



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Fondul Social European
POSDRU 2007-2013



Instrumente Structurale
2007-2013



MINISTERUL
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

REZUMAT 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 DIAȚONESCU	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

OIPOSDRU



Universitatea Politehnica
din București

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



REZUMAT 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



C11147/04.11.2014

Către

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați vă face cunoscut că, în data de **28.11.2014**, ora **11.00**, în **sala Q 27 a Facultății de Științe și Ingineria Alimentelor**, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată: **„CERCETĂRI PRIVIND OPTIMIZAREA TEHNICILOR ACVAPONICE DE CONTROL A CALITĂȚII APEI ÎN SISTEMELE RECIRCULANTE DE ACVACULTURĂ”**, elaborată de doamna/domnul **PETREA ȘTEFAN-MIHAI**, în vederea conferirii titlului științific de doctor în domeniul de doctorat **Inginerie industrială**.

Comisia de doctorat are următoarea componență :

- 1. Președinte** **Prof.univ.dr.ing. Petru ALEXE**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
- 2. Conducător de doctorat** **Prof.univ.dr.ing. Victor CRISTEA**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
- 3. Referent oficial** **Prof.univ.dr.ing. Ștefan DIACONESCU**
Universitatea de Științe Agronomice și Medicină Veterinară București
- 4. Referent oficial** **Prof.univ.dr.ing. Benone PĂSĂRIN**
Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară „Ion Ionescu
de la Brad” din Iași
- 5. Referent oficial** **Conf.univ.dr.ing. Lorena DEDIU**
Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Cu această ocazie vă transmitem rezumatul tezei de doctorat, și vă invităm să participați la susținerea publică. În cazul în care doriți să faceți eventuale aprecieri sau observații asupra conținutului lucrării, vă rugăm să le transmiteți în scris pe adresa universității, str. Domnească nr. 47, 800008 Galați, Tel.: +40 236 461 353, e-mail rectorat@ugal.ro.

Rector,

Prof. univ. dr. ing. Iulian Gabriel BÎRSAN

Iulian Gabriel Bîrsan



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 trezii 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 Cadatru al Universității „Dunărea de Jos”, Galați.

Doresc să mulțumesc **D-nei Conf. Dr. Ing. Lorena Dediu** 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 Cadatru 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 PĂȘĂRIN**, 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 BORS** 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 teză/rezumat

Introducere.....	iii/iii
Structura tezei.....	- /vi

PARTEA I. ANALIZA DATELOR DIN LITERATURA DE SPECIALITATE

CAPITOLUL I. Stadiul actual al cunoașterii în problematica abordată.....	1/1
1.1. Considerații generale legate de conceptul de sistem recirculant integrat.....	3/1
1.1.1. Acvacultura și sistemele de producție din acvacultură.....	3/1
1.1.2. Acvaponia și sistemele acvaponice de producție.....	12/1
1.2. Tehnicile acvaponice de control a calității apei tehnologice în cadrul sistemelor recirculante integrate.....	18/2
1.2.1. Tehnica de cultură pe suport flotabil (DWC – deep water culture).....	18/2
1.2.2. Tehnica filmului de nutrienți (NFT – nutrient film technique).....	20/2
1.2.3. Tehnica de cultură pe substrat, în regim permanent (continuous flow) și intermitent (ebb and flow/flood and drain) de submersie.....	23/3
1.2.4. Managementul operațional al sistemelor recirculante integrate.....	26/3
1.3. Tehnologiile de creștere a biomasei piscicole și vegetale în cadrul sistemelor recirculante integrate.....	29/3
1.3.1. Dinamica nutrienților și calitatea apei în cadrul sistemelor recirculante integrate.....	29/4
1.3.2. Combinații de specii de pești - plante fezabile a fi aplicate în cadrul sistemelor recirculante integrate.....	35/4

PARTEA II. ACTIVITATEA EXPERIMENTALĂ

CAPITOLUL II. Materiale, metode și tehnici de investigare utilizate în cercetare.....	41/5
2.1. Proiectarea și realizarea infrastructurii de cercetare	43/5
2.1.1. Stabilirea parametrilor hidraulici de bază în cadrul unui sistem recirculant integrat.....	43/5
2.1.2. Sistemul pilot recirculant integrat tip DWC.....	46/5
2.1.3. Sistemul pilot recirculant integrat, cu substrat de argilă structurată (LECA light- expanded clay aggregate) și regim permanent și intermitent de submersie.....	49/7
2.2. Material biologic.....	57/10
2.3. Metode de lucru și aparatură pentru determinarea parametrilor fizico – chimici ai apei tehnologice.....	59/10
2.4. Metode privind evaluarea indicatorilor de performanță tehnologică a materialului biologic vegetal și piscicol.....	61/11
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.....	64/11
2.5.1. Determinarea concentrației de proteine și lipide.....	64/11
2.5.2. Determinarea concentrației de azot (TKN), calciu, pentoxid de fosfor (P ₂ O ₅), nitriți (NO ₂) și nitrați (NO ₃)	65/11
2.5.3. Determinarea umidității și a substanțelor minerale totale (cenușa)	66/11
2.6. Determinarea pigmentilor verzi clorofilieni și a celor galbeni carotenoizi	67/12
2.7. Metode de prelucrare statistică a datelor.....	69/12

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)	71/13
3.1. Ipoteza asumată	73/13
3.2. Design experimental.....	74/13
3.3. Rezultate și discuții.....	76/14
3.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului	76/14
3.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului	85/17
3.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului	93/19
3.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale	104/23
3.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole	113/24
3.4. Concluzii.....	120/-
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	125/26
4.1. Ipoteza asumată	127/26
4.2. Design experimental	128/26
4.3. Rezultate și discuții	130/27
4.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului	130/27
4.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului	140/29
4.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului	148/32
4.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale	159/35
4.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole	171/37
4.4. Concluzii	179/-
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 L.</i>), folosind tehnica de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent și intermitent de submersie.....	187/39
5.1. Ipoteza asumată	189/39
5.2. Design experimental	190/40
5.3. Rezultate și discuții	193/40
5.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului	193/40
5.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului	204/42
5.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului	214/45
5.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale și a celei piscicole	234/48
5.3.5. Compoziția biochimică, chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole	251/48
5.4. Concluzii	263/-
CAPITOLUL VI. Concluzii finale, contribuții personale, direcții ulterioare de cercetare.....	271/50

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 măririi productivității acestora și totodată limitării efectului negativ manifestat asupra mediului înconjurător este imperativă.

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.

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 a unui sistem acvaponic integrat, din punct de vedere al potențialului de fito și bioremediere și al randamentul 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 dracuncululus L.*).

✓ *Evaluarea sub aspect cantitativ și calitativ a biomasei 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 protoalelor 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 acelorși 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.

Structura tezei de doctorat

Teza de doctorat este alcătuită din două părți, structurate în 6 capitole, împreună cu secțiunile de anexe aferente acestora. Astfel, lucrarea de față cuprinde 278 pagini, din care partea de documentare 40 pagini și partea experimentală 238 pagini, conținând 459 figuri, precum și 21 tabele. Pentru elaborarea tezei s-au utilizat 333 referințe bibliografice.

Capitolul I, Stadiul actual al cunoașterii în problematica abordată, cuprinde 3 subcapitole ce fac referire la sistemele acvaponice de producție, tehnicile acvaponice de control a calității apei tehnologice în cadrul sistemelor recirculante integrate și de asemenea, tehnologiile de creștere a biomasei piscicole și vegetale în cadrul sistemelor recirculante integrate.

Capitolul II, Materiale, metode și tehnici de investigare utilizate în cercetare, prezintă detaliat pașii întreprinși în vederea proiectării și realizării infrastructurii de cercetare și anume, integrarea modulului acvaponic în cadrul celor două sisteme recirculante integrate existente în cadrul Departamentului de Acvacultură, Știința Mediului și Cadastru, Universitatea „Dunarea de Jos”, Galați.

Capitolul III are drept scop principala evaluarea potențialului de fitoremediere și al randamentului producției culturii de spanac (*Spinacia oleracea*) într-un sistem recirculant integrat, folosind tehnica de cultură pe suport flotabil (DWC).

În cadrul **Capitolului IV** s-a urmărit potențialul de bioremediere și randamentul producției culturii de spanac (*Spinacia oleracea*) într-un sistem recirculant integrat, folosind tehnica de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent de submersie.

Potențialul de bioremediere și randamentul producției culturii de busuioc (*Ocimum basilicum*), mentă (*Mentha piperita*) și tarhon (*Artemisia dracuncululus L.*), folosind tehnica de cultură pe substrat de argilă structurată (LECA), în regim permanent și intermitent de submersie este principalul obiectiv din cadrul **Capitolului V**.

Concluzii finale și de asemenea, contribuțiile personale și direcțiile ulterioare de cercetare au fost expuse în cadrul **Capitolului VI** al prezentei teze de doctorat.

Rezultatele obținute au un puternic caracter aplicativ, cu referire exactă 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.

PARTEA I.

CAPITOLUL I

STADIUL ACTUAL AL CUNOAȘTERII ÎN PROBLEMATICA ABORDATĂ

1.1. CONSIDERAȚII GENERALE LEGATE DE CONCEPTUL DE SISTEM RECIRCULANT INTEGRAT

1.1.1. Acvacultura și sistemele de producție din acvacultură

Acvacultura sustenabilă implică creșterea diverselor specii de pești, având în general scop comercial, fără a avea impact negativ asupra mediului înconjurător. În urma unei analize predictive asupra producției acvacoale, 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].

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 întrebuintare 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 acvacoale. 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].

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 inginerescă, 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

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].

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 acvocolă 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].

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.

Ciclul azotului în cadrul unui sistem recirculant integrat implică valorificarea acestuia de către biomasa vegetală după o prealabilă filtrare biologică (fig.1.1). 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].

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.

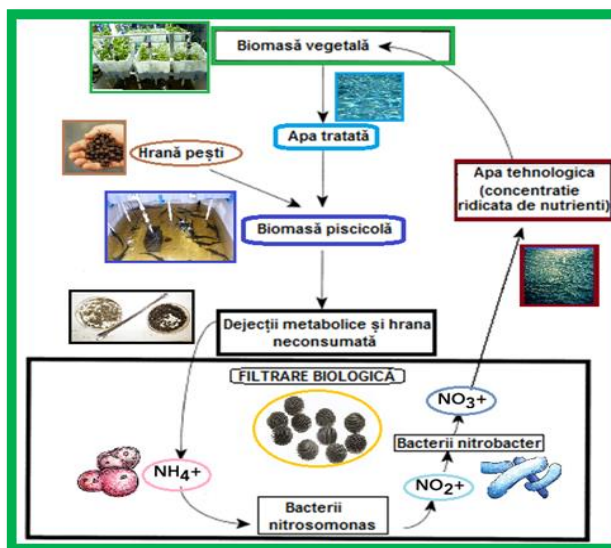


Fig.1.1. Ciclul procesului de producție într-un sistem recirculant integrat

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.

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.

Drept urmare, tehnica acvaponică DWC poate fi caracterizată 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 interioară 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.

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.

În urma analizei literaturii de specialitate, 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 vasta 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.

Se precizează 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 sistemelor 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 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].

Astfel, 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.

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.

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

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].

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.

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 Buonomo 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.

CAPITOLUL II

MATERIALE, METODE ȘI TEHNICI DE INVESTIGARE UTILIZATE ÎN CERCETARE

2.1. PROIECTAREA ȘI REALIZAREA INFRASTRUCTURII DE CERCETARE

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.

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 modulului 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 m³, având următoarele dimensiuni 360 x 375 x 980 mm. Atât alimentarea cât și evacuarea unităților de creștere se realizează gravitațional, prin conducte de polipropilenă cu diametrul de 50 mm.

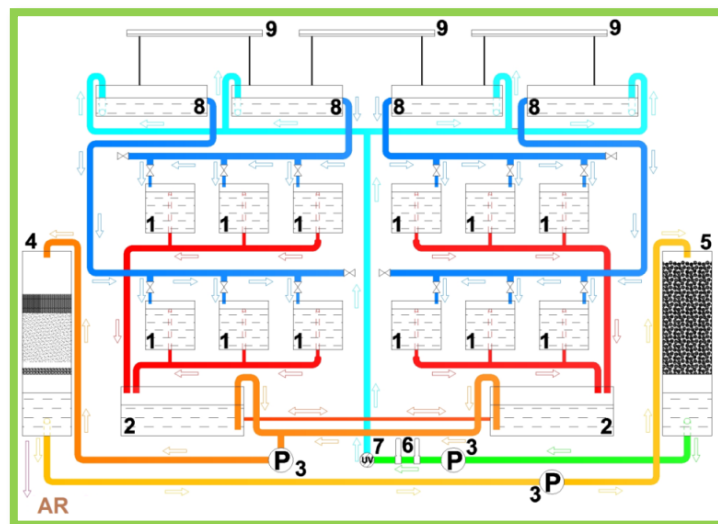


Fig. 2.1. Schema tehnologică a sistemului recirculant integrat de tip DWC (schemă originală)

Unitățile acvaponice au formă rectangulară, sunt confecționate din sticlă de grosime 10 mm și au dimensiuni de 900x600x250 mm (fig. 2.2). 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. 2.2).

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.

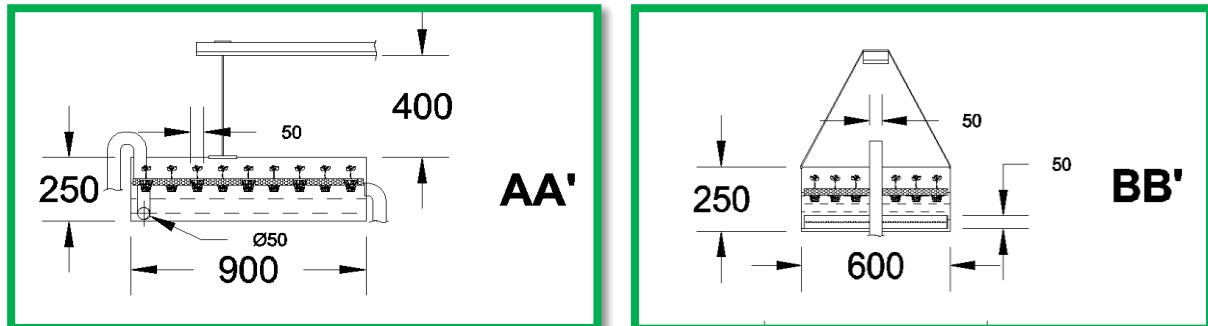


Fig. 2.2. Unitate acvaponică în vedere laterală (AA') și vedere frontală (BB') (schemă originală)

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. 2.3), 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.

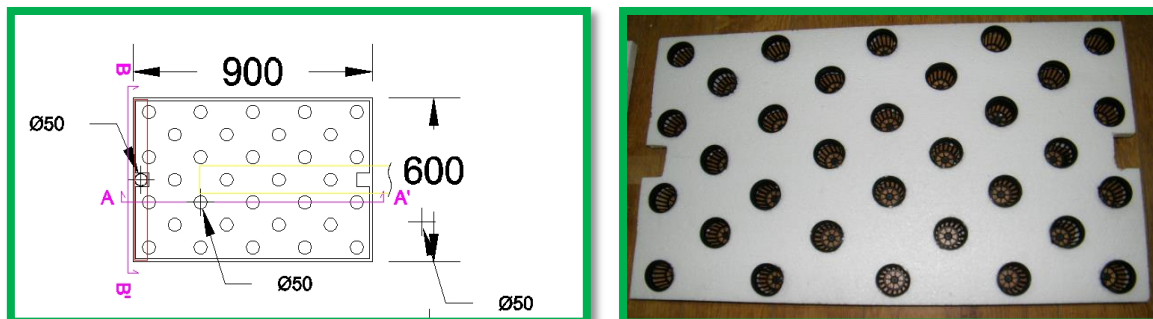


Fig. 2.3. Suport flotabil din plăci de polistiren întrebuințat în cadrul tehnicii acvaponice DWC (schemă și foto. originale)

În interiorul orificiilor au fost introduși suporturi tip plasă, din plastic, ce servesc drept suport pentru suprafața radiculară a biomasei vegetale (fig. 2.4). 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. 2.4).



Fig. 2.4. 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. 2.2) 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. 2.5). Acest înveliș a fost confecționat din folie reflectorizantă Groflective Mylar, cu un coeficient de reflexie totală cuprins între 90 - 95% (fig. 2.5).



Fig. 2.5. 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 întrebuițate 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. 2.6).

Înălțimea unităților de creștere este de 0,8 m, cu o lungime a apoteimei 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.

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. Alimentarea grupurilor de unități acvaponice se realizează prin intermediul pompelor tip HAILEA HX 6830, cu următoarele caracteristici tehnice: puterea 150W, voltaj 110-120/220-2740V, frecvența 50/60Hz, înălțimea maximă de pompare 3,2m, diametrul de refulare 23,5 mm și debitul de 2000L/h (fig. 2.7).

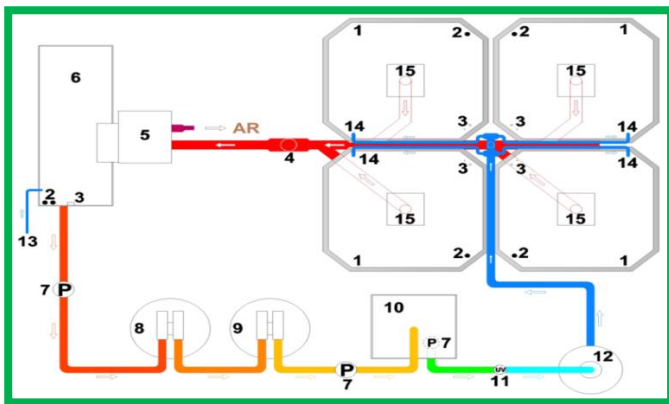


Fig. 2.6. Schema tehnologică a sistemului recirculant integrat cu substrat (schemă originală)



Fig. 2.7. 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. 2.8).

