig. A. 69. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului, în cadrul variantei BH1 (V1)

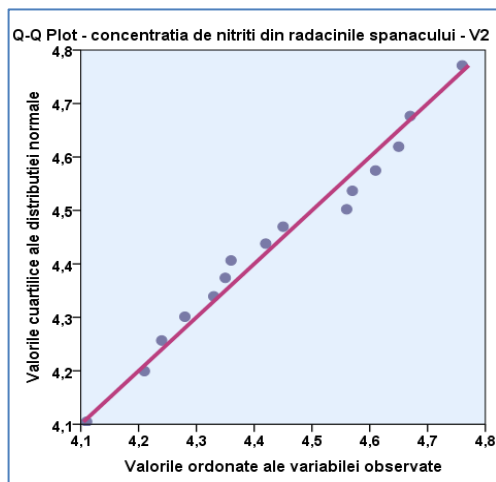


Fig. A. 70. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului, în cadrul variantei BH2 (V2)

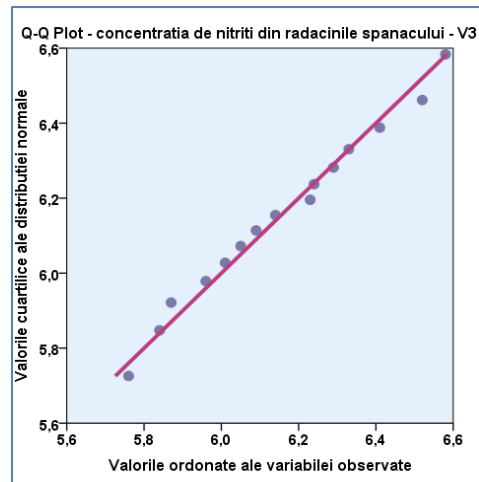


Fig. A. 71. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului, în cadrul variantei BH3 (V3)

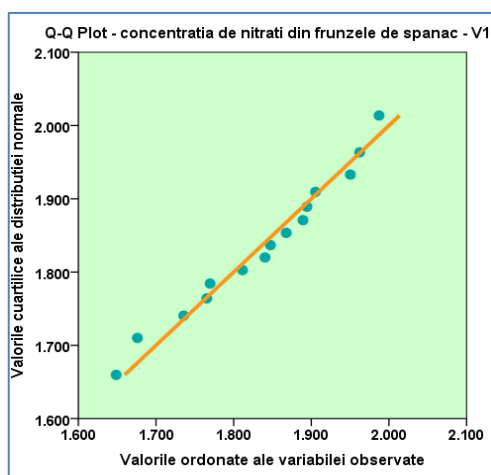


Fig. A. 72. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrati din biomasa foliară a spanacului, în cadrul variantei BH1 (V1)

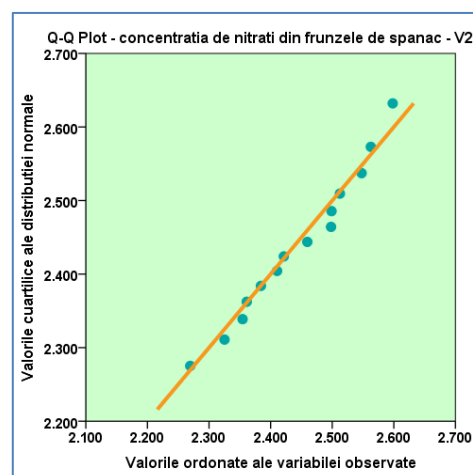


Fig. A. 73. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrati din biomasa foliară a spanacului, în cadrul variantei BH2 (V2)

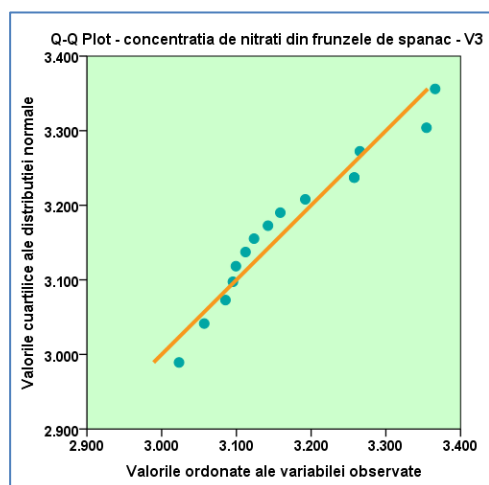


Fig. A. 74. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrati din biomasa foliară a spanacului, în cadrul variantei BH3 (V3)

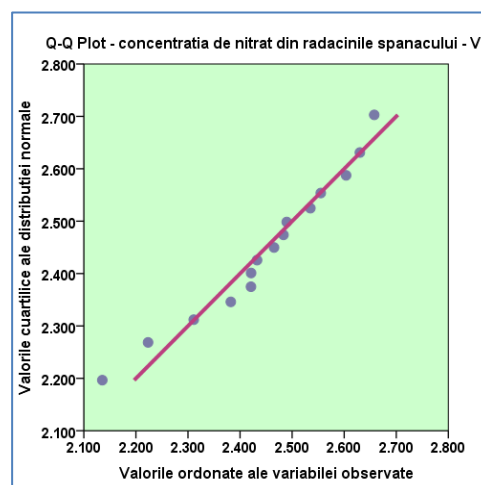


Fig. A. 75. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrati din biomasa radiculară a spanacului, în cadrul variantei BH1 (V1)

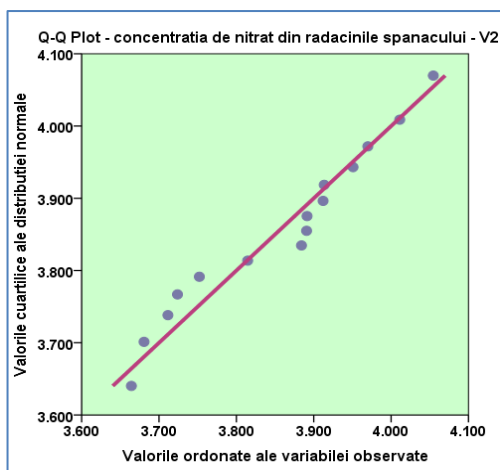


Fig. A. 76. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a spanacului, în cadrul variantei BH2 (V2)

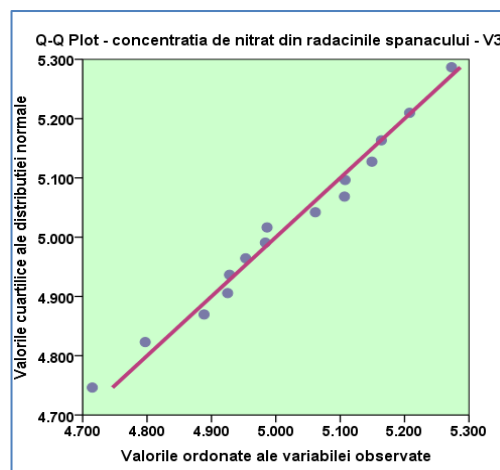


Fig. A. 77. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a spanacului, în cadrul variantei BH3 (V3)

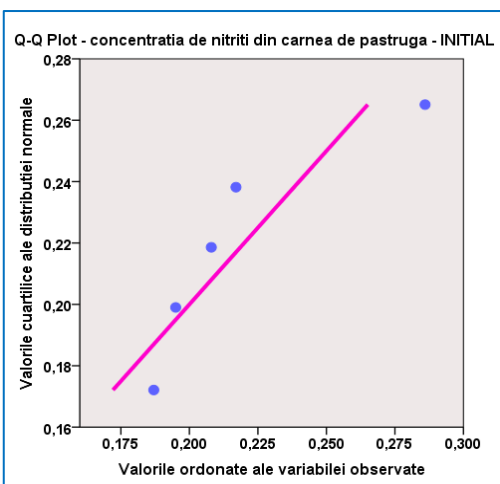


Fig. A. 78. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă, în momentul inițial începerii experimentului