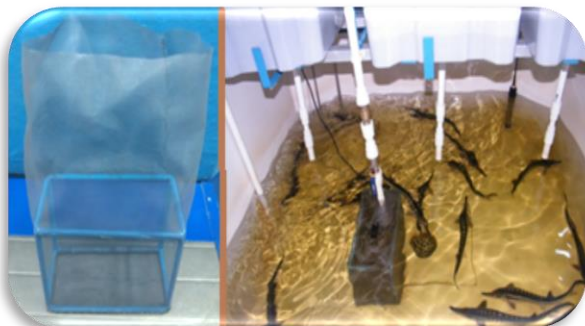


Fig. 2.8. Carcasa de protecție a pompelor submersibile (foto. original)

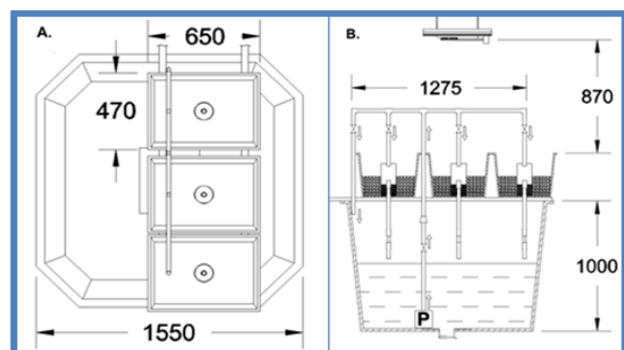


Fig. 2.9. Grup de unități acvaponice: A. Vedere de sus; B. Secțiune transversală (schemă originală)

Unitățile din cadrul modulului acvaponic sunt grupate, fiecare unitate de creștere fiind în corespondență directă cu trei unități acvaponice (fig. 2.9 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. 2.9 B). Astfel, fiecare unitate acvaponică are alimentare separată (trei ramificații), cea de-a patra ramificație fiind direcționată spre unitatea de creștere (fig. 2.9 B).

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. 2.10 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 robineteți din fontă cu tambur rotativ, pentru reglarea exactă și asigurarea stabilității în timp a debitului de alimentare corespunzător fiecărei unități acvaponice (fig. 2.10 B). Pentru fixarea robineteților 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 anumit interval de timp. Detaliile 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 (fig. 2.10.).

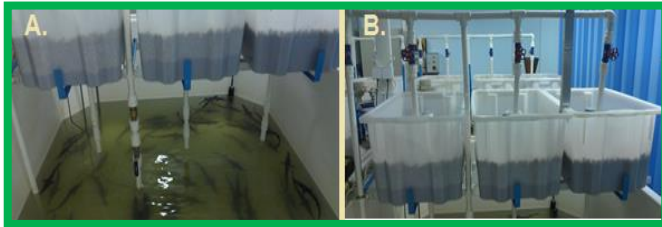


Fig. 2.10. Instalația de alimentare a unui grup de unități acvaponice, parte componentă a modului acvaponic. A. Conducta de refulare a pompei submersibile; B. Conductele de alimentare a unităților acvaponice și conducta de echilibrare a debitelor (foto original)

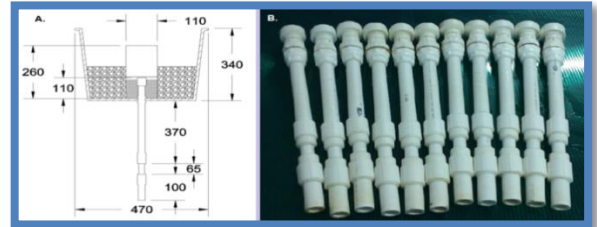


Fig. 2.11. Sistemul de evacuare a unităților acvaponice: A. Secțiune transversală a sistemului de evacuare; B. Conducta de evacuare (schemă și foto original)

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. 2.11.)

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. 2.12 A), prevăzută cu multiple orificii (2mm în diametru) în partea inferioară (fig. 2.12 B). Aceasta are rolul de a separa partea superioară a conductei de evacuare de substratul de creștere folosit (în prezentul caz, substrat LECA) (fig.2.13).

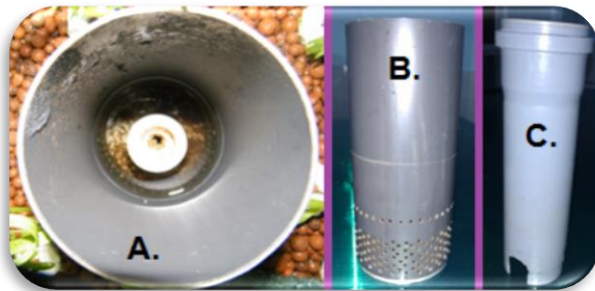


Fig. 2.12. Componentele sistemului de evacuare în regim intermitent de submersie: A. Poziționarea conductei de separare; B. Conducta de separare - vedere din profil; C. Dispozitivul tip sifon - vedere din profil (foto. originale)



Fig. 2.13. Volumul de hidroton (LECA) din cadrul unui grup de unități acvaponice – vedere de sus (foto. original)

De asemenea, un alt rol al conductei de separare (fig. 2.12 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. 2.12 C.). Caracteristicile funcționale ale acestui dispozitiv sunt prezentate în subcapitolul 1.2.3. al prezentei lucrări.

În cadrul prezentului sistem recirculant integrat se folosește hidroton (LECA) drept substrat de creștere. 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. Fiecare

lampă este dotată cu reflector special tip ADJUST - A - WINGS ENFORCER, de formă parabolică și cu o capacitate de reflexie de 90%. Fiecărui grup de unități acvaponice (3 unități) îi corespunde câte o lampă metal - halide (fig. 2.14).



Fig. 2.14. Sistemul de iluminat: 4 lămpi metal - halide (MH) pentru vegetație, tip MAX – LUMENS (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 BIOLGIC

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*)
- Păstrugă (*Acipenser stellatus*)

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. Astfel, răsadurile obținute au fost transplantate în cadrul unuia din cele două sistemele integrate acvaponice existente, după caz .

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

În scopul monitorizării parametrilor chimici de calitate ai apei tehnologice au fost folosite kit-uri Merck, compatibile pentru citire la spectrofotometrul Spectroquant Nova 400. 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, fapt ce

implică și utilizarea termoreactorului de digestie chimică cu bloc dublu, marca WTW, model CR4200. Pentru determinarea necesarului biologic de oxigen (BOD₅) s-a utilizat un analizor marca VELD IP54. Turbidometrul TB1, marca VELD, a fost folosit pentru multiplele analize de determinare a turbidității.

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).

➤ *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.

S-au folosit următorii indicatori: sporul de creștere [Wp]; 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].

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

2.5.1. Determinarea concentrației de proteine și lipide

Determinarea substanțelor proteice totale s-a realizat prin metoda Kjeldahl, conform STAS 9064/4-81.

Solubilizarea și extracția lipidelor s-a realizat folosind metoda Soxhlet, conform STAS 9065/10-75, cu ajutorul unui echipament de extracție tip RAYPA.

2.5.2. Determinarea concentrației de azot (TKN), calciu, entaoxid de fosfor (P₂O₅), nitriți (NO₂) și nitrați (NO₃)

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.

Concentrația de calciu din carnea de pește, frunzele și rădăcinile plantelor și de asemenea, din dejecții, a fost determinată conform AOAC 975.03.

Concentrația de peroxid de fosfor (P₂O₅) din carnea de pește, frunzele și rădăcinile plantelor și de asemenea, din dejecții, a fost determinată conform SR ISO 2294 : 2009.

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.

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

Pentru *determinarea umidității* s-a folosit metoda de uscare la etuvă reglată la temperature de 105 °C, conform SR ISO 1442 : 2010.

2.6. DETERMINAREA PIGMENȚILOR VERZI CLOROFILIEI ȘI A CELOR GALBENI CAROTENOIZI

O 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.

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.

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

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.

CAPITOLUL III

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

3.1. IPOTEZA ASUMATĂ

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 acesteia 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

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).

Distribuția furajelor a fost realizată conform protocolului descris de *Hayward și colab.* (1997) și reluat de *Mocanu* (2013) [212, 198]. 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.

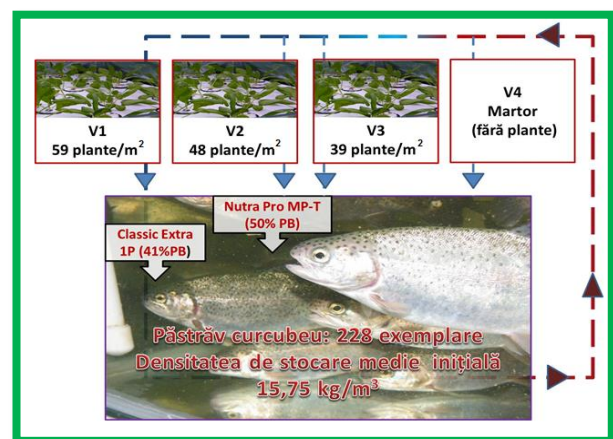


Fig. 3.1. Schema experimentală

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).

3.3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

3.3.1. Dinamica macroelementelor din efluentul sistemului

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).

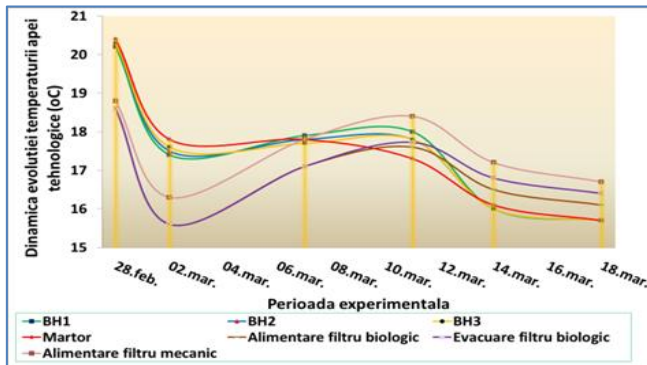


Fig. 3.2. Evoluția temperaturii apei tehnologice

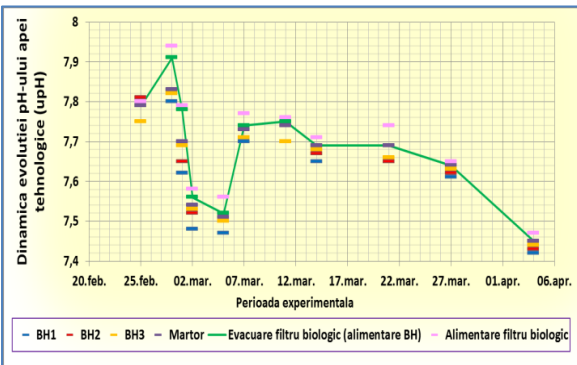


Fig. 3.3. Evoluția pH-ului apei tehnologice

Evoluția pH-ului are o tendință descendentă, cu fluctuații în decursul primei săptămâni din cadrul perioadei experimentale (fig. 3.3). Diferențele dintre variantele experimentale nu au fost semnificative din punct de vedere statistic ($p > 0,05$).

Concentrația de oxigen dizolvat (DO) a înregistrat o evoluție descendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.4).

Scăderea concentrației de DO spre finalul perioadei experimentale poate fi explicată prin mărirea numărului de competitori pentru consumul 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.

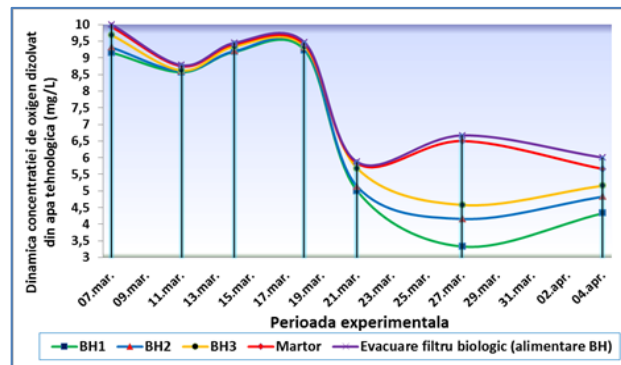


Fig. 3.4. Concentrația de oxigen dizolvat la nivelul unităților acvaponice

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.

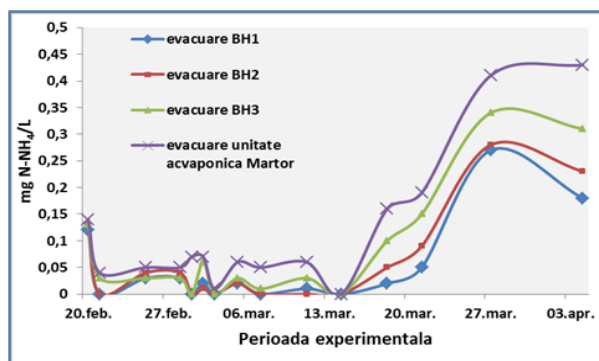


Fig. 3.5. Evoluția concentrației de $N-NH_4$ la nivelul unităților acvaponice

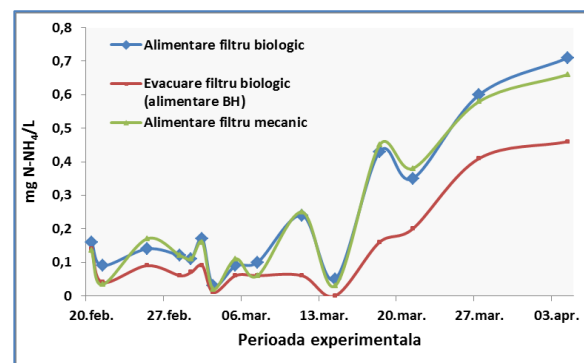


Fig. 3.6. Evoluția concentrației de $N-NH_4$ la nivelul unităților de filtrare

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). 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 .

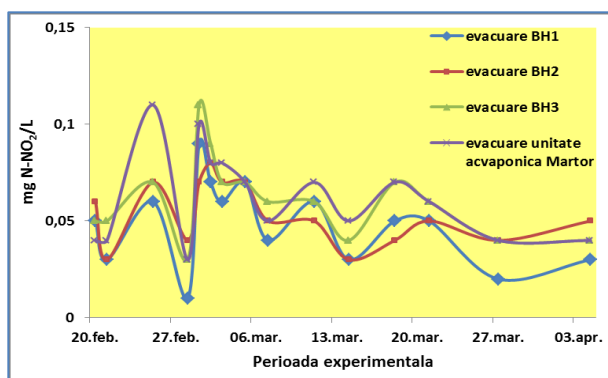


Fig. 3.7. Evoluția concentrației de $N-NO_2$ la nivelul unităților acvaponice

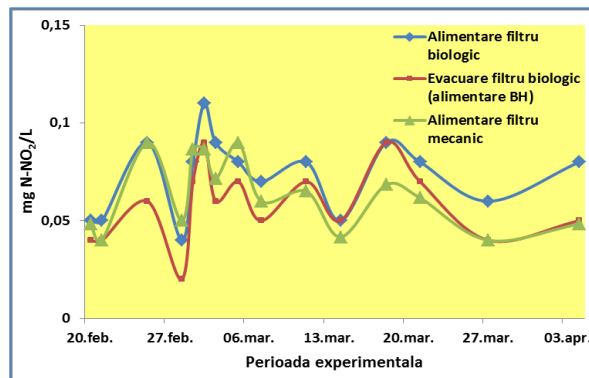


Fig. 3.8. Evoluția concentrației de $N-NO_2$ la nivelul unităților de filtrare

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).

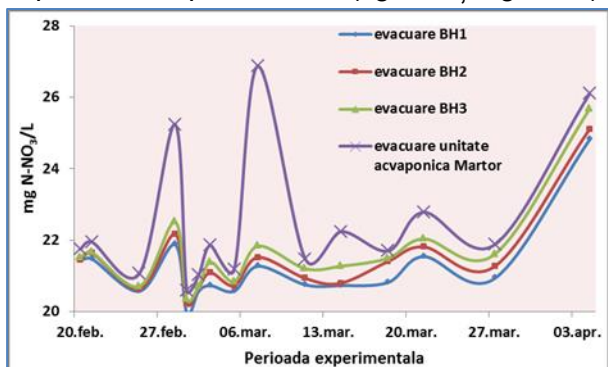


Fig. 3.9. Evoluția concentrației de $N-NO_3$ la nivelul unităților acvaponice

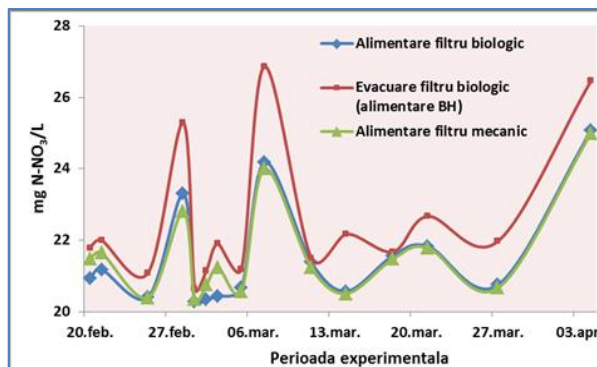


Fig. 3.10. Evoluția concentrației de $N-NO_3$ la nivelul unităților de filtrare

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).

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.

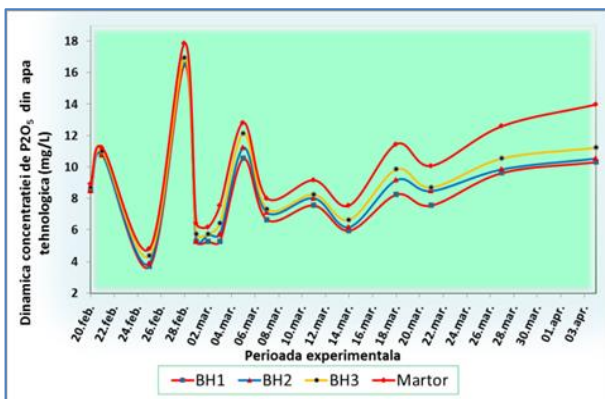


Fig. 3.11. Evoluția concentrației de P_2O_5 la nivelul unităților acvaponice

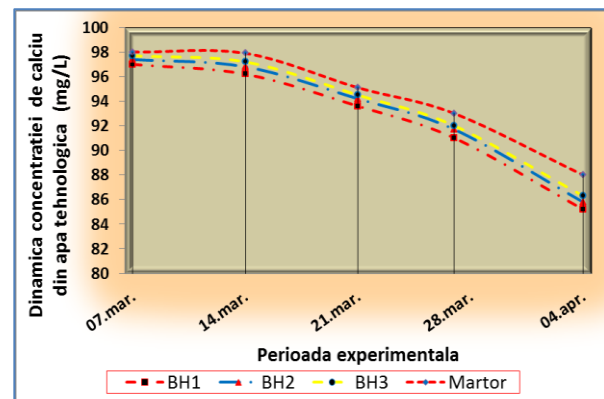


Fig. 3.12. Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice

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].

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.

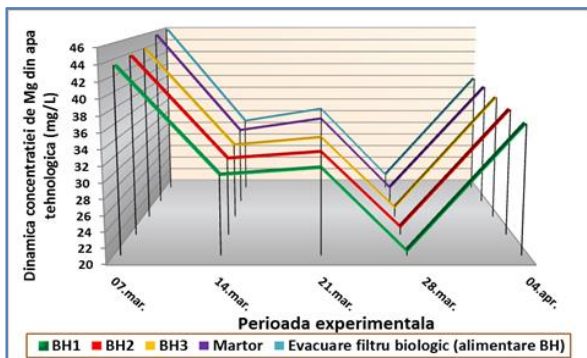


Fig. 3.13. Evoluția concentrației de magneziu la nivelul unităților acvaponice

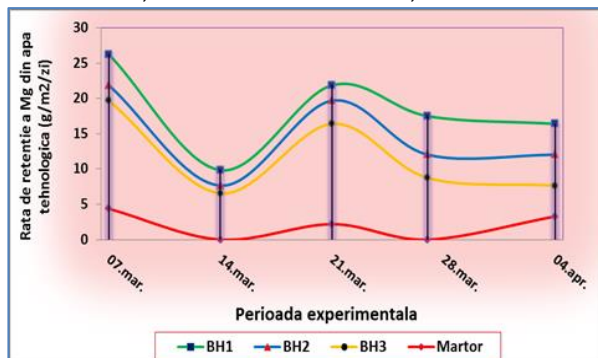


Fig. 3.14. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice

Evoluția concentrației de potasiu a avut o tendință descendentă (3.15), asemănătoare în mare parte cu cea a magneziului (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.

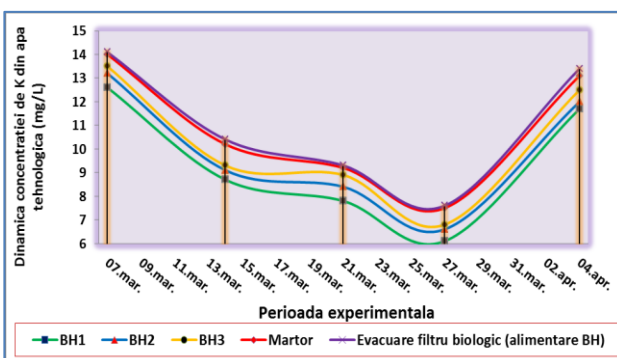


Fig. 3.15. Evoluția concentrației de potasiu la nivelul unităților acvaponice

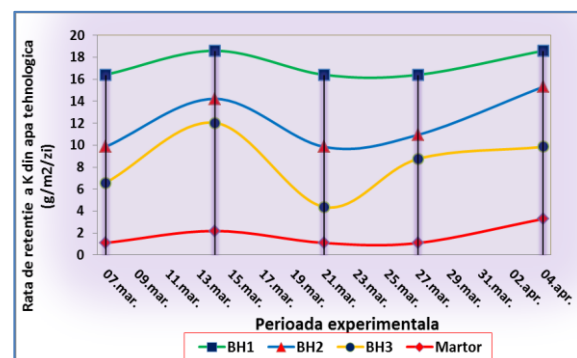


Fig. 3.16. Evoluția ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice

3.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului

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].

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).

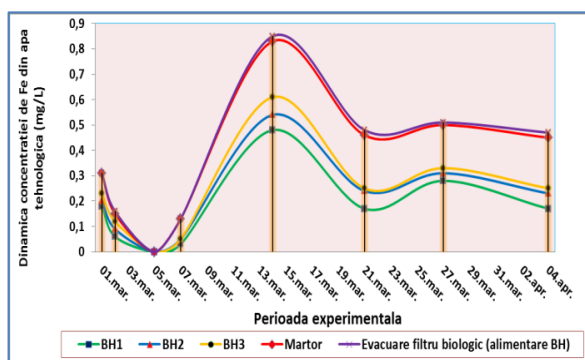


Fig. 3.17. Evoluția concentrației de fier la nivelul unităților acvaponice

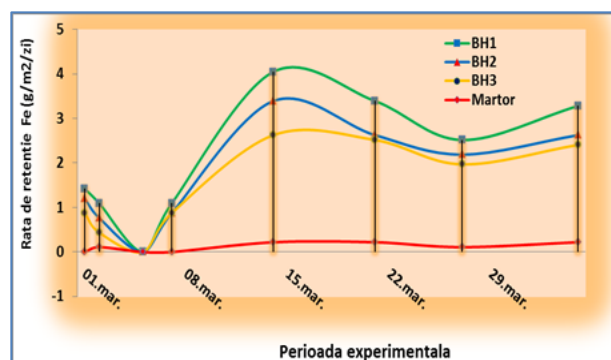


Fig. 3.18. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice

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). **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).

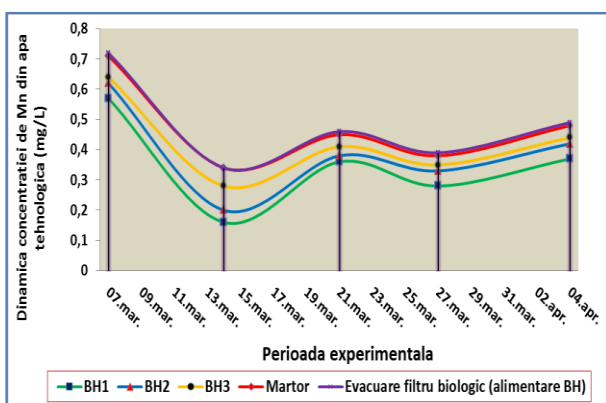


Fig. 3.19. Evoluția concentrației de mangan la nivelul unităților acvaponice

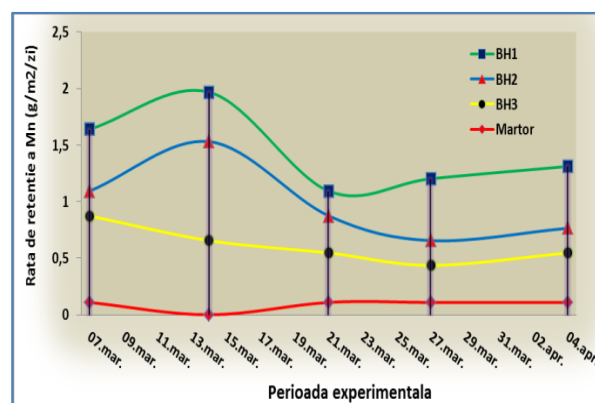


Fig. 3.20. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul unităților acvaponice

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%).

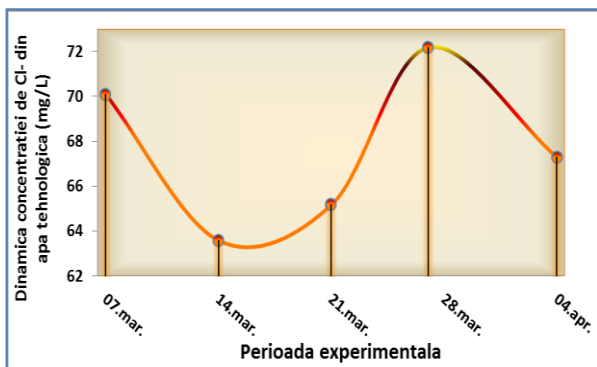


Fig. 3.21. Evoluția concentrației de clor la nivelul sistemului recirculant integrat

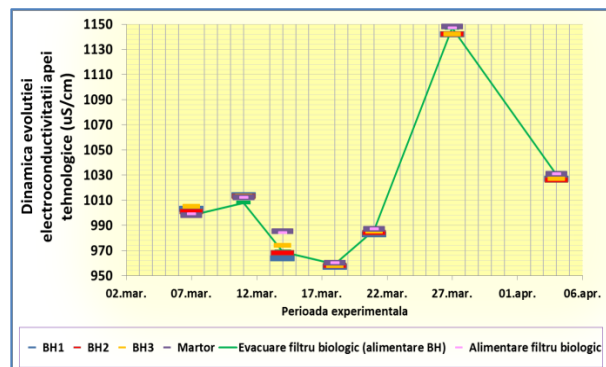


Fig. 3.22. Evoluția electroconductivității (EC) apei tehnologice la nivelul modulului acvaponic și al unității de filtrare biologică

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.

Duritatea totală a apei prezintă o evoluție descendentă până în ultima săptămână experimentală, când se observă o creștere moderată (fig. 3.23).

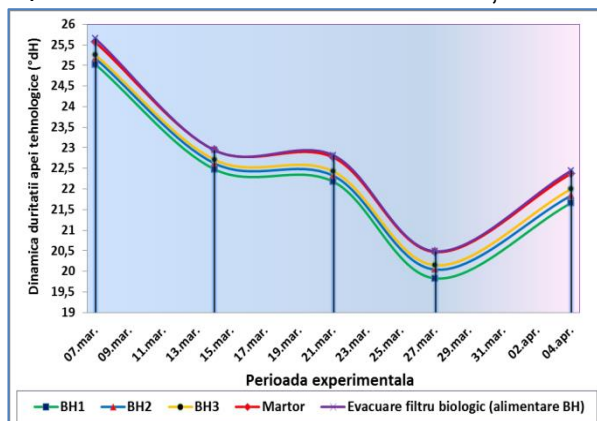


Fig. 3.23. Evoluția durității totale la nivelul unităților acvaponice

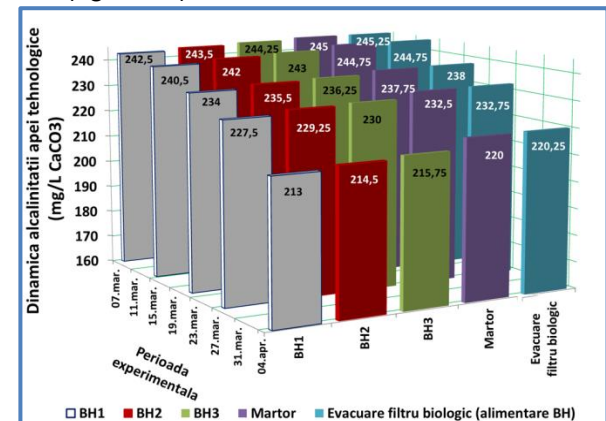


Fig. 3.24. Evoluția alcalinității la nivelul unităților acvaponice

La nivelul modulului acvaponic, pe parcursul perioadei experimentale, **alcalinitatea apei tehnologice** a înregistrat o evoluție relativ simetrică, descendentă (fig. 3.24).

Evoluția consumului chimic de oxigen (COD) înregistrează o tendință puternic ascendentă (fig. 3.25) după primele două săptămâni experimentale.

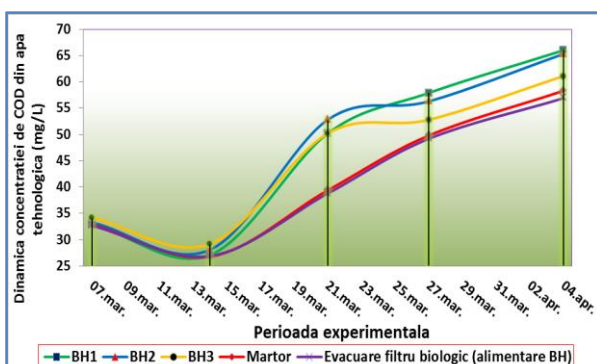


Fig. 3.25. Evoluția concentrației de COD la nivelul unităților acvaponice

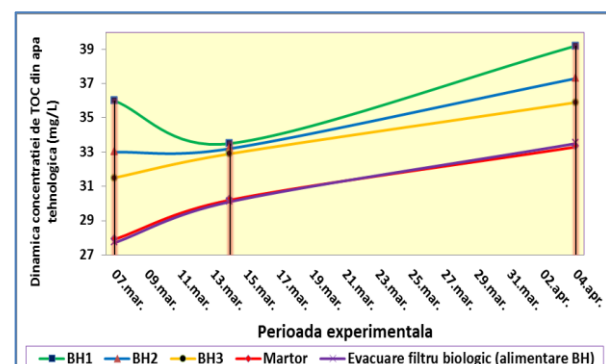


Fig. 3.26. Evoluția concentrației de TOC la nivelul unităților acvaponice

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). 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.

Necesarul biochimic de oxigen (BOD5) a înregistrat o evoluție ascendentă în cadrul sistemului recirculant integrat, pe durata perioadei experimentale (fig. 3.27). 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.

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 eliminare 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

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.

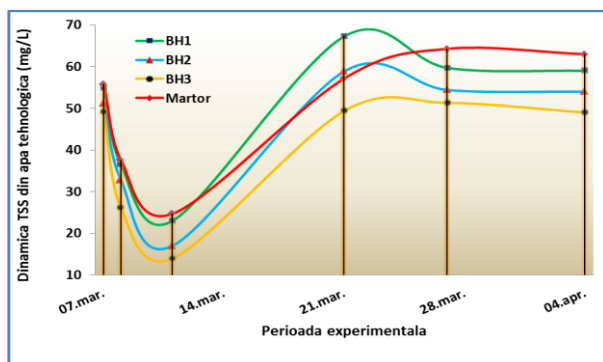


Fig. 3.28. Evoluția concentrației de TSS la nivelul unităților acvaponice

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.

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]. Al-Hafedh și colab. (2008) evidențiază importanța cunoașterii bilanțului principalilor nutrienți din cadrul sistemelor recirculante integrate [83].

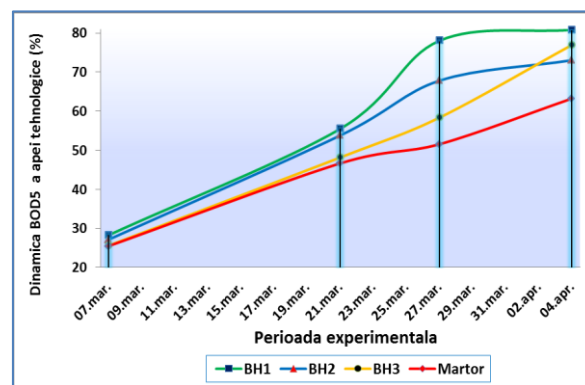


Fig. 3.27. Evoluția BOD5 la nivelul unităților acvaponice

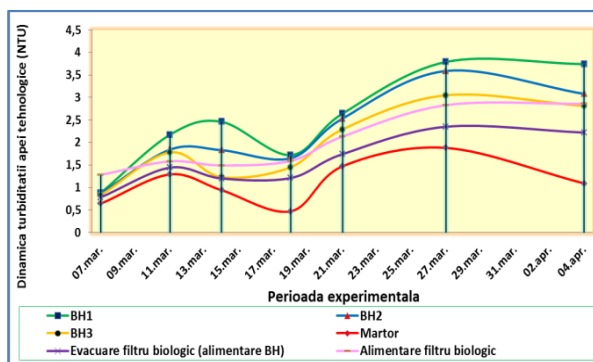


Fig. 3.29. Evoluția turbidității la nivelul unităților acvaponice

● **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].

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. 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.

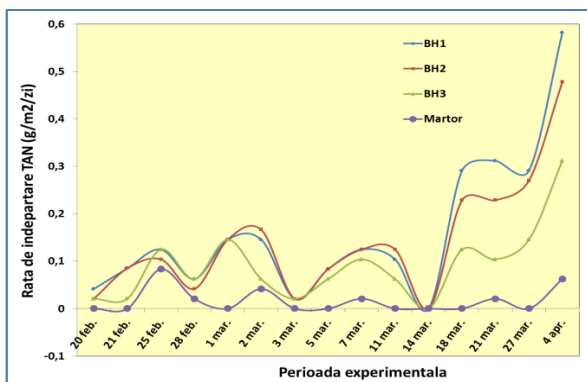


Fig. 3.30. Evoluția ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul unităților acvaponice

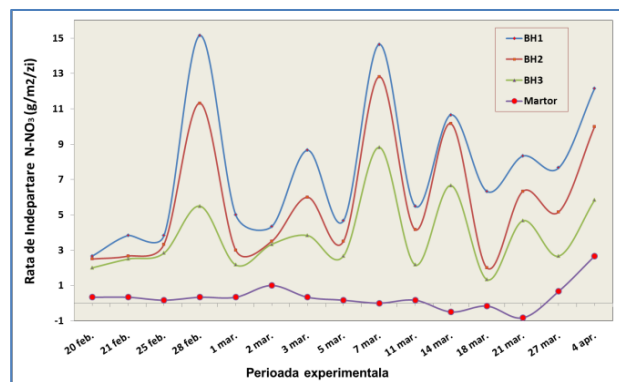


Fig. 3.31. Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul unităților acvaponice

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.

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).