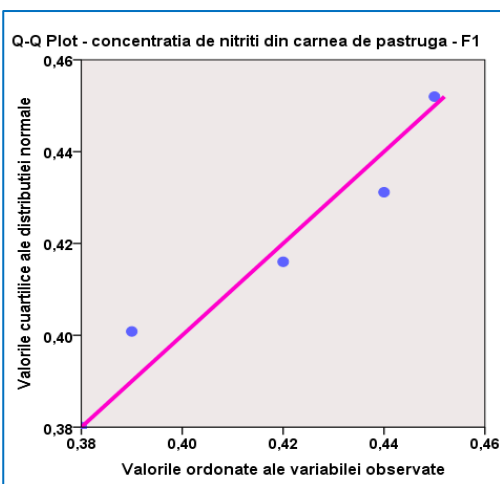


Fig. A. 79. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F1

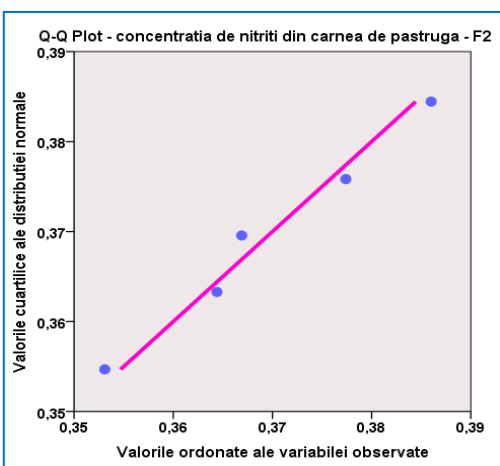


Fig. A. 80. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F2

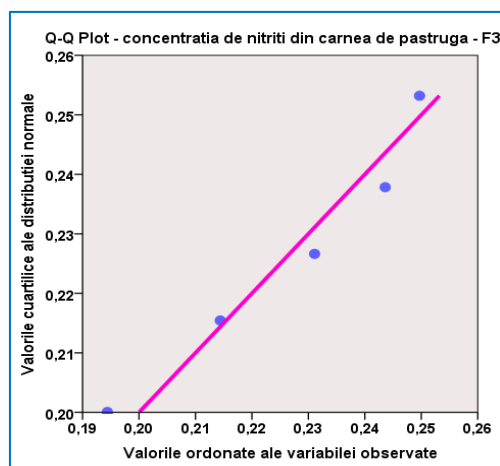


Fig. A. 81. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F3

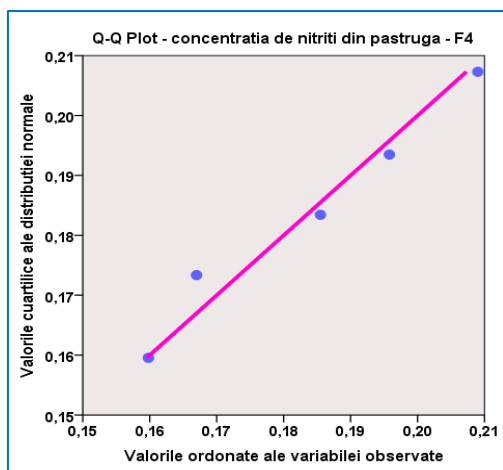


Fig. A. 82. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F4

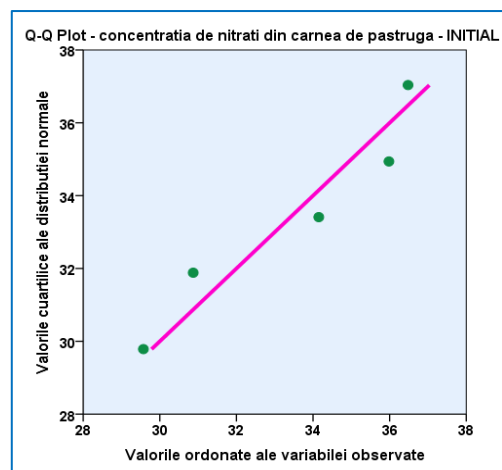


Fig. A. 83. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă, în momentul inițial începerii experimentului

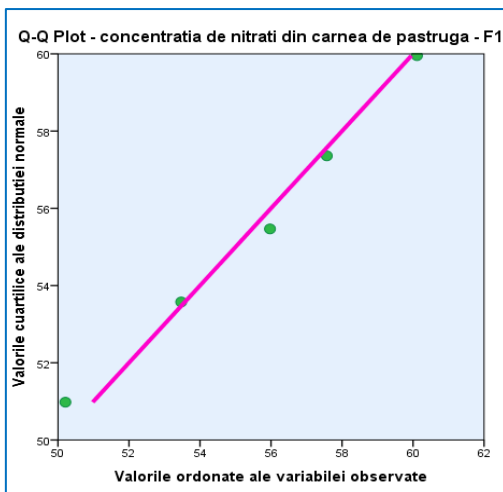


Fig. A. 84. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F1

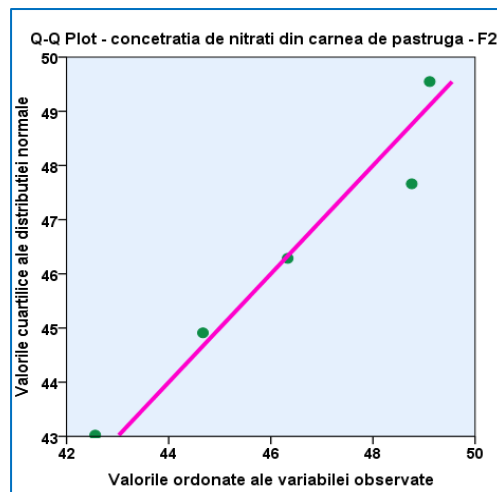


Fig. A. 85. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F2

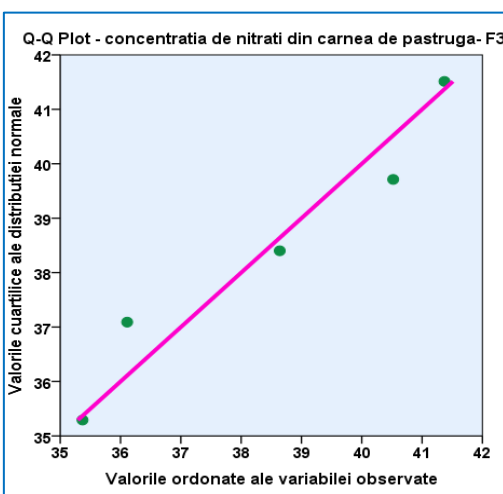


Fig. A. 86. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F3

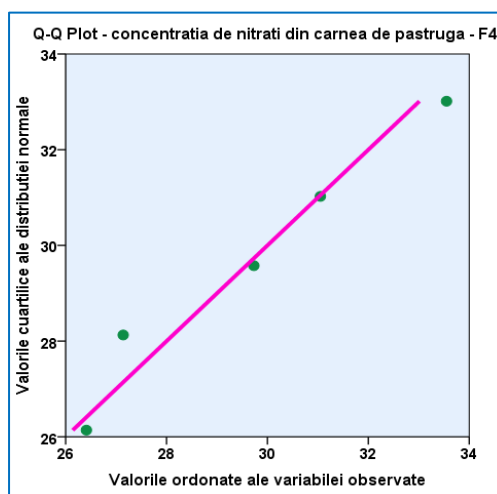


Fig. A. 87. Diagrama Q-Q plot a valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă, pentru varianta experimentală F4

ANEXE - SECȚIUNEA 2:

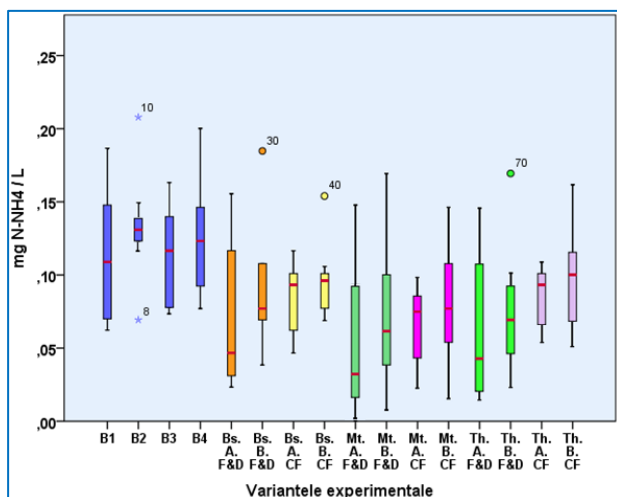


Fig. A2. 1. Distribuția valorilor concentrației de azot amoniacal la nivelul modului acvaponic

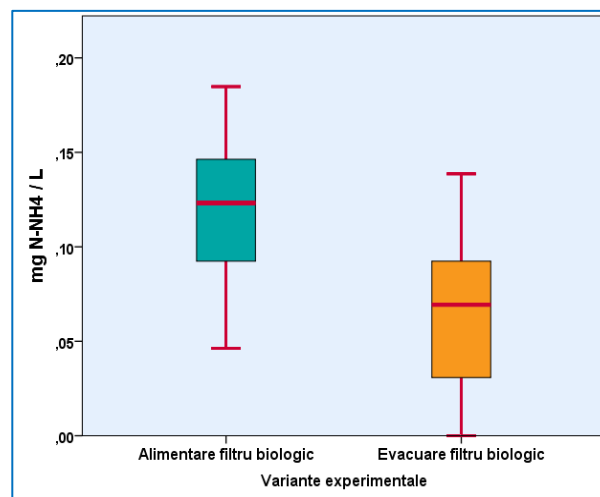


Fig. A2. 2. Distribuția valorilor concentrației de azot amoniacal la nivelul unității de filtrare biologică