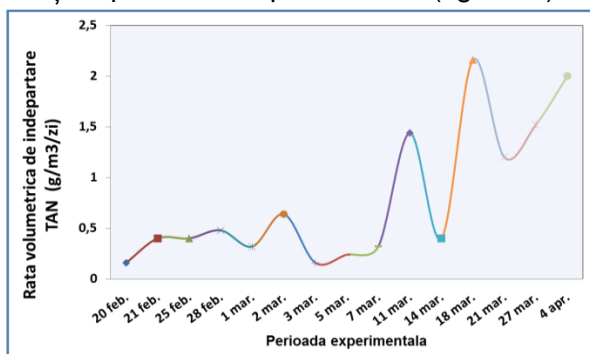


Fig. 3.32. Evoluția ratei volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VRT)

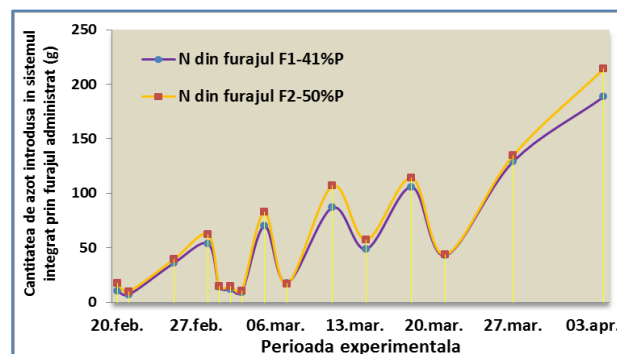


Fig. 3.33. Evoluția cantității de azot introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

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).

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.

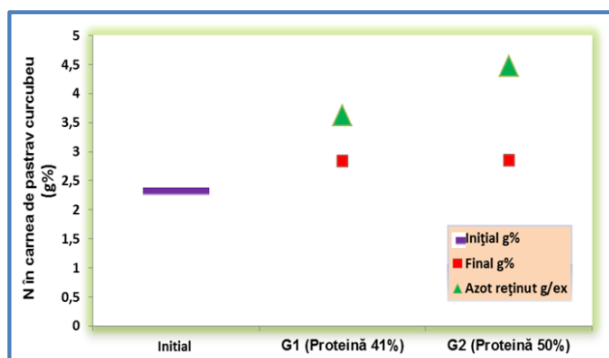


Fig. 3.34. Azotul (TKN) din țesutul muscular al păstrăvului curcubeu

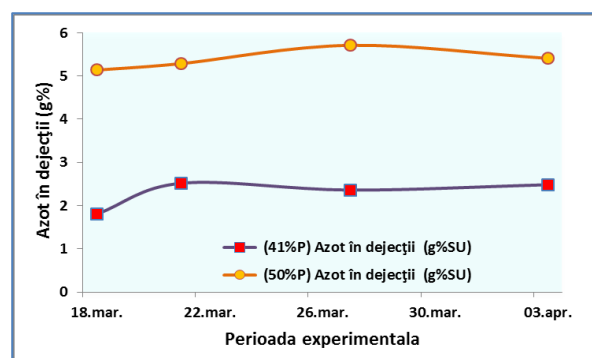


Fig. 3.35. Evoluția concentrației de azot din reziduurile fecale

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).

În ceea ce privește concentrația de azot (TKN) din biomasa foliară, diferențele semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) sunt înregistrate între primele două variante experimentale (BH1 și BH2) și a treia variantă experimentală (BH3) (fig. 3.36).

Concentrația de azot (TKN) din biomasa radiculară a spanacului, la finalul perioadei experimentale, a înregistrat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între cele trei variante experimentale (BH1, BH2 și BH3) (fig. 3.36). Prin cumularea informațiilor prezentate anterior în acest subcapitol (3.3.3), a rezultat bilanțul azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat (fig. 3.37).

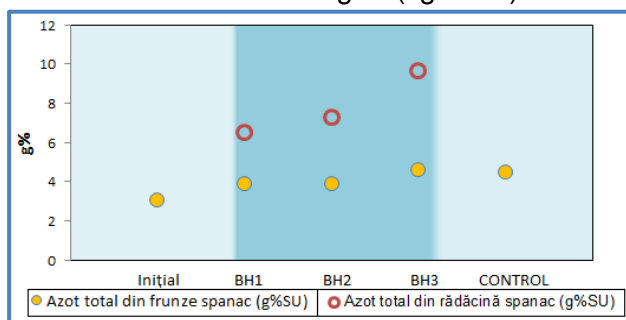


Fig. 3.36. Concentrația de azot (TKN) din biomasa foliară și cea radiculară a spanacului

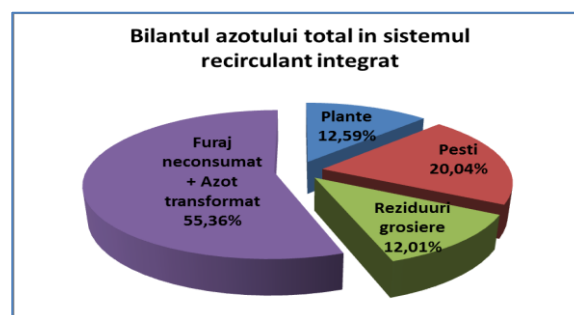


Fig. 3.37. Cuantificarea procentuală a azotului la nivelul compartimentelor studiate

● Bilanțul fosforului și al calciului

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).

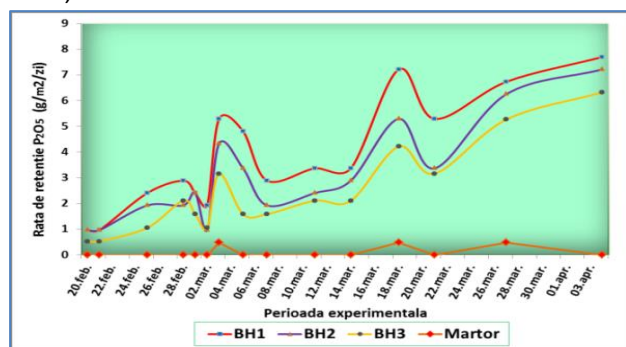


Fig. 3.38. Evoluția ratei de retenție a fosforului la nivelul unităților acvaponice

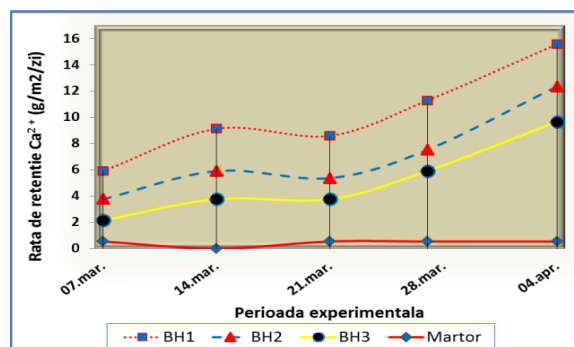


Fig. 3.39. Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice

Evoluția ratei de retenție a calciului consemnează o tendință ascendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 3.39). 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).

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).

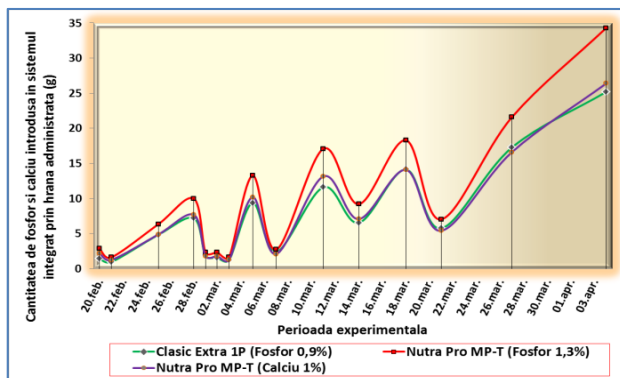


Fig. 3.40. Evoluția cantității de fosfor și calciu introduse în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

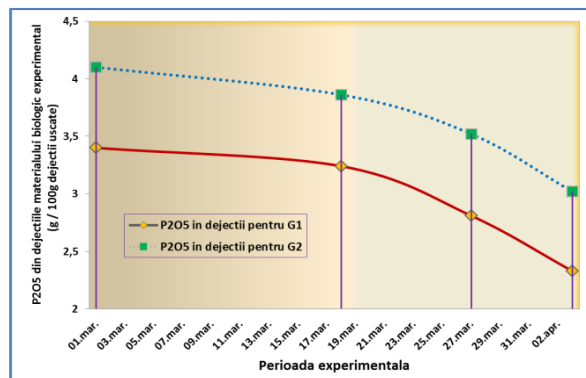


Fig. 3.41. Evoluția concentrației de fosfor din reziduurile fecale

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).

Concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrăv curcubeu a înregistrat diferențe ne semnificative din punct de vedere statistic între cele două variante experimentale (fig. 3.42).

Concentrația de calciu din carnea de păstrăv curcubeu a înregistrat diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) între G1 și G2, dar și între valorile inițiale (înregistrate înainte de începerea perioadei experimentale) și G2 (fig. 3.43).

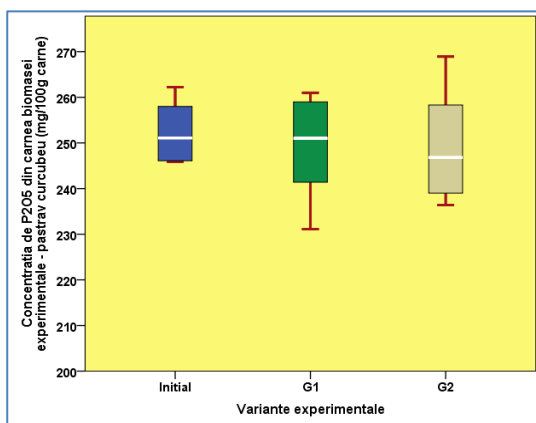


Fig. 3.42. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrăv curcubeu

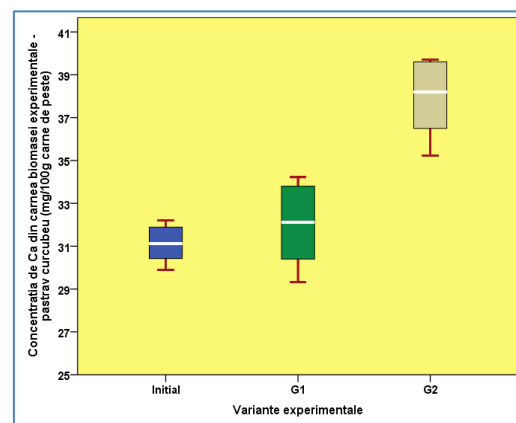


Fig. 3.43. Distribuția valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrăv curcubeu

Concentrația de fosfor (P_2O_5) din biomasa foliară a spanacului, a consemnat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale BH1, BH2 și BH3, în timp ce diferențele înregistrate între BH3 și CONTROL sunt ne semnificative statistic ($p > 0,05$) (fig. 3.44).

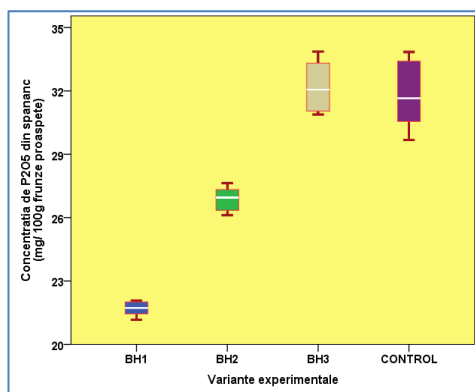


Fig. 3.44. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din frunzele proaspete de spanac

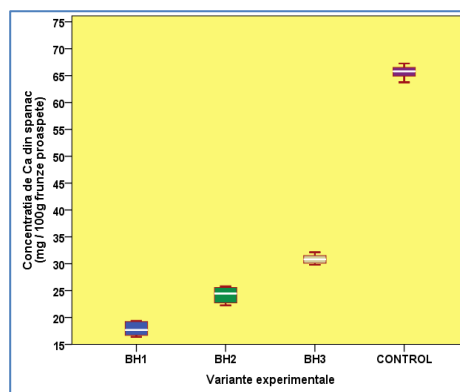


Fig. 3.45. Distribuția valorilor concentrației de calciu din frunzele proaspete de spanac

Concentrația de calciu din biomasa foliară a spanacului a consemnat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale BH1, BH2, BH3 și CONTROL (fig. 3.45).

3.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale

Rezultatele ce urmează a fi redate, în ceea ce privește performanța creșterii biomasei de spanac, s-au consemnat în condițiile de performanță tehnologică a păstrăvului curcubeu prezentate în cadrul tabelului 3.1.

Tabel 3.1. Performanța creșterii biomasei de păstrăv curcubeu de-a lungul perioadei experimentale

INDICATOR	G1 - hrănit cu furaj Clasic Extra 1P: 41%PB	G2 - hrănit cu furaj Nutra Pro MP-T: 50%PB
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 (fig. 3.46, fig. 3.47 și fig. 3.48).

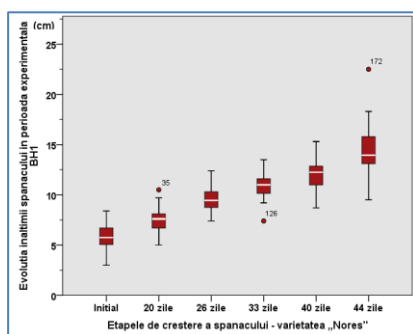


Fig. 3.46. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH1

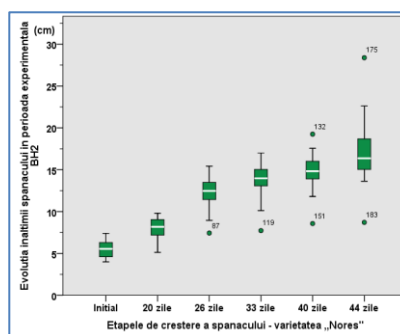


Fig. 3.47. Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH2

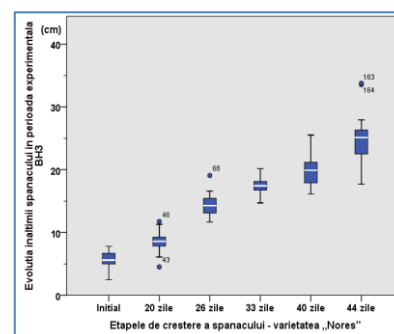


Fig. 3.48: Distribuția valorilor înălțimii spanacului în cadrul BH3

În ceea ce privește **masa finală totală a spanacului** (fig. 3.49), 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. **Suprafața foliară finală** a înregistrat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între variantele experimentale (fig. 3.50)

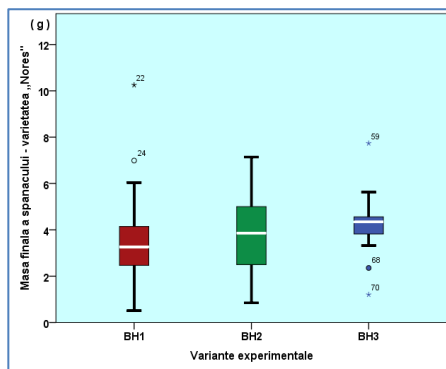


Fig. 3.49: Distribuția valorilor masei finale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

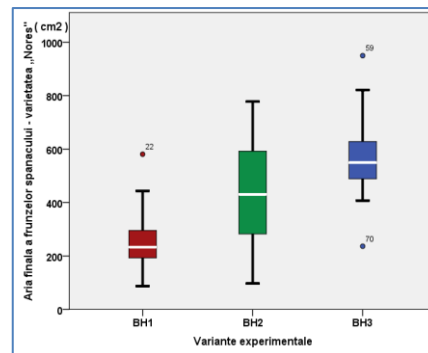


Fig. 3.50: Distribuția valorilor suprafeței foliare finale a spanacului, în cadrul celor trei variante experimentale

Pentru realizarea unei imagini cât mai sugestive legate de randamentul producției de spanac în condițiile acvaponice expuse în cadrul prezentului capitol, au fost analizați următorii indicatori tehnologici: rata relativă de creștere (RGR) a spanacului, rata netă de asimilare (NAR), ponderea medie a suprafeței foliare (LAR mediu), rata de creștere a spanacului (CGR), indicele suprafeței foliare (LAI) și raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S) (fig. 3.51, fig. 3.52, fig. 3.53, fig. 3.54, fig. 3.55, fig. 3.56).

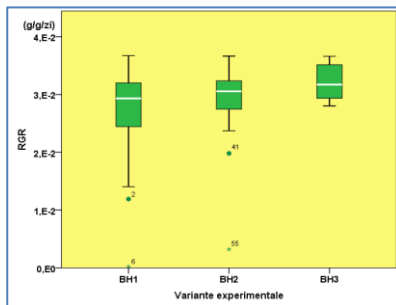


Fig. 3.51: Distribuția valorilor ratei relative de creștere (RGR) a spanacului

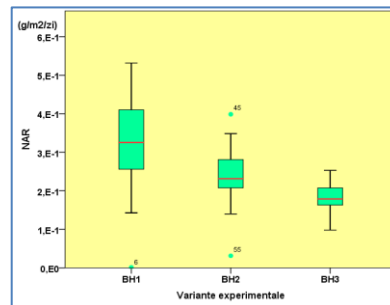


Fig. 3.52: Distribuția valorilor ratei nete de asimilare (NAR) a spanacului

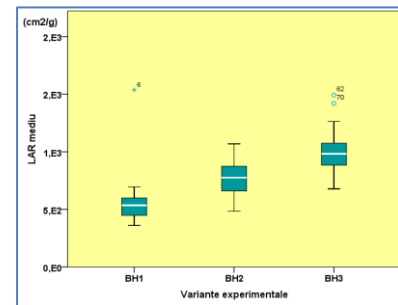


Fig. 3.53: Distribuția valorilor ponderii medii a suprafeței foliare a spanacului

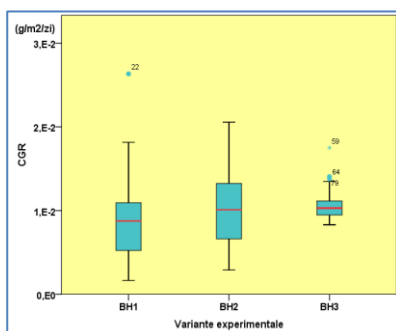


Fig. 3.54: Distribuția valorilor ratei de creștere a spanacului (CGR)

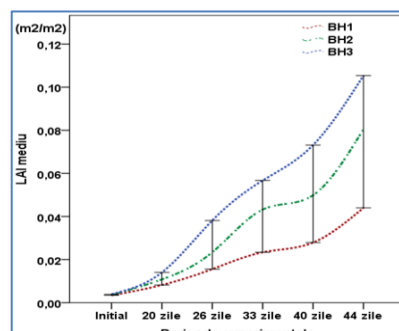


Fig. 3.55: Evoluția indicelui mediu al suprafeței foliare (LAI mediu)

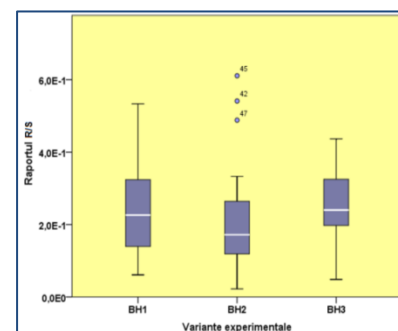


Fig. 3.56: Distribuția valorilor raportului masic rădăcină/suprafață foliară (R/S)

3.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole

În ceea ce privește **concentrațiile de nitriți din biomasa rădăcinară a spanacului**, diferențe 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 ne semnificative statistic ($p > 0,05$) (fig. 3.57).

Concentrațiile de nitriți din biomasa foliară a spanacului au înregistrat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$), exceptând BH2 și BH3, între care s-au consemnat diferențe ne semnificative statistic ($p > 0,05$) (fig. 3.58).

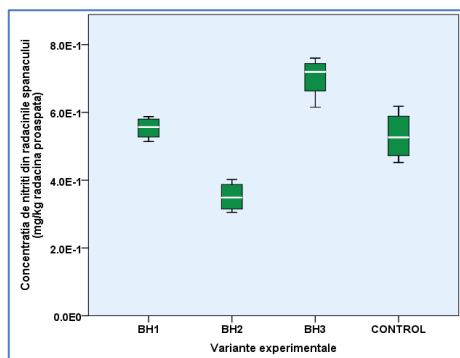


Fig. 3.57. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului

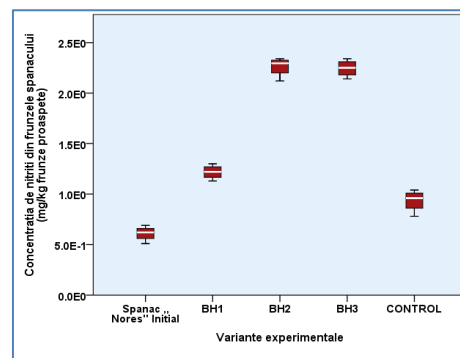


Fig. 3.58. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a spanacului

În ceea ce privește **concentrațiile de nitrați din biomasa radiculară a spanacului**, diferențe 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 ne semnificative statistic ($p > 0,05$) (fig. 3.59).

Concentrațiile de nitrați din biomasa foliară a spanacului au înregistrat diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între toate variantele experimentale (Inițial, BH1, BH2, BH3 și CONTROL) (fig. 3.60).

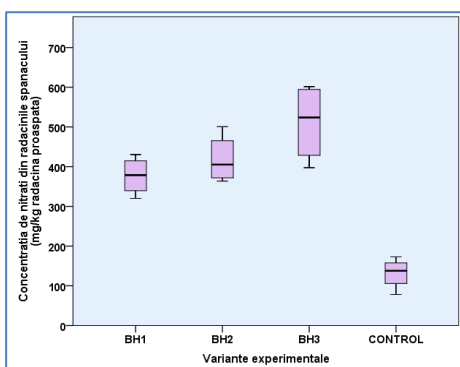


Fig. 3.59. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a spanacului

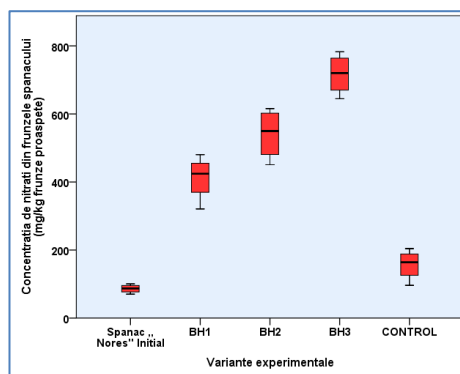


Fig. 3.60. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a spanacului

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 (G1 și G2) (fig. 3.61 și fig. 3.62).

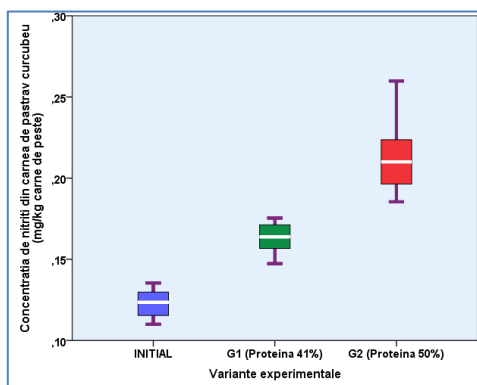


Fig. 3.61. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din carnea păstrăvului curcubeu

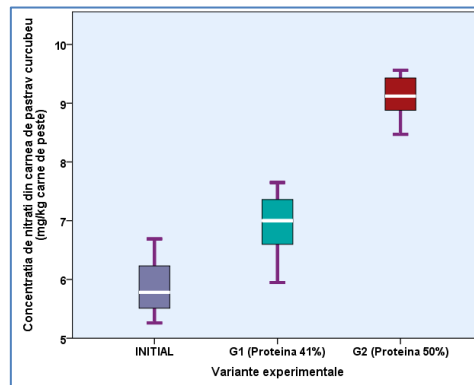


Fig. 3.62. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din carnea păstrăvului curcubeu

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

În cadrul prezentului experiment a fost folosită tehnica de cultură pe substrat LECA, în regim permanent de submersie. Din cercetării 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

Materialul piscicol a fost reprezentat de un număr de 184 exemplare de păstrugă „*Acipenser stellatus*”, cu o biomasă medie inițială de 169,75g.

Materialul vegetal a fost reprezentat de un număr de 90 răsaduri de spanac, obținute în cadrul Complexului Muzeal de Științele Naturii – Galați.

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).

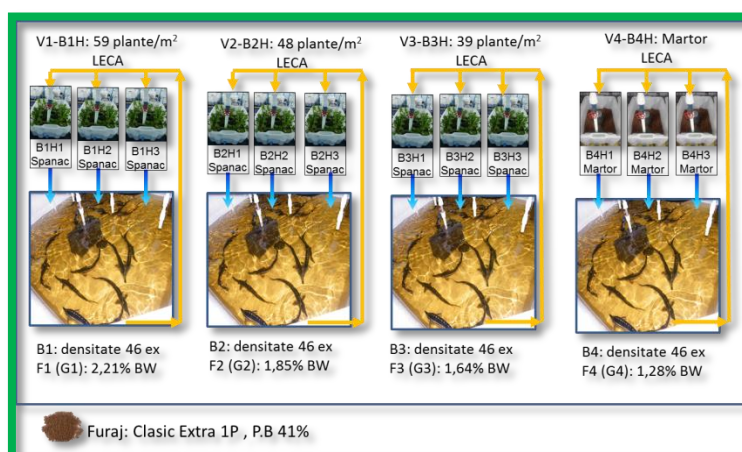


Fig. 4.1. Schema experimentală

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

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).

Evoluția pH-ului consemnează o tendință relativ descendentă, cu fluctuații semnificative de-a lungul întregii perioade experimentale (fig. 4.3).

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).

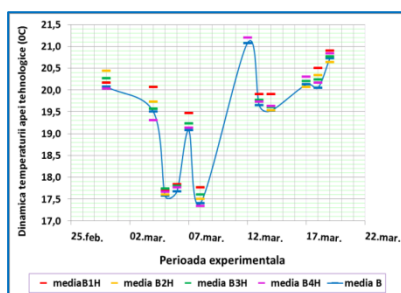


Fig. 4.2. Evoluția temperaturii apei tehnologice

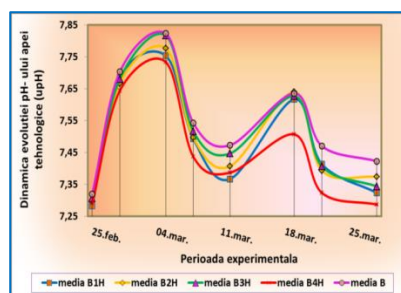


Fig. 4.3. Evoluția pH-ului apei tehnologice

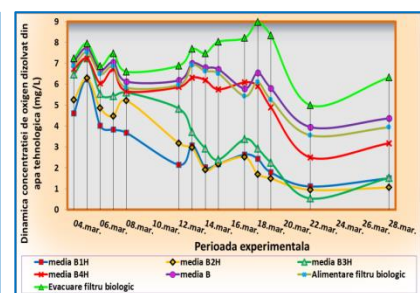


Fig. 4.4. Concentrația de oxigen dizolvat

Evoluția concentrației de azot amoniacal a fost fluctuantă, cu nivele minime consemnate la mijlocul perioadei experimentale (fig. 4.5 și fig 4.6).

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.

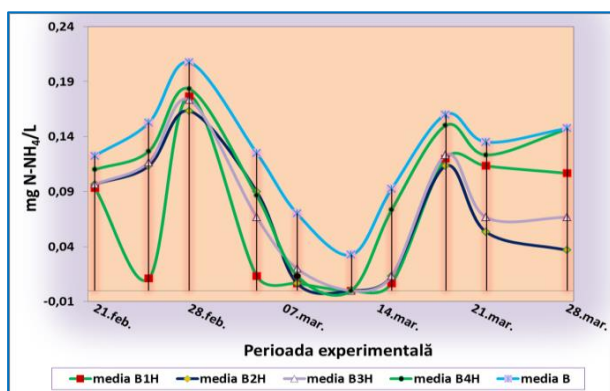


Fig. 4.5. Evoluția concentrației de $N-NH_4$ la nivelul unităților acvaponice

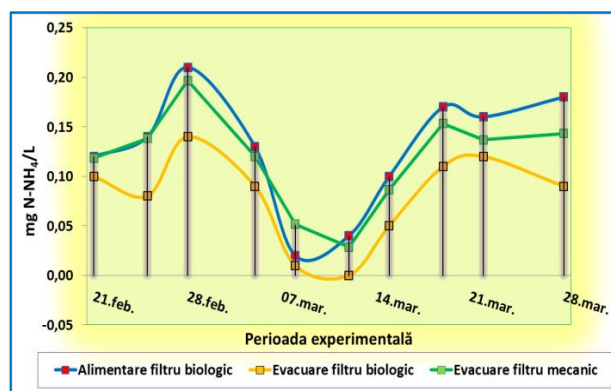


Fig. 4.6. Evoluția concentrației de $N-NH_4$ la nivelul unităților de filtrare

Concentrația de nitriți ($N-NO_2$) la nivelul modulului acvaponic înregistrează o evoluție relativ constantă, cu fluctuații însemnate în cadrul primei săptămâni experimentale (fig. 4.7, fig.4.8).

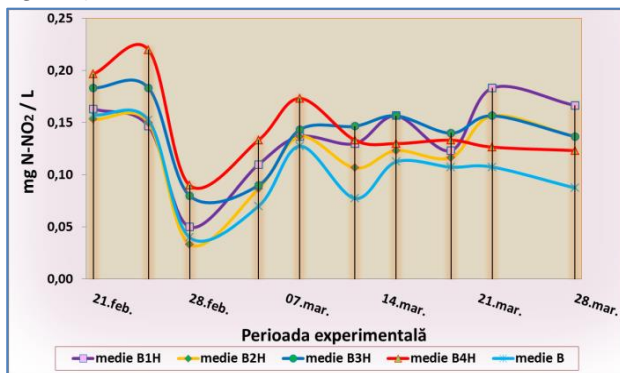


Fig. 4.7. Evoluția concentrației de $N-NO_2$ la nivelul unităților acvaponice

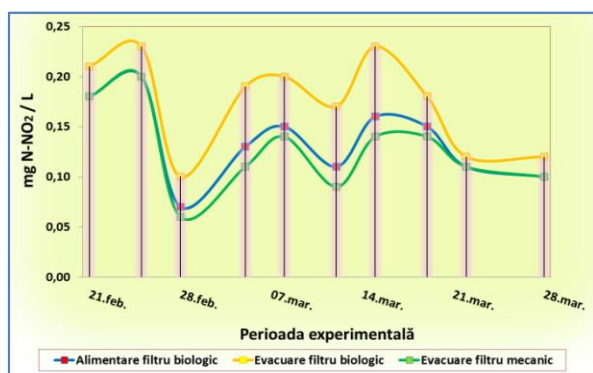


Fig. 4.8. Evoluția concentrației de $N-NO_2$ la nivelul unităților de filtrare

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. 4.9, fig. 4.10).

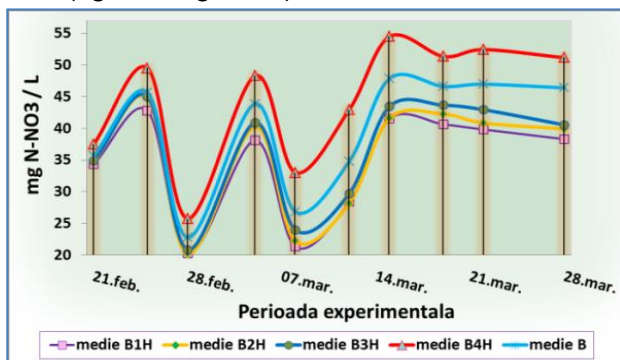


Fig. 4.9. Evoluția concentrației de $N-NO_3$ la nivelul unităților acvaponice

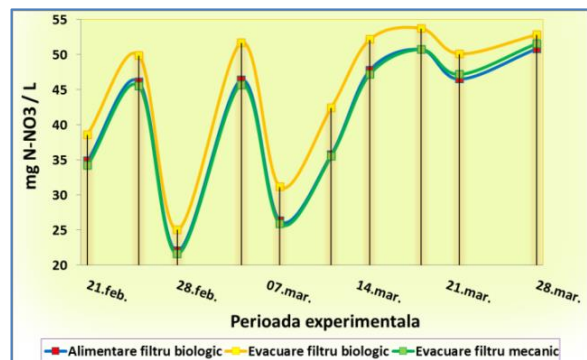


Fig. 4.10. Evoluția concentrației de $N-NO_3$ la nivelul unităților de filtrare

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. 4.11 și fig. 4.12).

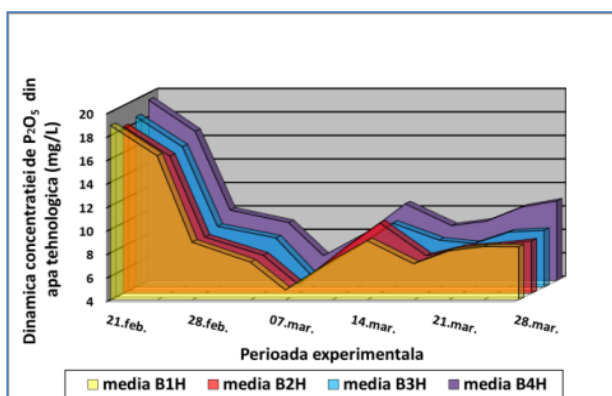


Fig. 4.11. Evoluția concentrației de P_2O_5 la nivelul unităților acvaponice

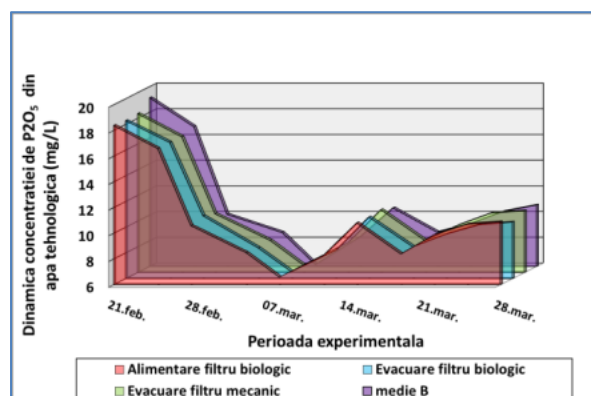


Fig. 4.12. Evoluția concentrației de P_2O_5 la nivelul unităților de filtrare

Evoluția concentrației de calciu a înregistrat o tendință puternic descendentă (fig. 4.13), confirmând constatările altor studii de specialitate, legate de caracterul puternic limitativ al calciului la nivelul unui sistem recirculant integrat [87]. **Evoluția concentrației de magneziu** a avut o tendință descendentă, manifestată în special în ultimele două săptămâni ale perioadei experimentale (fig. 4.14)

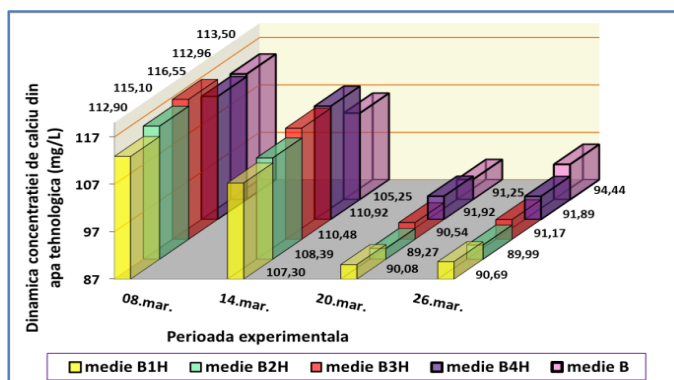


Fig. 4.13. Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice

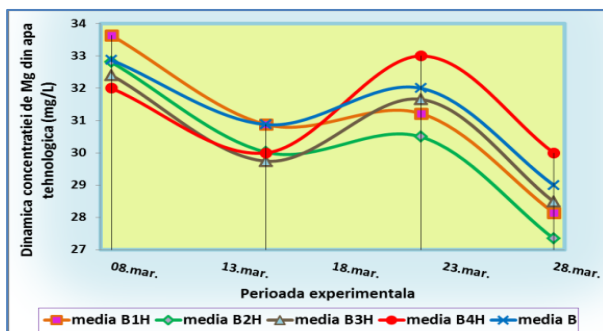


Fig. 4.14. Evoluția concentrației de magneziu la nivelul unităților acvaponice

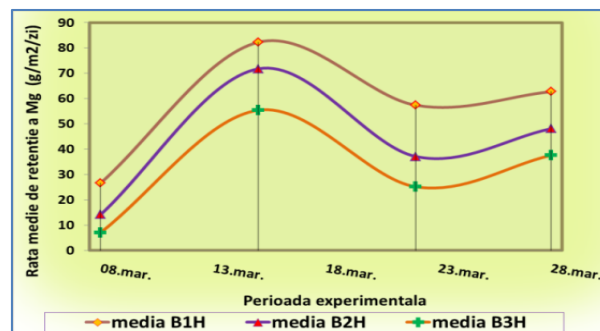


Fig. 4.15. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice

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. 4.15).