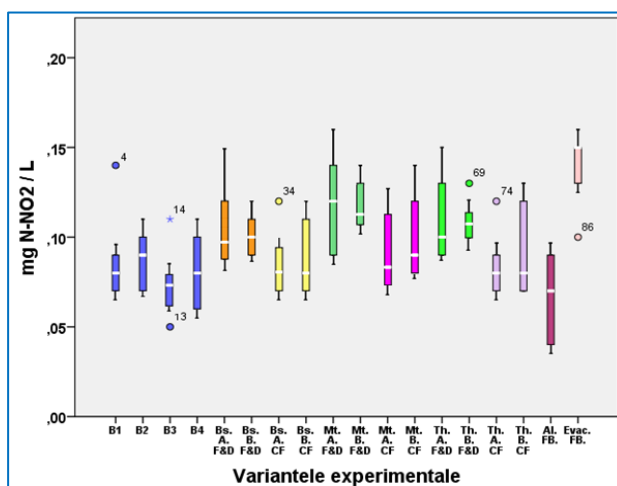


Fig. A2. 3. Distribuția valorilor concentrației de N-NO₂ la nivelul modului acvaponic și a unității de filtrare biologică

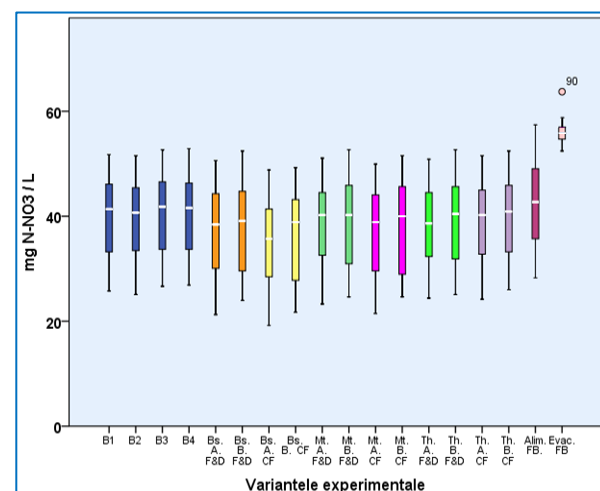


Fig. A2. 4. Distribuția valorilor concentrației de N-NO₃ la nivelul modului acvaponic și a unității de filtrare biologică

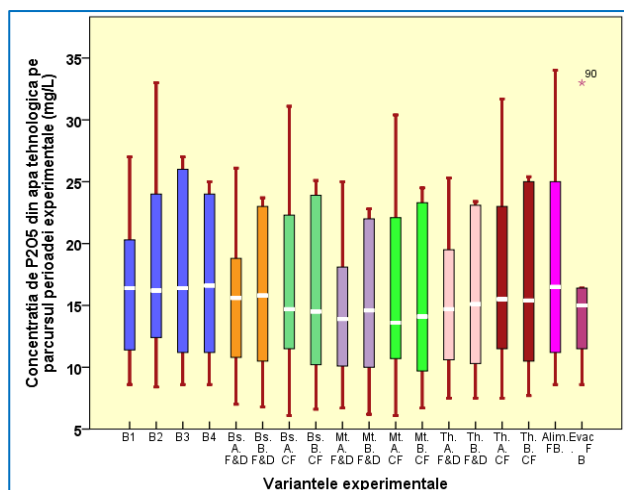


Fig. A2. 5. Distribuția valorilor concentrației de P_2O_5 la nivelul modului acvaponic și a unității de filtrare biologică

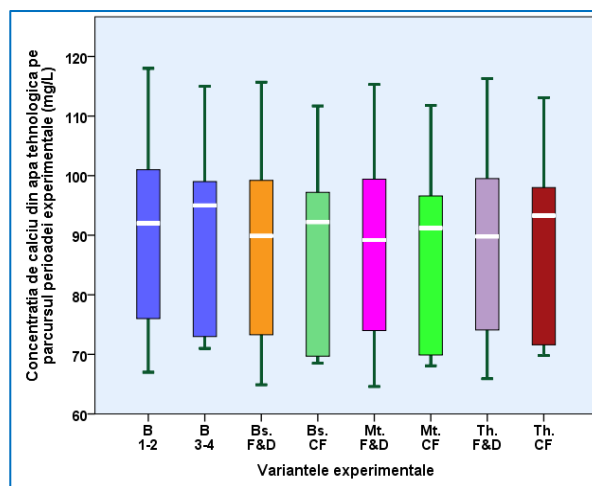


Fig. A2. 6. Distribuția valorilor concentrației de calciu la nivelul modului acvaponic

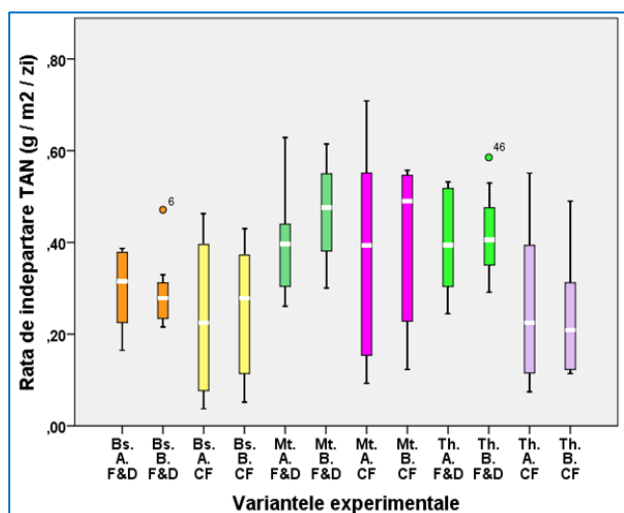


Fig. A2. 7. Distribuția valorilor ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul modului acvaponic

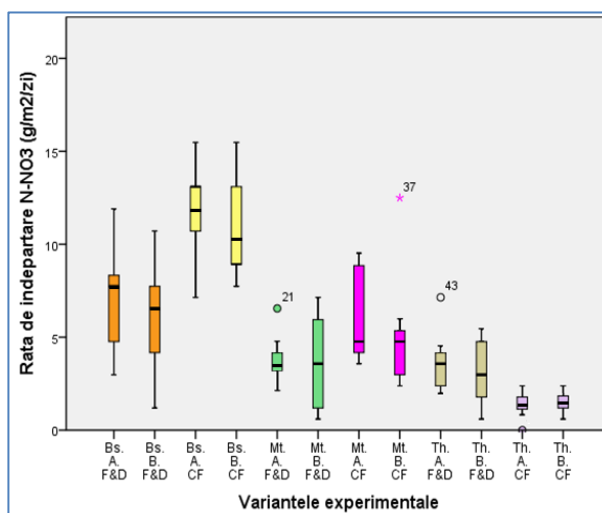


Fig. A2. 8. Distribuția valorilor ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul modului acvaponic

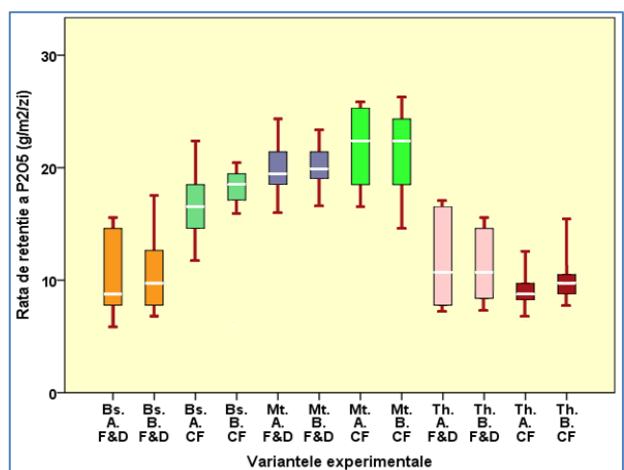


Fig. A2. 9. Distribuția valorilor ratei de retenție a fosforului la nivelul modului acvaponic

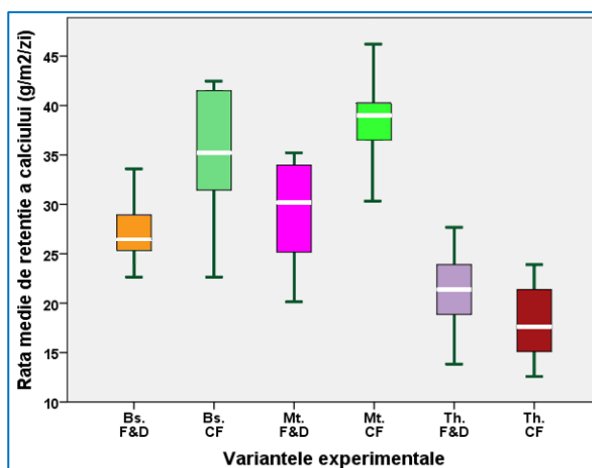


Fig. A2. 10. Distribuția valorilor ratei de retenție a calciului la nivelul modului acvaponic

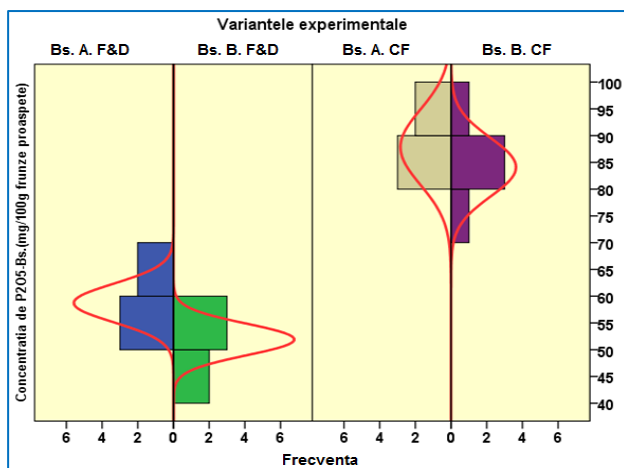


Fig. A2. 11. Histograme distribuției valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a busuiocului

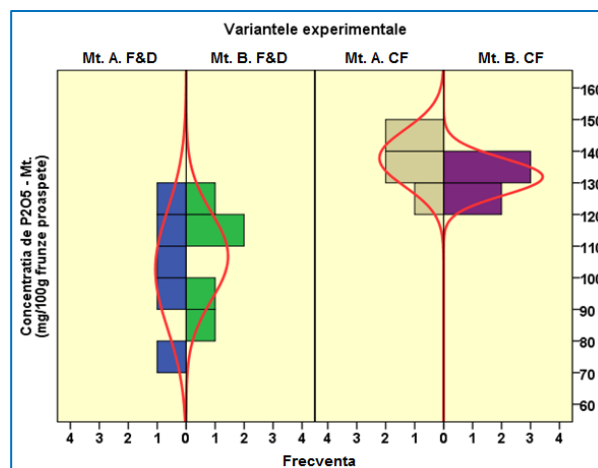


Fig. A2. 12. Histograme distribuției valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a mentei

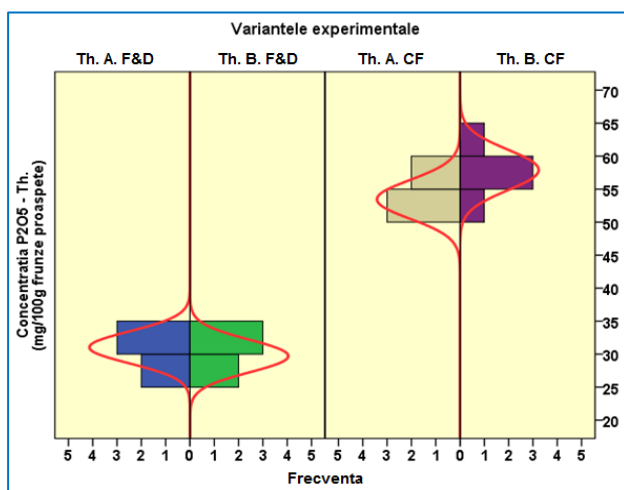


Fig. A2. 13. Histograme distribuției valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a tarhonului

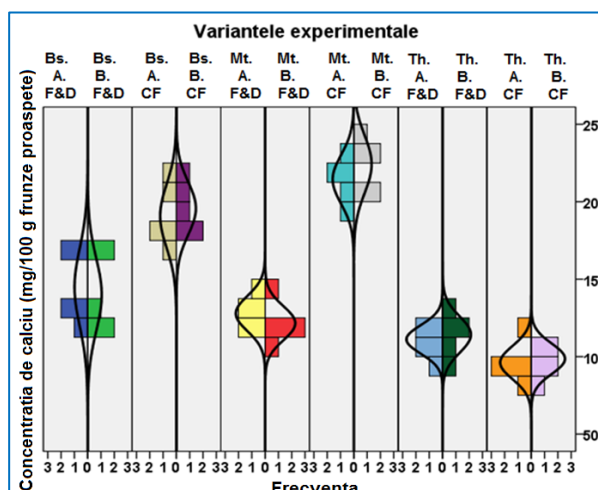


Fig. A2. 14. Histograme distribuției valorilor concentrației de calciu din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului

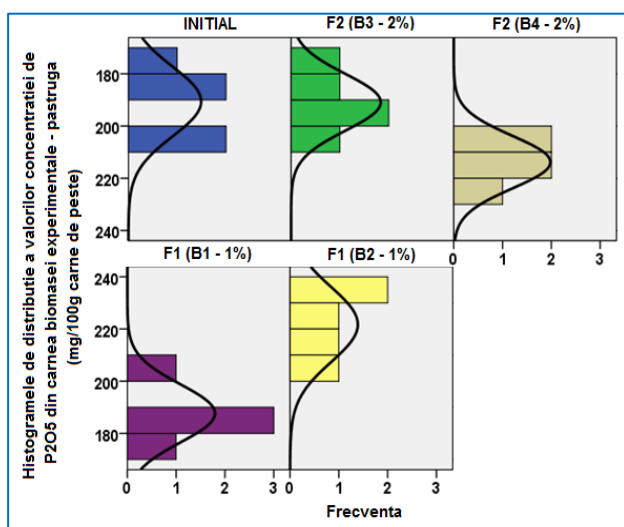


Fig. A2. 15. Histograme distribuției valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă

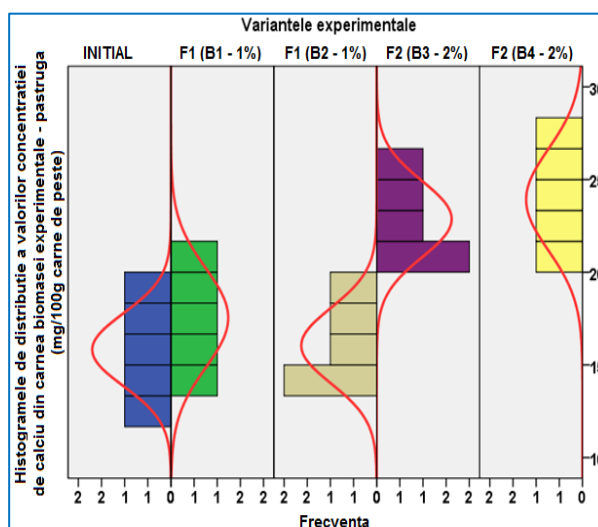


Fig. A2. 16. Histograme distribuției valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă

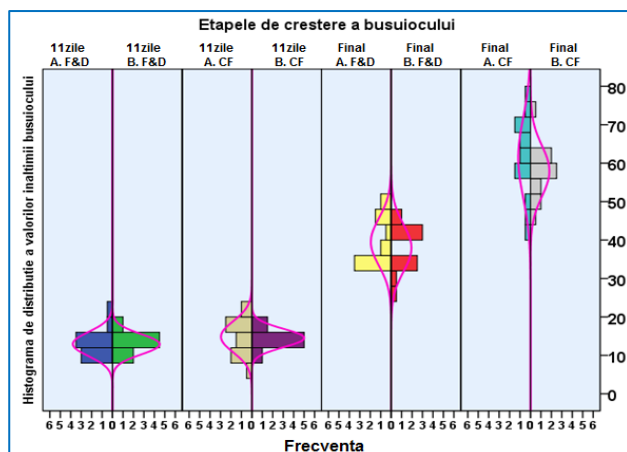


Fig. A2. 17. Histograme distribuției valorilor înălțimii busuiocului, de-a lungul perioadei experimentale