Evoluția concentrației de potasiu a avut o tendință ascendentă în prima jumătate a perioadei experimentale (fig. 4.16), fapt ce se datorează unei scăderi a ratei de retenție manifestată la nivelul biomasei de spanac (fig. 4.17).

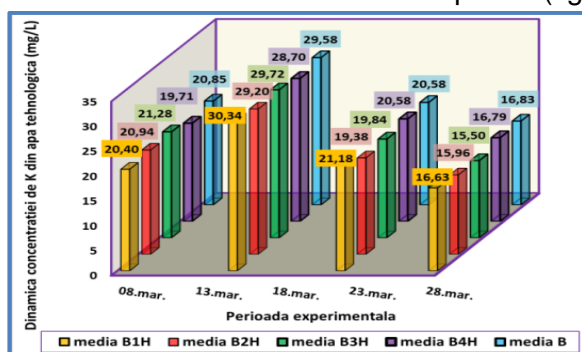


Fig. 4.16. Evoluția concentrației de potasiu la nivelul unităților acvaponice

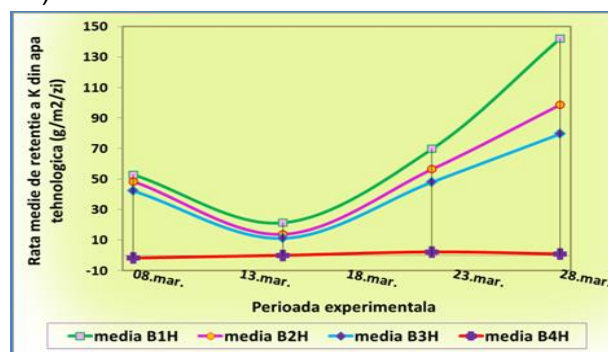


Fig. 4.17. Evoluția ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice

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. Astfel, de-a lungul perioadei experimentale s-au adăugat 112g fier chelat (16g x 7etape). 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. 4.18).

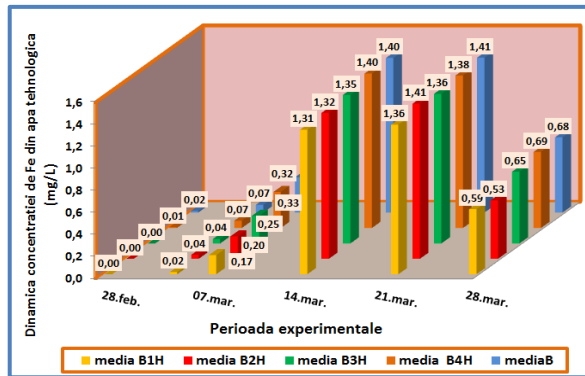


Fig. 4.18. Evoluția concentrației de fier la nivelul unităților acvaponice

Astfel, se observă o evoluție fluctuantă a ratei de retenție, cu extreme maxime consemnate la mijlocul perioadei experimentale (fig. 4.19).

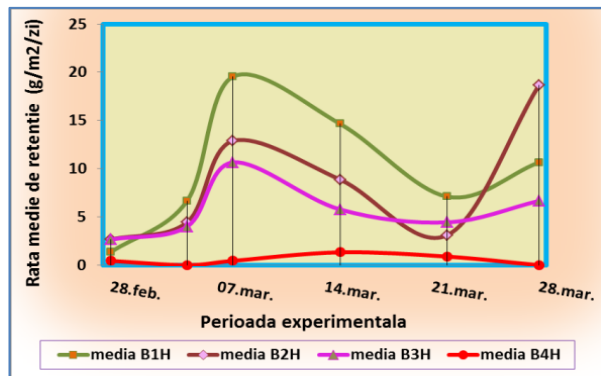


Fig. 4.19. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice

Evoluția concentrației de mangan din apa tehnologică, pe parcursul perioadei experimentale, a consemnat o tendință ascendentă (fig. 4.20), direct proporțională cu densitatea de cultură a spanacului, aplicată în cadrul fiecărei variante experimentale.

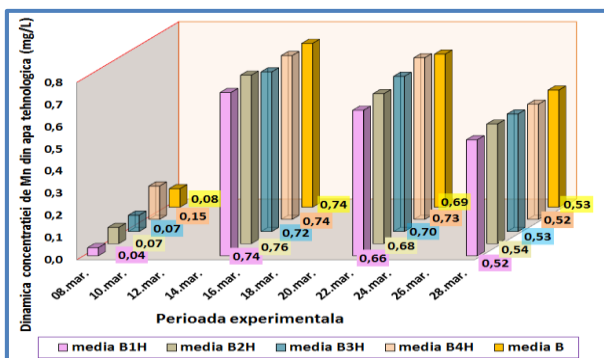


Fig. 4.20. Evoluția concentrației de mangan la nivelul unităților acvaponice

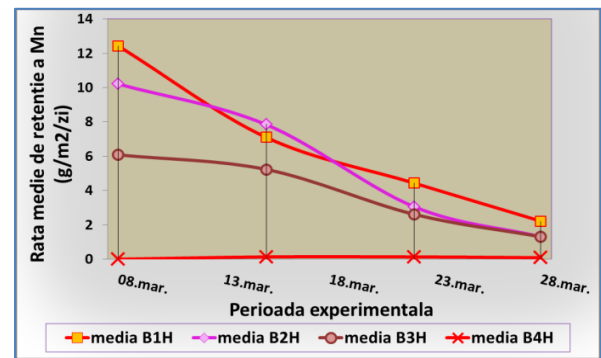


Fig. 4.21. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul unităților acvaponice

În ceea ce privește **rata de retenție a manganului** se constată o evoluție descendentă a acestuia, mai accentuată în cazul B1H și B2H, comparativ cu B3H (fig. 4.21).

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. 4.22).

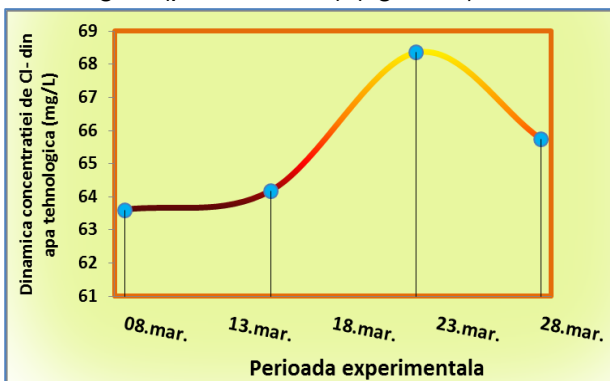


Fig. 4.22. Evoluția concentrației de clor la nivelul sistemului recirculant integrat

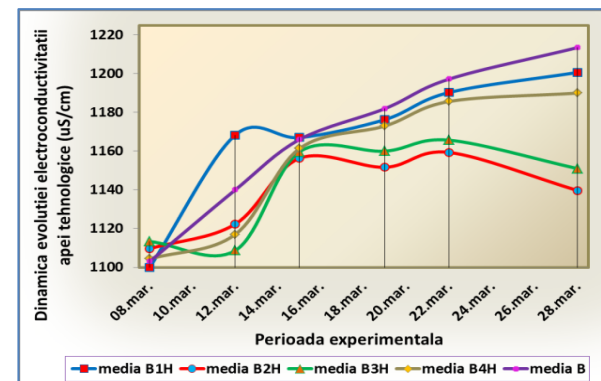


Fig. 4.23. Evoluția electroconductivității (EC) la nivelul unităților acvaponice

Electroconductivitatea (EC) apei tehnologice a consemnat o evoluție ascendentă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 4.23).

Duritatea totală a apei consemnează o evoluție puternic descendentă (fig.4.24), asemănătoare în cazul celor trei variante experimentale, cu plante (B1H, B2H și B3H).

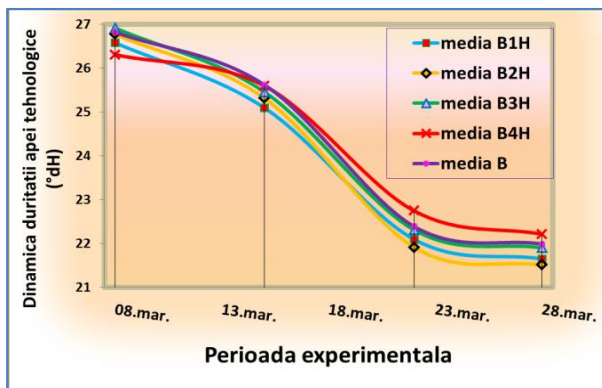


Fig. 4.24. Evoluția durității totale la nivelul unităților acvaponice

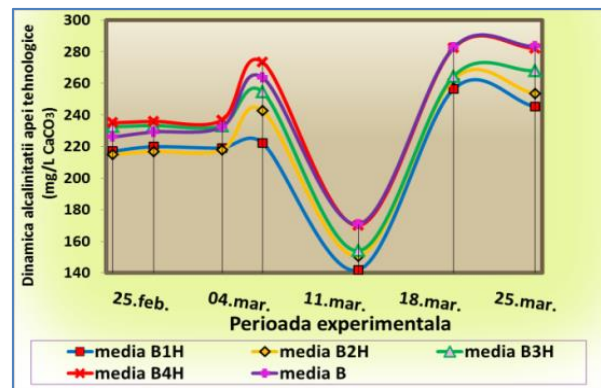


Fig. 4.25. Evoluția alcalinității la nivelul unităților acvaponice

Alcalinitatea apei tehnologică 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. 4.25).

Evoluția consumului chimic de oxigen (COD) înregistrează o tendință puternic ascendentă după primele trei săptămâni experimentale (fig. 4.26). 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. 4.26).

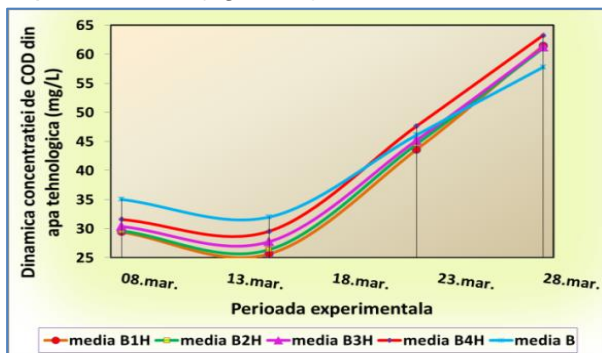


Fig. 4.26. Evoluția concentrației de COD la nivelul unităților acvaponice

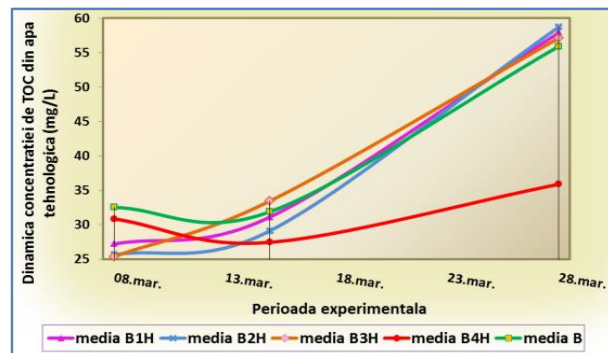


Fig. 4.27. Evoluția concentrației de TOC la nivelul unităților acvaponice

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. 4.27).

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. 4.28).

Diferențe consemnate între grupul format din primele trei variante experimentale (B1H, B2H, B3H) și varianta martor-B4H sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$).

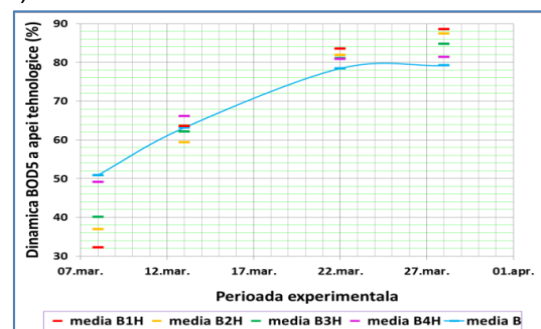


Fig. 4.28. Evoluția BOD5 la nivelul unităților acvaponice

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. 4.29).

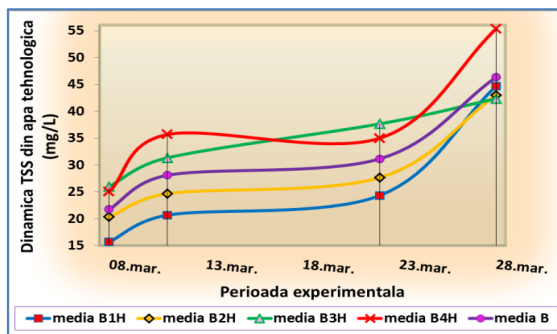


Fig. 4.29. Evoluția concentrației de TSS la nivelul unităților acvaponice

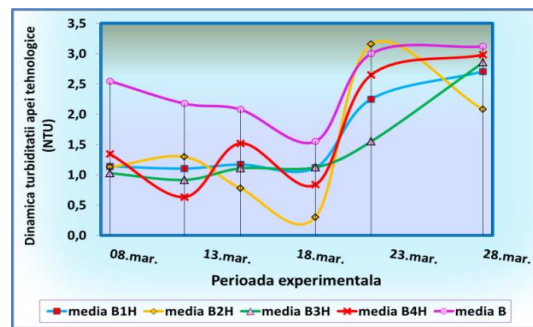


Fig. 4.30. Evoluția turbidității la nivelul unităților acvaponice

Turbiditatea apei tehnologice a consemnat o evoluție fluctuantă, relativ ascendentă în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale (fig. 4.30).

4.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului

● Bilanțul azotului

În cadrul prezentului experiment, **rata de îndepărtare a TAN** înregistrează o dinamică puternic fluctuantă de-a lungul perioadei experimentale (fig. 4.31).

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.4.32).

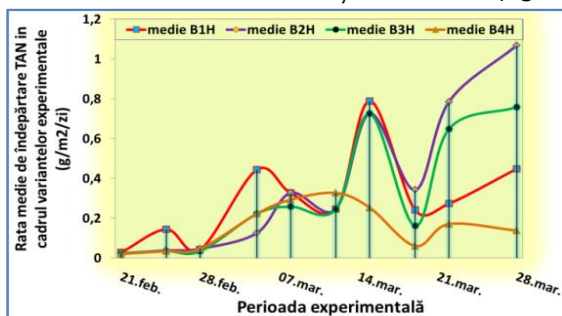


Fig. 4.31. Evoluția ratei de îndepărtare a TAN-ului la nivelul unităților acvaponice

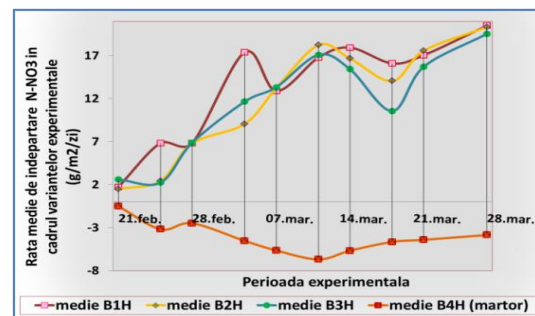


Fig. 4.32. Evoluția ratei de îndepărtare a nitraților la nivelul unităților acvaponice

Azotul (TKN) din carnea de pește consemnează valori semnificative între concentrațiile inițiale și cele consemnate la finalul perioadei experimentale, pentru toate cele patru variante experimentale.

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), sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) (fig. 4.33 și fig. 4.34).

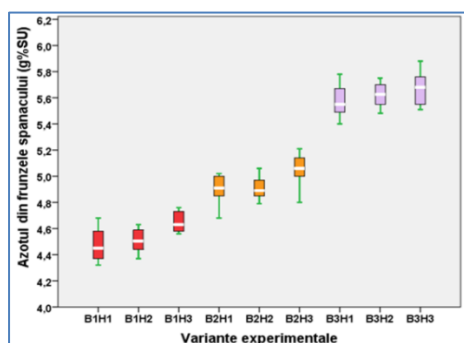


Fig. 4.33. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa foliară a spanacului

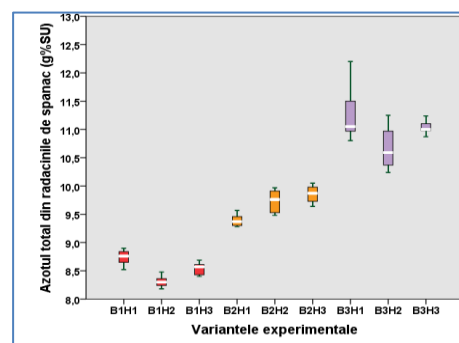


Fig. 4.34. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa radiculară a spanacului

Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VTR), consemnată la nivelul unității de filtrare biologică, înregistrează o tendință ascendentă, fără fluctuații semnificative (fig. 4.35).