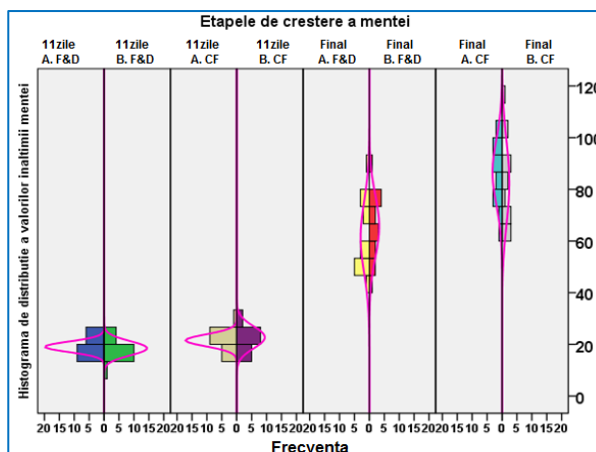


Fig. A2. 18. Histograme distribuției valorilor înălțimii mentei, de-a lungul perioadei experimentale

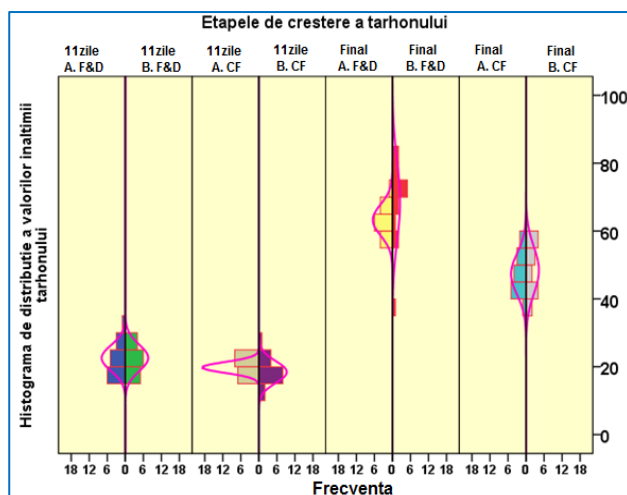


Fig. A2. 19. Histograme distribuției valorilor înălțimii tarhonului, de-a lungul perioadei experimentale

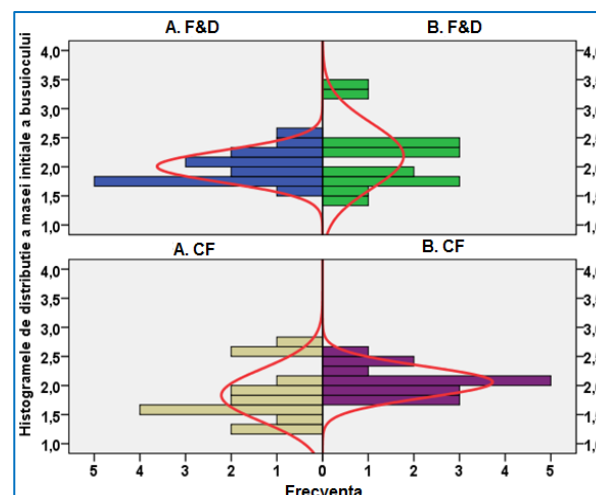


Fig. A2. 20. Histograme distribuției valorilor masei inițiale a busuiocului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

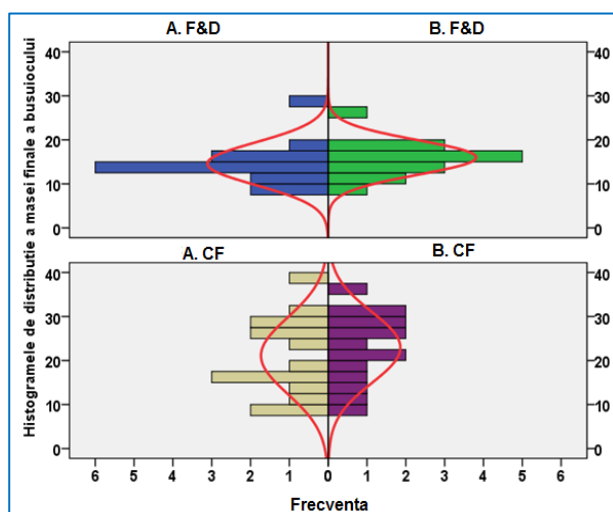


Fig. A2. 21. Histograme distribuției valorilor masei finale a busuiocului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

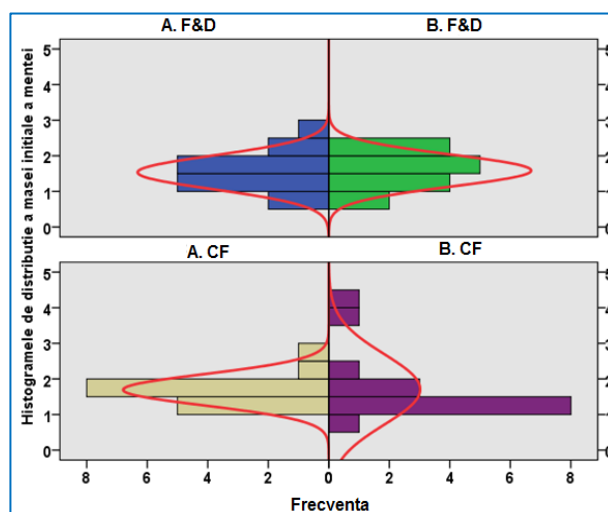


Fig. A2. 22. Histograme distribuției valorilor masei inițiale a mentei, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

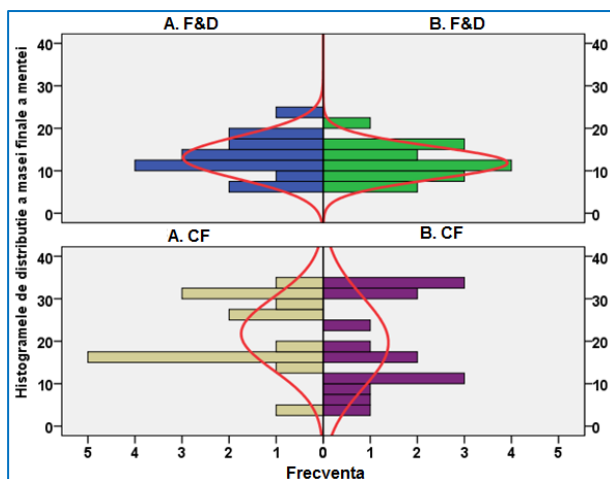


Fig. A2. 23. Histograme distribuției valorilor masei finale a mentei, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

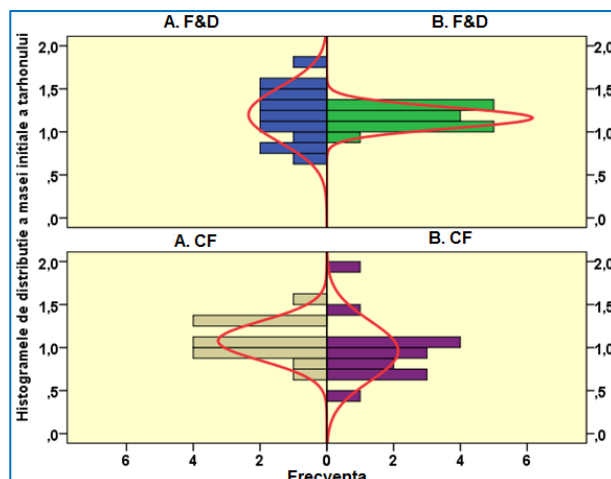


Fig. A2. 24. Histograme distribuției valorilor masei inițiale a tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

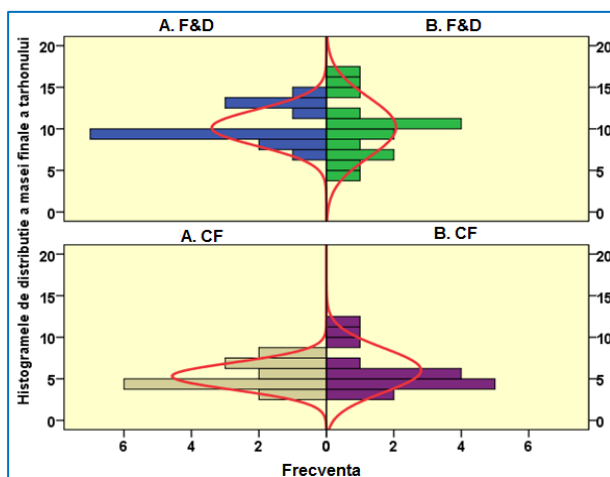


Fig. A2. 25. Histograme distribuției valorilor masei finale a tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

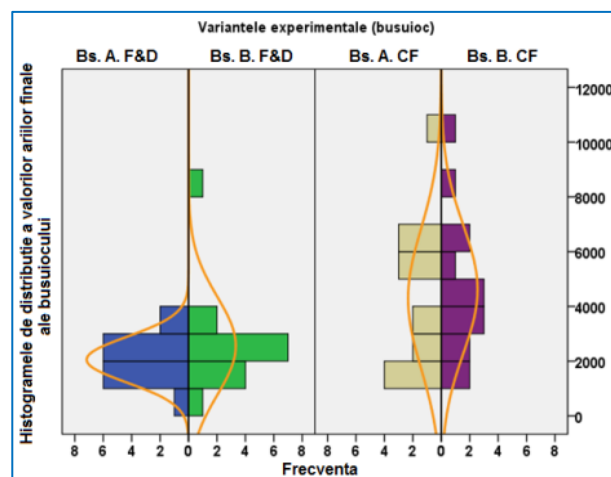


Fig. A2. 26. Histograme distribuției valorilor suprafeței foliare finale a busuiocului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

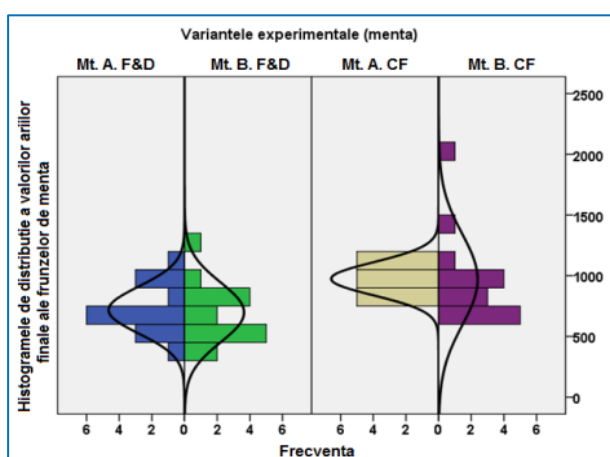


Fig. A2. 27. Histograme distribuției valorilor suprafeței foliare finale a mentei, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

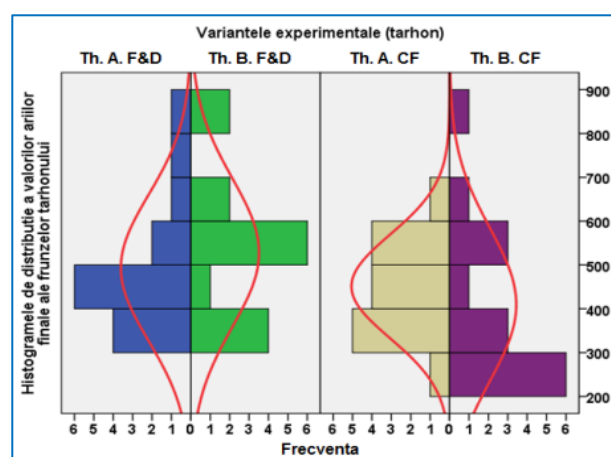


Fig. A2. 28. Histograme distribuției valorilor suprafeței foliare finale a tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

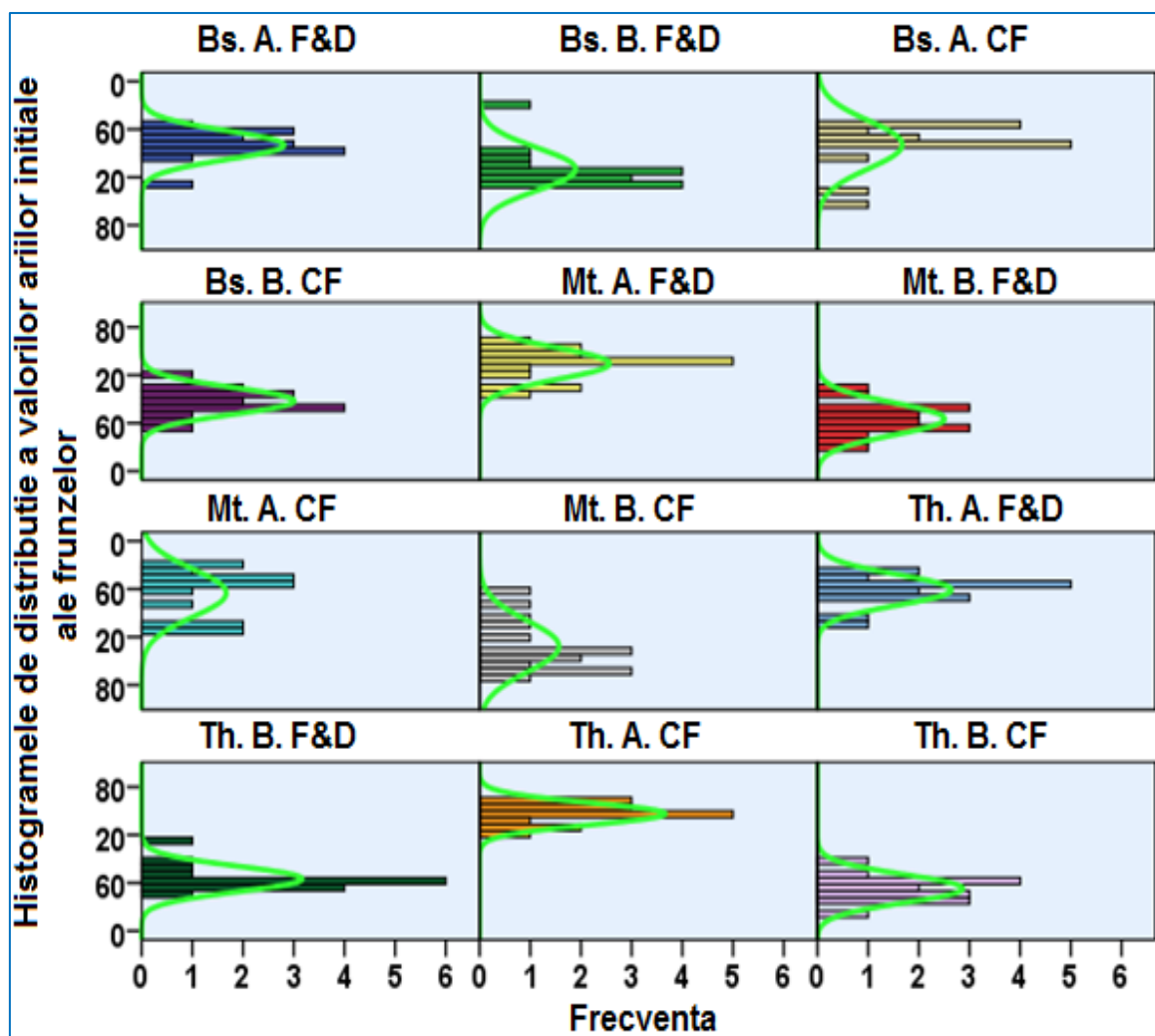


Fig. A2. 29. Histograme distribuției valorilor suprafeței foliare inițiale a biomasei de busuioc, mentă și tarhon, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

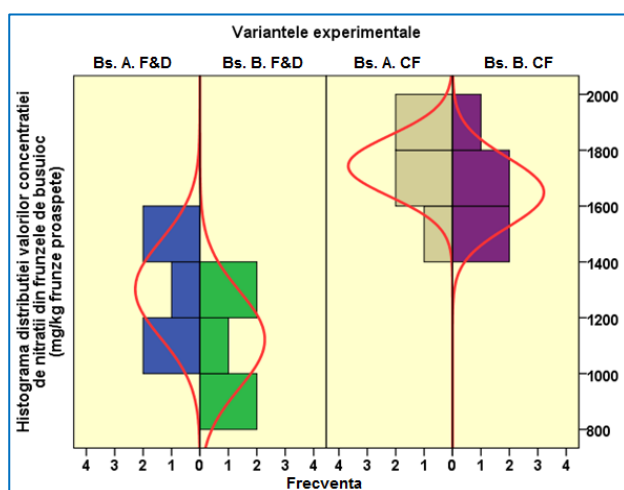


Fig. A2. 30. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a busuiocului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