Cantitatea de azot introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a fost de 2065,3g, cu o medie zilnică de 46,93g/zi [304].

Evoluția concentrației de azot (TKN) din reziduurile fecale înregistrează o tendință puternic ascendentă, în special în cadrul primei jumătăți a perioadei experimentale (fig. 4.36). Prin sintetizarea informațiilor prezentate anterior în acest subcapitol a rezultat bilanțul azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat (fig. 4.37). 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.

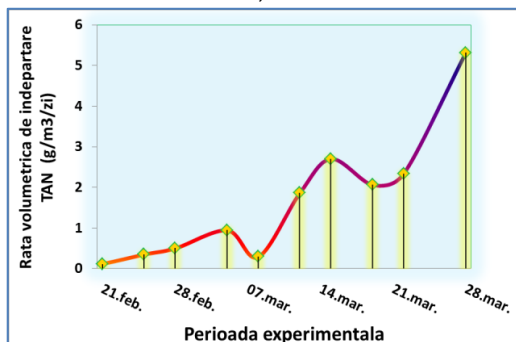


Fig. 4.35. Evoluția ratei volumetrice de îndepărtare a azotului amoniacal total (VTR)

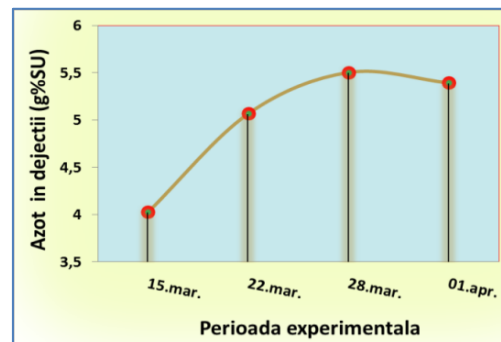


Fig. 4.36. Evoluția concentrației de azot din reziduurile fecale

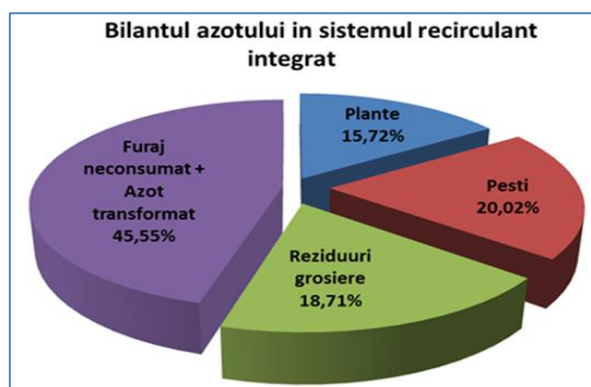


Fig. 4.37. Cuantificarea procentuală a azotului la nivelul compartimentelor studiate

● **Bilanțul fosforului și al calciului**

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. 4.38).

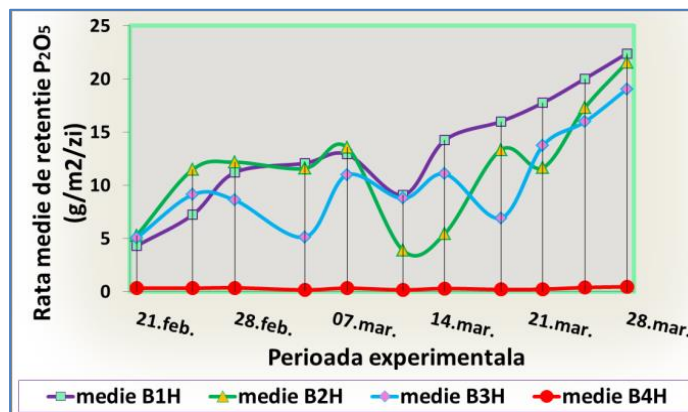


Fig. 4.38. Evoluția ratei de retenție a fosforului la nivelul unităților acvaponice

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. 4.39).

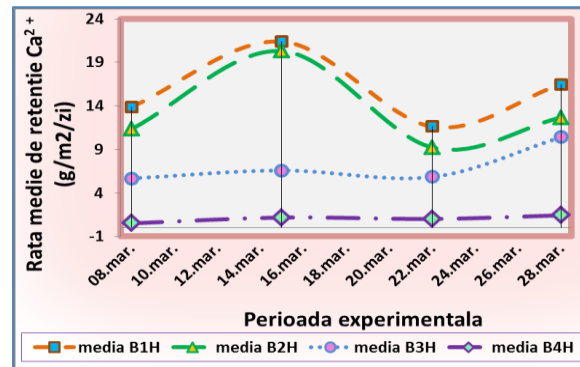


Fig. 4.39. Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice

Cantitatea totală de fosfor introdusă în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate a fost de 275,95g, cu o medie zilnică de $6,9 \pm 0,52$ g/zi.

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. 4.40).

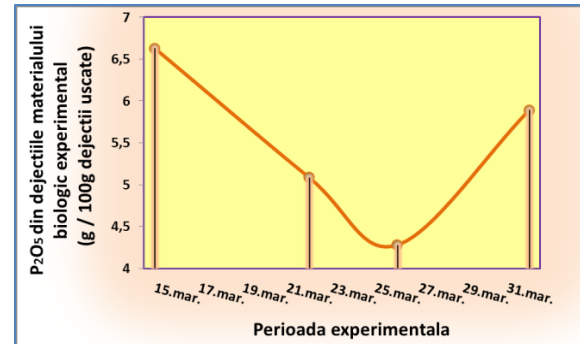


Fig. 4.40: Evoluția concentrației de fosfor din reziduurile fecale

În ceea ce privește **concentrația de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă**, diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) sunt consemnate între variantele experimentale, 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. 4.41).

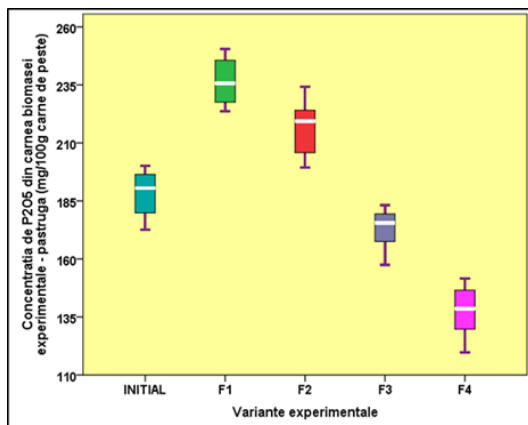


Fig. 4.41. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă

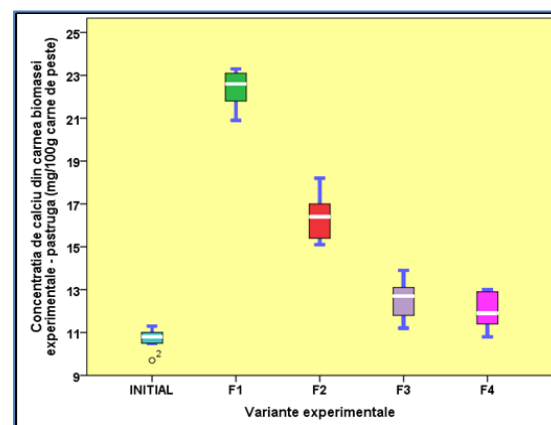


Fig. 4.42. Distribuția valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă

Legat de **concentrația de calciu din carnea de păstrugă**, 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 ($p > 0,05$) (fig. 4.42).

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 (fig. 4.43).

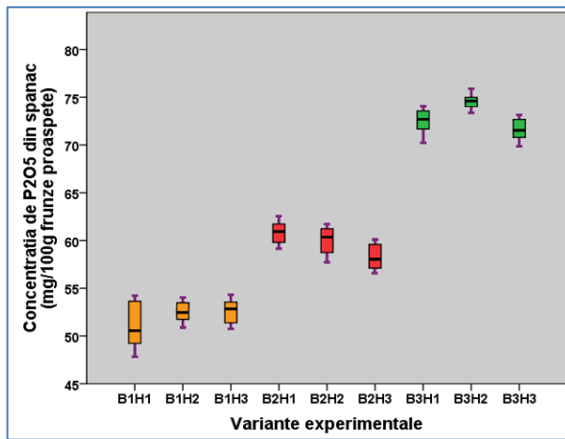


Fig. 4.43. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din frunzele proaspete de spanac

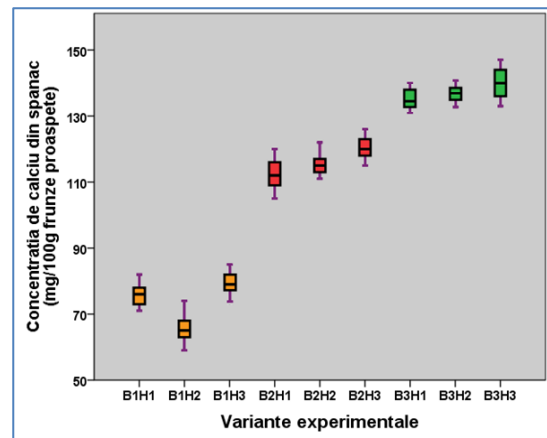


Fig. 4.44. Distribuția valorilor concentrației de calciu din frunzele proaspete de spanac

În ceea ce privește **concentrația de calciu din biomasa foliară a spanacului**, diferențele dintre cele trei variante experimentale sunt semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) (fig. 4.44).

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.

4.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale

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 4.1.

Tabel 4.1. 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

Comparând cele trei variante experimentale (B1H, B2H și B3H) s-au constatat diferențe semnificative statistic ($p < 0,05$) în ceea ce privește **masa finală totală a spanacului** (fig. 4.45).

Se observă o productivitate mai ridicată a spanacului în varianta B3H (39 plante/m²), 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/m² nu s-a dovedit a fi rentabilă din punct de vedere al creșterii productivității de biomasă vegetală.

Au fost consemnate diferențe semnificative din punct de vedere statistic ($p < 0,05$) între cele trei variante experimentale. În ceea ce privește **suprafața foliară finală a spanacului** (fig. 4.46).

Randamentul producției de spanac în condițiile acvaponice expuse în cadrul prezentului capitol, a fost evaluat prin intermediul următorilor indicatori tehnologici: rata relativă de creștere (RGR) a spanacului, rata netă de asimilare (NAR), ponderea medie a suprafeței foliare (LAR mediu), rata de creștere a spanacului (CGR), indicele suprafeței foliare (LAI) și raportul de masă rădăcină/suprafață foliară (R/S) (fig. 4.47, fig. 4.48, fig. 4.49, fig. 4.50, fig. 4.51, fig. 4.52).

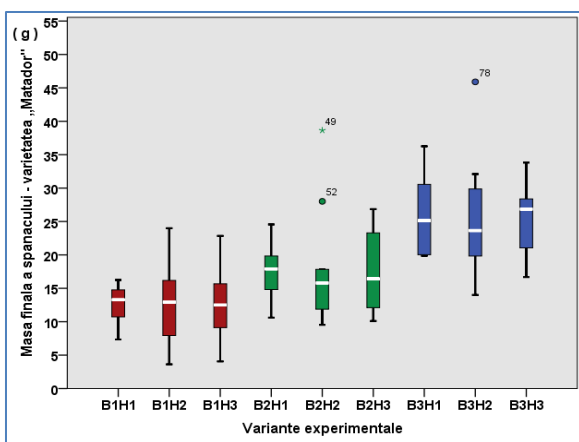


Fig. 4.45. Distribuția valorilor masei finale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

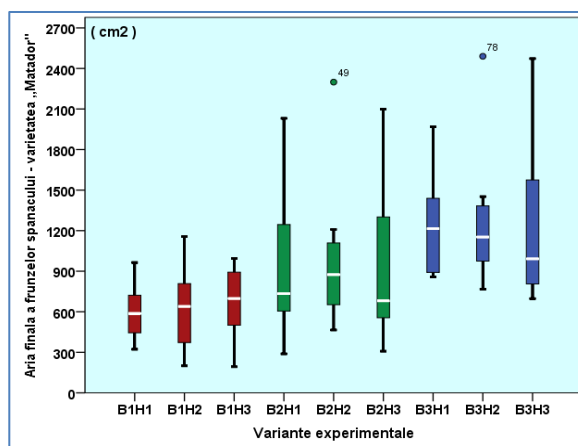


Fig. 4.46. Distribuția valorilor suprafeței foliare finale a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

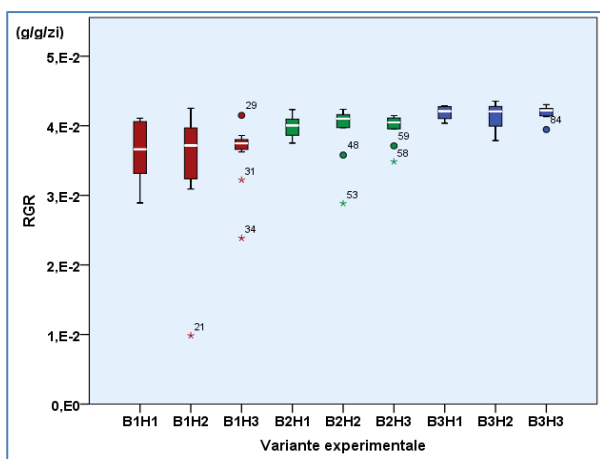


Fig. 4.47. Distribuția valorilor ratei relative de creștere (RGR) a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

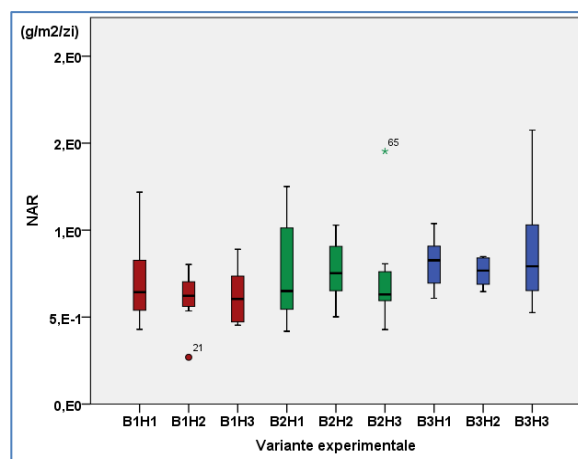


Fig. 4.48. Distribuția valorilor ratei nete de asimilare (NAR) a spanacului, în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

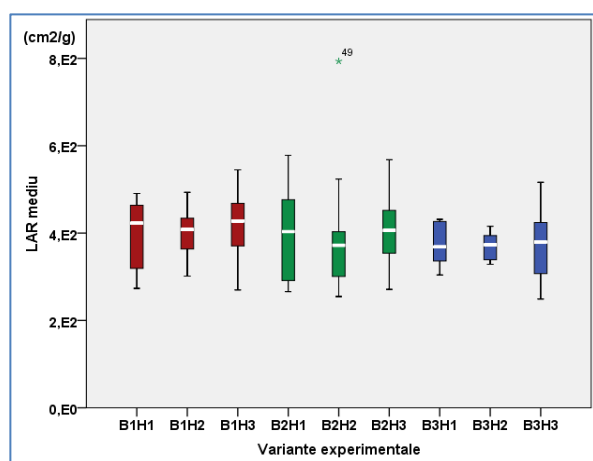


Fig. 4.49. Distribuția valorilor ponderii medii a suprafeței foliare a spanacului în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

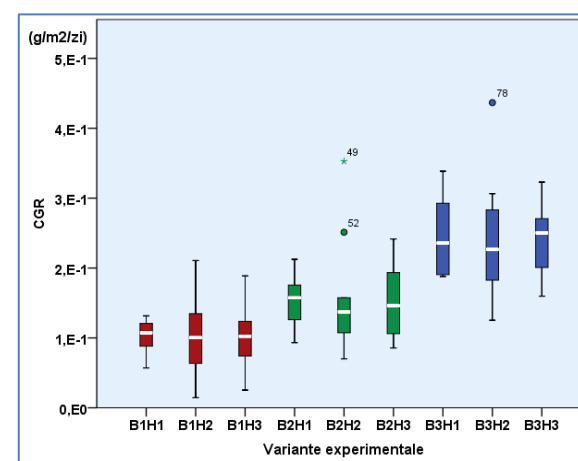


Fig. 4.50. Distribuția valorilor ratei de creștere a spanacului (CGR), în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

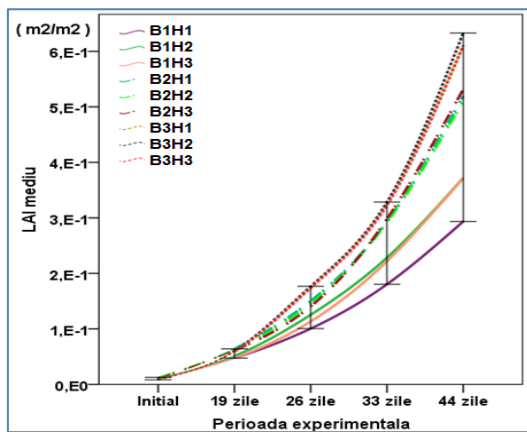


Fig. 4.51. Evoluția indicelui mediu al suprafeței foliare (LAI) în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

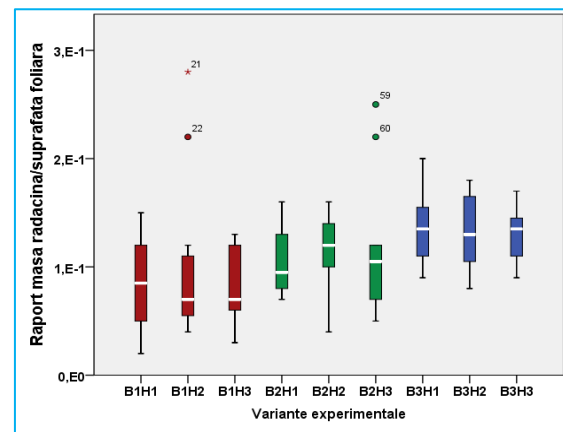


Fig. 4.52. Distribuția valorilor raportului masic rădăcină/suprafață foliară (R/S), în cadrul triplicatelor celor trei variante experimentale

Legat de distribuția valorilor RGR, se observă un grad de disipare 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. 4.47). În cazul B2H și B3H, valorile mai ridicate ale NAR, colaborate cu cele mai mici consemnate în dreptul LAR-ului (fig. 4.59) denotă o acumulare de substanță uscată la nivelul biomasei foliare a spanacului.