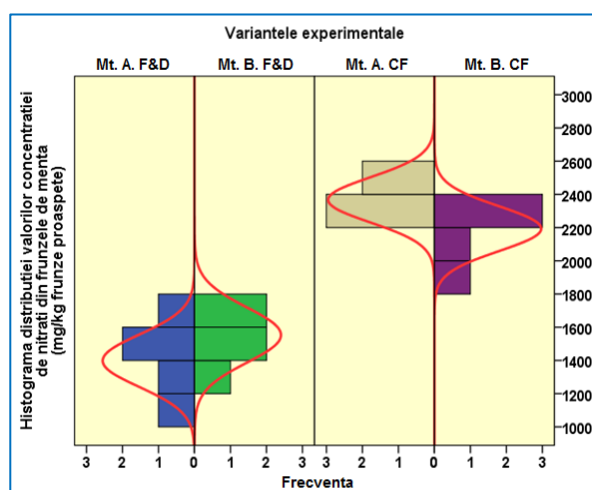


Fig. A2. 31. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a mentei, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

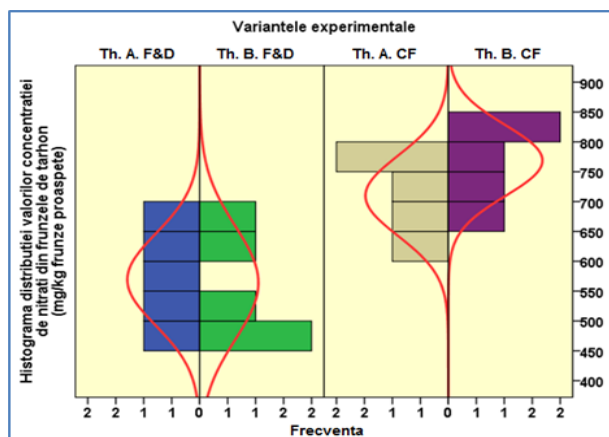


Fig. A2. 32. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

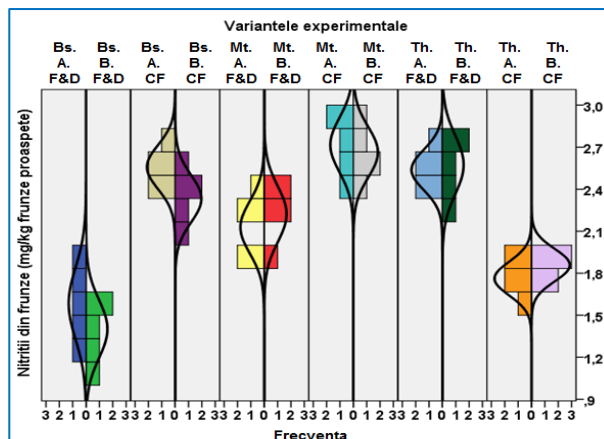


Fig. A2. 33. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

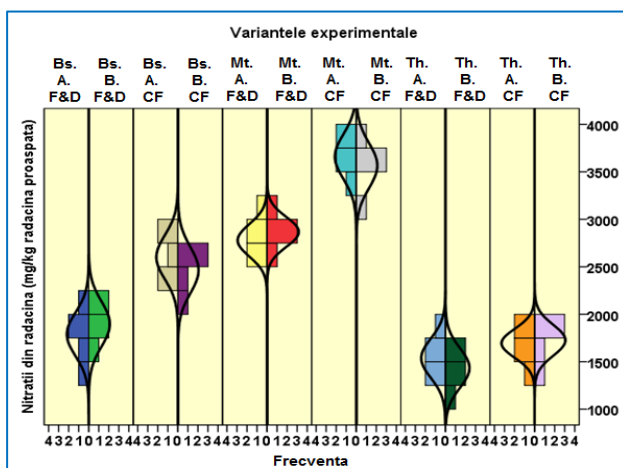


Fig. A2. 34. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

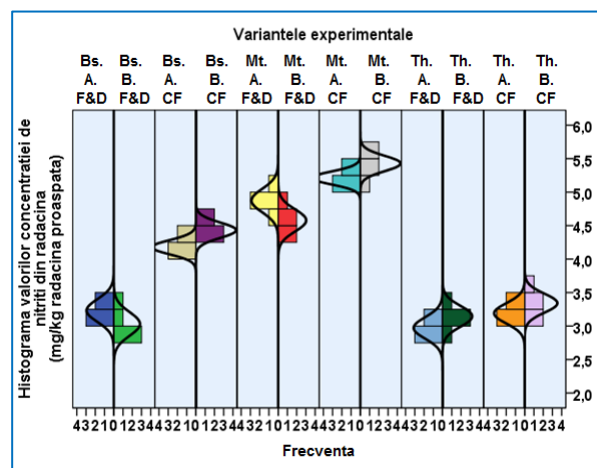


Fig. A2. 35. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

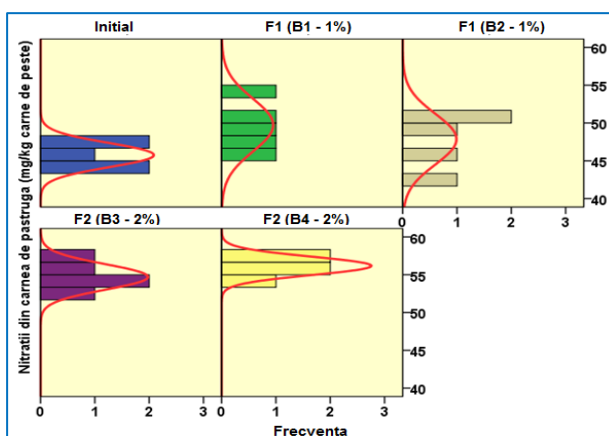


Fig. A2. 36. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitrați din carnea de păsruță

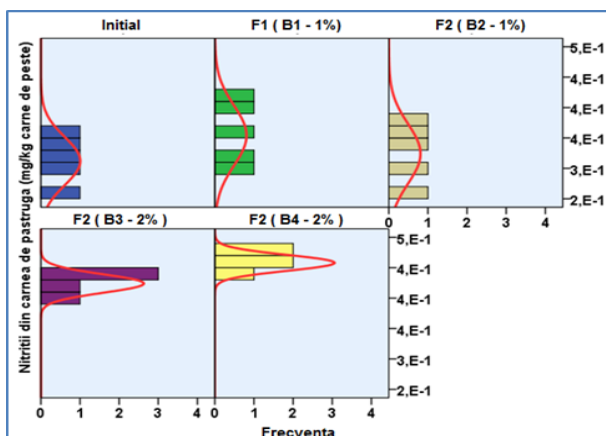


Fig. A2. 37. Histograme distribuției valorilor concentrației de nitriți din carnea de păsruță



Curriculum vitae Europass

Informații personale

Nume / Prenume

Adresă(e)

Telefon(oane)

E-mail(uri)

Naționalitate(-tăți)

Data nașterii

Sex

PETREA, Ștefan Mihai

Strada Rahovei, nr.214, Brăila, cod poștal 810529, România

Fix: +40 239694000

Mobil:

+40 765217068

petreastefanmihai@yahoo.com; stefan.petrea@ugal.ro

Română

28/12/1986

masculin

Locul de muncă vizat / Domeniul ocupațional

Educație și formare

Perioada

Diploma/ calificativul obținut

2012 - prezent

DIPLOMĂ DE LICENȚĂ

Competențe în domeniul de inginerie navala, transport naval, pregătire marinareasca, navigatie fluviala si marina.

Competențe profesionale
dobândite

Numele și tipul instituției de
învățământ / furnizorului de
formare

Nivelul în clasificarea națională
sau internațională

Universitatea Maritima din Constanța - Facultatea de Navigatie si Transport Naval, Specializarea: Navigatie, Transport Maritim și Fluvial

Instituție cu Grad Ridicat de Încredere

Perioada

Diploma/ calificativul obținut

Numele și tipul instituției de
învățământ / furnizorului de
formare

Nivelul în clasificarea națională
sau internațională

2011 - prezent

student doctorand

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați, Romania - Facultatea de Știința și ingineria Alimentelor; Departamentul Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru – Școala Doctorală de Inginerie.

ISCED 6

Perioada	2009 - 2011
Diplomă/calificativ obținut	DIPLOMA DE MASTERAT
Competențe profesionale dobândite	competențe în domeniul Ihtiopatologiei, a Nutriției, a Sistemelor Recirculante de Cultură a Peștilor, a Legislației privitoare la Pescuit și Industrializarea Peștelui, a Protecției Mediului și de asemenea a Economiei și Calcului Economic aplicat în Pescuit și Acvacultură, atât la nivel național cât și internațional – cu aplicabilitate pe fondurile UE.
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	În perioada Octombrie 2009 – Iulie 2010 am studiat la Universitatea „Dunărea de Jos” - Galați, România - Facultatea de Știința și Ingineria Alimentelor, Specializarea: Știința și Ingineria Bioresurselor Acvatice. În perioada Octombrie 2010 – Iulie 2011 am studiat la Universitatea Recep Tayyip Erdoğan, Rize, Turcia – Facultatea de Acvacultură și Pescuit, Specializarea: Acvacultură, unde am realizat două proiecte de cercetare cu următoarele teme: „Performanțele economice și tehnologice ale acvaculturii și fermelor piscicole de pe coasta turcă a Mării Negre” și „Un studiu experimental referitor la infecțiile cu <i>Pseudomonas putida</i> și <i>Pseudomonas fluorescens</i> asupra alevinilor de păstrăv curcubeu”, proiecte care au fost evaluate de comisia de specialitate a Universității Recep Tayyip Erdoğan și a Institutului de Cercetare Piscicolă Trabzon cu maximum de puncte, 100 puncte din 100 posibile și rezultatele consemnate în cadrul acestora au fost publicate. Menționez că cel de al II-lea proiect menționat a reprezentat o premieră în domeniul Ihtiopatologiei Alevinilor de Păstrăv.
Nivelul în clasificarea națională sau internațională	Atât Universitatea Recep Tayyip Erdoğan – Turcia, Facultatea de Acvacultură și Pescuit, cât și Universitatea „Dunărea de Jos”, Galați, România, Facultatea de Știința și Ingineria Alimentelor sunt cotate ca fiind Institutii cu Grad de Încredere Ridicat.
Perioada	2008 - 2010
Diplomă/ calificativul obținut	DIPLOMĂ DE MASTERAT
Competențe profesionale dobândite	Competențe în domeniul administrației publice, a dreptului administrativ și a managementului în administrația publică.
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Școala Națională de Științe Politice și Administrative, București, România - Facultatea de Administrație Publică, Specializarea: Managementul Administrației Publice
Nivelul în clasificarea națională sau internațională	Instituție cu Grad de Încredere Ridicat.
Perioada	2005 - 2009
Diplomă/ calificativul obținut	DIPLOMĂ DE LICENȚĂ
Competențe profesionale dobândite	Competențe în domeniul Industriei Alimentare în următoarele tehnologii: Tehnologia Conservei, Tehnologia Uleiului, Tehnologia Cărnii, Tehnologia Produselor Zaharoase, Tehnologia Produselor de Panificație, Tehnologia Fermentativă, Tehnologia Morăritului, cât și în domeniul Pescuitului, Acvaculturii și Industrializării Peștelui.
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea „Dunărea de Jos”, Galați, România, Facultatea de Știința și Ingineria Alimentelor, Specializarea: Inginerie Tehnologică.
Nivelul în clasificarea națională sau internațională	Instituție cu Grad Ridicat de Încredere
Perioada	2005 - 2008
Diplomă/ calificativul obținut	DIPLOMĂ DE LICENȚĂ
Competențe profesionale dobândite	Competențe în domeniul Contabilității, al Bazelor de Date, al Economiei, al Legislației în domeniu și al Informaticii de Gestiune.
Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare	Universitatea „Dunărea de Jos”, Galați, România, Facultatea de Științe Economice, Specializarea: Contabilitate și Informatică de Gestiune

Nivelul în clasificarea națională sau internațională

Instituție cu Grad Ridicat de Încredere

Perioada

2001 - 2005

Diploma/ calificativul obținut

DIPLOMĂ DE BACALAUREAT

Competențe profesionale dobândite

Tehnician în activități financiare și comerciale

Numele și tipul instituției de învățământ / furnizorului de formare

Colegiul Economic „Ion Ghica”, Brăila, România, Filiera Tehnologică, Profil Servicii

Nivelul în clasificarea națională sau internațională

Instituție cu Grad Ridicat de Încredere

Experiența profesională

Perioada

2010 - 2011

Numele angajatorului

Fermele piscicole din Provincia Trabzon, Turcia și Institutul de Cercetare Piscicolă Trabzon - Turcia

Tipul activității

Practică în domeniul ingineriei piscicole, atât la sisteme de creștere în mono-cultură cât și la cele de creștere în poli-cultură

Perioada

2009 - 2010

Numele angajatorului

Departamentul de Cercetare al Universității „Dunărea de Jos”, Galați, România

Tipul activității

Activitate la Sistemul Recirculant de Acvacultură

Perioada

2008 - 2009

Numele angajatorului

Casa Județeană de Pensii, Brăila, România

Tipul activității

Practică în domeniul administrației publice și a salarizării

Perioada

2007 - 2008

Numele angajatorului

Ferma Piscicola și Institutul de Cercetare Nucet, România

Tipul activității

Practică în domeniul ingineriei piscicole – cu accent pe creșterea și reproducerea sturionilor

Perioada

2006 - 2007

Numele angajatorului

Firma NaturalVit SRL., Brăila

Tipul activității

Practică în domeniul ingineriei în industria alimentară cu accent pe tehnologia produselor zaharoase.

Perioada

2000 - 2005

Numele angajatorului

Firma virtuală de exercițiu a Colegiului Economic „Ion Ghica”, Brăila, România.

Tipul activității

Practică în activități comerciale

Aptitudini și competențe personale

- Cursuri de specialitate, atașate ca supliment la diploma de licență, realizate în cadrul Universității „Dunărea de Jos”, Galați, România, în următoarele domenii: Tehnologia Conservelor; Tehnologia Uleiului; Tehnologia Cărnii; Tehnologia Produselor Zaharoase; Tehnologia Produselor de Panificație; Tehnologia Fermentativă; Tehnologia Morăritului.
- Diplomă CERCETĂTOR EMINENT – 2014, acordată de Univ. „Dunărea de Jos” și înmănată de Ministrul Delegat pentru Învățământ Superior, Cercetare Științifică și Dezvoltare Tehnologică, Mihnea Cosmin Costoiu.
- O serie de diplome și premii în cadrul manifestărilor științifice internaționale, obținute în perioada 2011-2014, acordate pentru articolele comunicate/publicate.
- Certificat de participare la „Întâlnirea Europeană a Tinerilor – 1st Turkey Youth Meeting”, organizată la Trabzon, Turcia, între 23-27 Februarie 2011, eveniment unde am fost singurul participant care a reprezentat România.
- Certificat de apreciere a activității desfășurate la Universitatea Recep Tayyip Erdoğan, Turcia, în perioada Octombrie 2010 – Iulie 2011, înmănat de către Rectorul Universității în cauză.
- Atestat – technician în activități economice, obținut în anul 2005 - nota 10
- Diplomă cu gradul KYU 3 în AIKIDO, precum și rugbist la R.C. Tracon Brăila, component de bază al echipei de Juniori II în perioada 2001 – 2004 și participant la numeroase turnee printre care și ediția a XXIV-a (Iunie 2003) a Trofeului București, competiție organizată de Federația Română de Rugby.

Limba maternă

Română

Limba(i) străină(e)
cunoscută(e)

Autoevaluare

Nivel european (*)

Limba**Limba****Limba**

Înțelegere		Vorbire		Scriere
Ascultare	Citire	Participare la conversație	Discurs oral	Exprimare scrisă
C2 Engleza	C2 Engleza	C2 Engleza	C2 Engleza	C2 Engleza
B1 Franceza	B1 Franceza	B1 Franceza	B1 Franceza	B1 Franceza
A2 Turca	A2 Turca	A2 Turca	A2 Turca	A2 Turca

(*) [Nivelul Cadrului European Comun de Referință Pentru Limbi Străine](#)

Competențe și abilități sociale

Munca în echipă, comunicare, ascultare, înțelegător, cooperant, generos, convingător, prietenos, amabil, responsabil, sociabil, cu tact, idealist, centrat pe probleme

Competențe și aptitudini organizatorice

Conformist, conștiincios, atent, ordonat, consecvant, eficient, cu o imaginație bogată.

Competențe și aptitudini tehnice

Utilizarea aparatelor și echipamentelor tehnice de laborator și multimedia, dexteritate, practic, analitic, precaut, coordonare manuală și digitală

Competențe și aptitudini de utilizare a calculatorului

Utilizator experimentat al sistemelor de operare Microsoft și al aplicațiilor Microsoft Office, Visual FoxPro, AutoCAD, IBM SPSS.

Competențe și aptitudini artistice

Amator de carte beletristică, istorică și socială, teatru și concerte de muzică clasică și modernă, expresiv, idealist, imaginativ, lipsit de inhibiții practice, original.

Alte competențe și aptitudini

Disciplina, seriozitatea, receptivitatea față de nou, adaptabilitatea, creativitatea și originalitatea, interesul și efortul pentru perfecționarea profesională continuă; hobby: înot, acvaristică, rugby, aikido

Permis(e) de conducere

Categorii B, obținut în anul 2005

Întocmit ,
PETREA Ștefan Mihai