În ceea ce privește distribuția datelor legate de rata de creștere a spanacului, în cazul B3H se observă un grad mai ridicat de disipare al acestora în jurul mediei (fig. 4.50). O simetrie a valorilor CGR în jurul mediei se constată în cazul B1H (fig. 4.50).

Se înregistrează 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. 4.51).

4.3.5. Compoziția chimică și caracteristicile calitative ale biomaselor vegetale și piscicole

Diferențe statistice semnificative ($p < 0,05$) au fost consemnate între toate cele trei variante experimentale în ceea ce privește **concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară și cea foliară a spanacului** (fig. 4.53 și fig. 4.54).

De asemenea, din evaluarea **concentrațiilor de nitrați din biomasa radiculară și cea foliară a spanacului** (fig. 4.55 și fig. 4.56), s-au constatat diferențe semnificative statistice ($p < 0,05$) între toate cele trei variante experimentale.

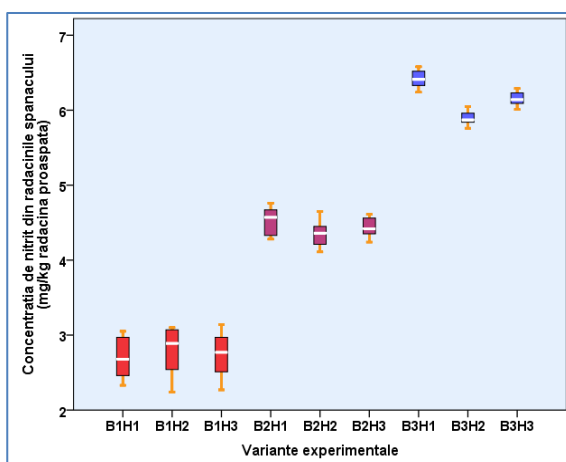


Fig. 4.53. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a spanacului

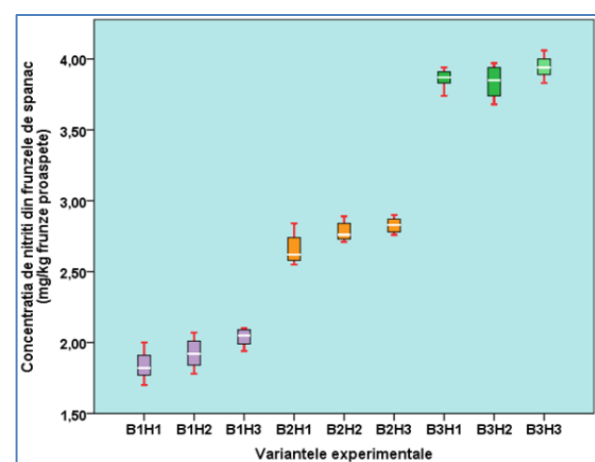


Fig. 4.54. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a spanacului

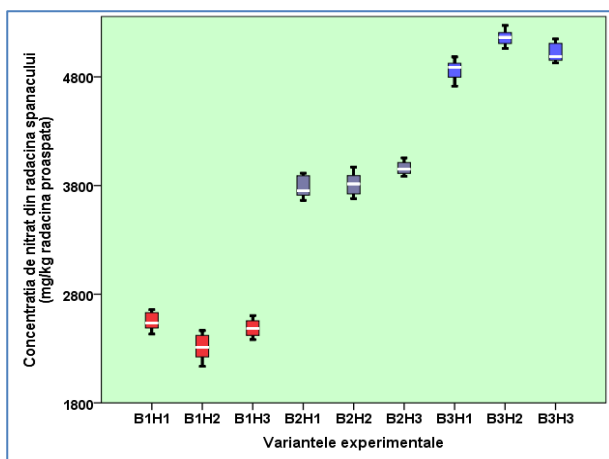


Fig. 4.55. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a spanacului

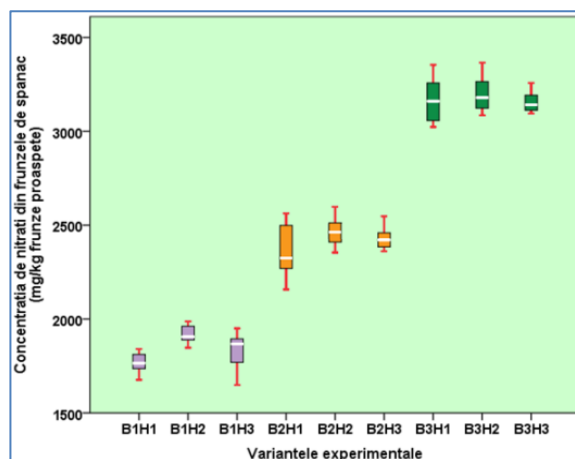


Fig. 4.56. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a spanacului

Ca atare, se poate concluziona faptul că, densitatea de creștere a biomasei vegetale influențează semnificativ concentrațiile de nitrați și nitriți de la nivelul suprafeței radiculare și a celei foliare a acesteia.

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.

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

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.

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.

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 acesteia 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 acesteia (corespunzătoare normelor în vigoare, în vederea comercializării producției obținute).

5.2. DESIGN EXPERIMENTAL

Materialul piscicol a fost reprezentat de un număr de 92 exemplare de păstrugă „*Acipenser stellatus*”, cu o biomasă medie inițială de 201,72g. 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.

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.

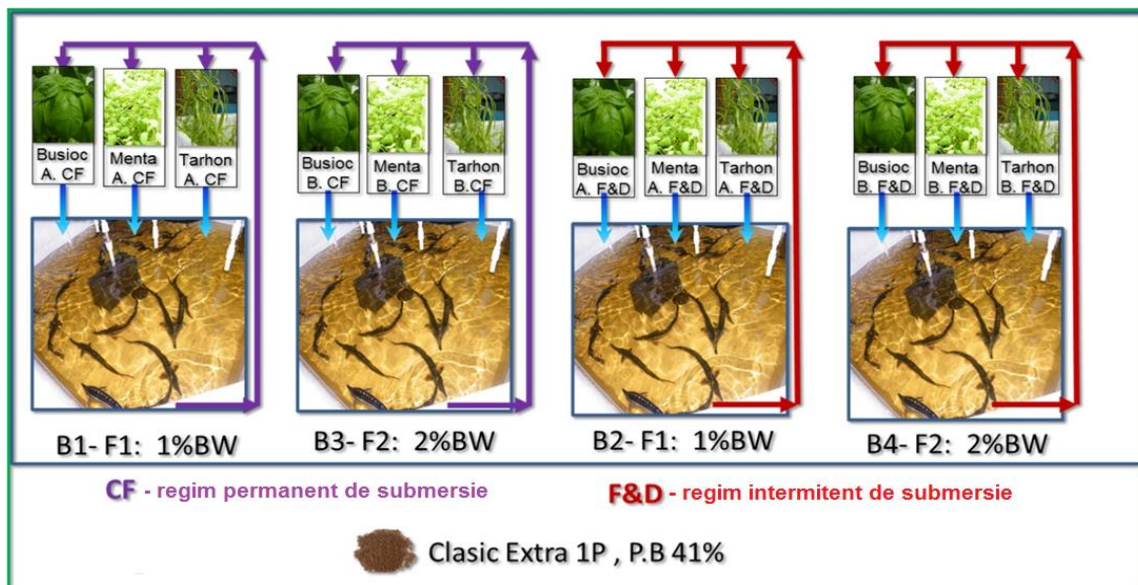


Fig. 5.1. Schema experimentală

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

În ceea ce privește *dinamica valorilor medii ale temperaturii apei tehnologice*, consemnate la nivelul punctelor 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 statistice ($p > 0,05$) între variantele experimentale (fig. 5.2).

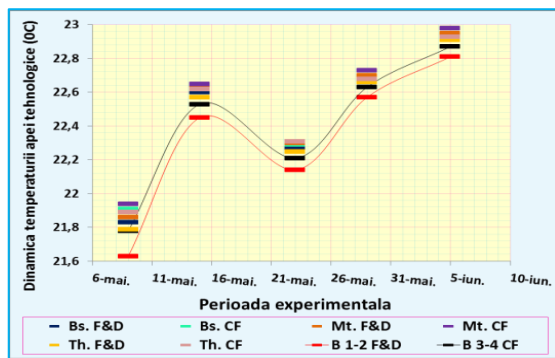


Fig. 5.2. Evoluția temperaturii apei tehnologice

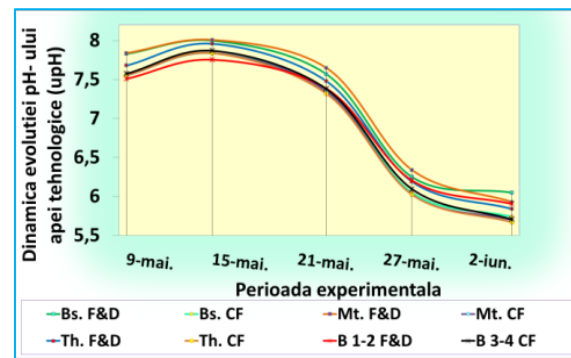


Fig. 5.3. Evoluția pH-ului apei tehnologice

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).

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 fluctuații mai accentuate în ultima parte a perioadei experimentale.

Evoluția concentrației de azot amoniacal a înregistrat o tendință ascendentă mai accentuată în cadrul variantelor experimentale unde a fost aplicat regimul intermitent de submersie, comparativ cu cele supuse unui regim permanent de submersie.

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.

Concentrația de nitrați ($N-NO_3$) la nivelul unităților acvaponice a înregistrat o tendință puternic ascendentă de-a lungul perioadei experimentale.

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.

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. 5.4).

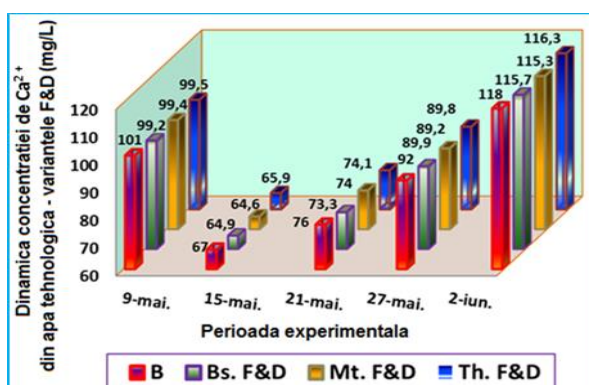


Fig. 5.4. Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice, în cadrul variantelor experimentale cu regim intermitent de submersie

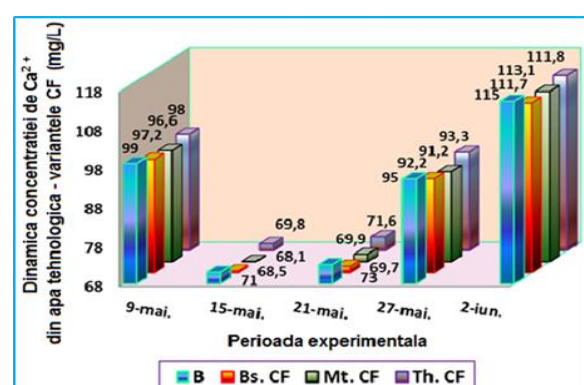


Fig. 5.5. Evoluția concentrației de calciu la nivelul unităților acvaponice, în cadrul variantelor experimentale cu regim permanent de submersie

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. 5.5).

Evoluția concentrației de magneziu a avut o tendință descendentă, manifestată cu precădere în cadrul ultimelor cinci zile ale perioadei experimentale (fig. 5.6).

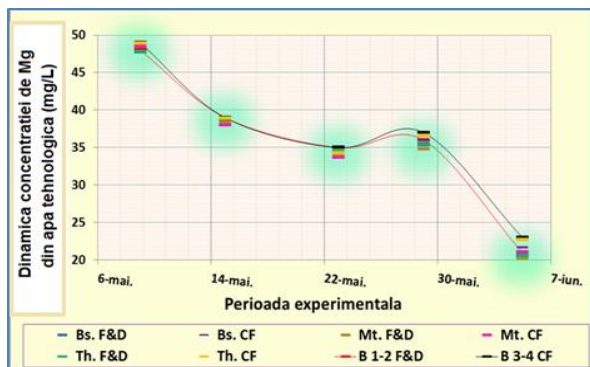


Fig. 5.6. Evoluția concentrației de magneziu la nivelul unităților acvaponice

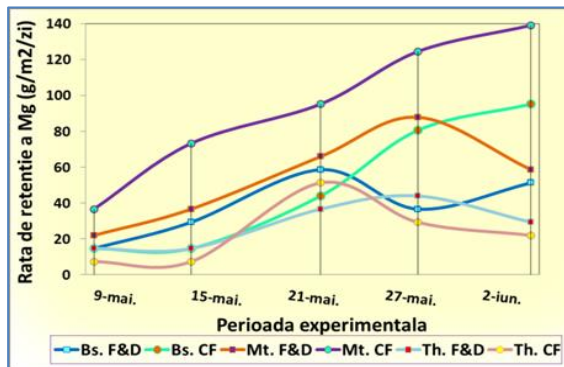


Fig. 5.7. Evoluția ratei de retenție a magneziului la nivelul unităților acvaponice

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. 5.7).

Evoluția concentrației de potasiu a avut o tendință descendentă, manifestată mai accentuat la sfârșitul primei jumătăți a perioadei experimentale (fig. 5.8). Acest lucru este firesc deoarece, potasiul este cunoscut drept principalul macronutrient care asigură creșterea biomasei experimentale.

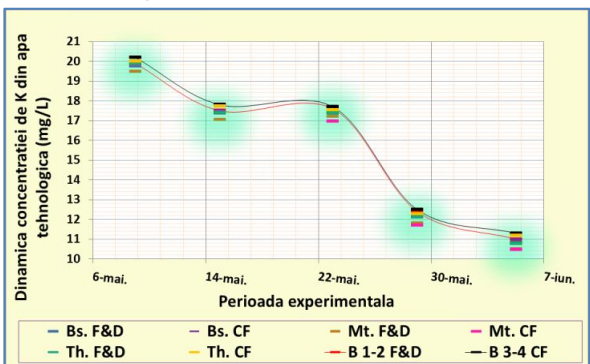


Fig. 5.8. Evoluția concentrației de potasiu la nivelul unităților acvaponice

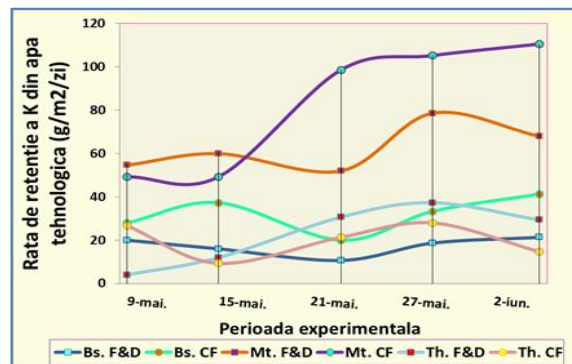


Fig. 5.9. Evoluția ratei de retenție a potasiului la nivelul unităților acvaponice

Rata de retenție a potasiului (fig. 5.9) 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. 5.9).

5.3.2. Dinamica microelementelor din efluentul sistemului

Evoluția concentrației de fier de-a lungul perioadei experimentale înregistrează o tendință generală descendentă în cazul tuturor variantelor testate (fig. 5.10). 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. 5.10).

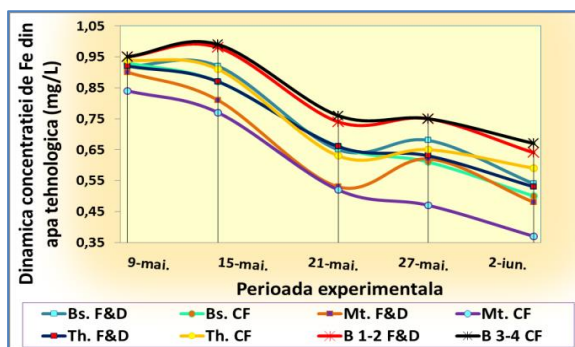


Fig. 5.10. Evoluția concentrației de fier la nivelul unităților acvaponice

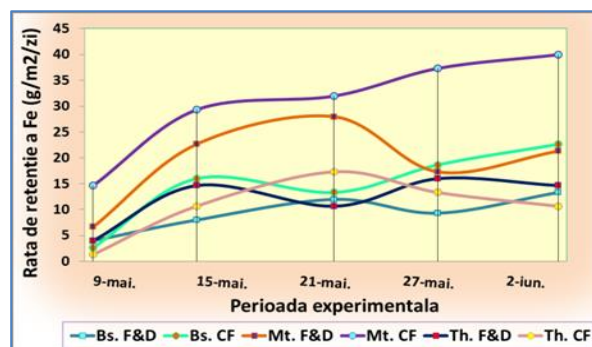


Fig. 5.11. Evoluția ratei de retenție a fierului la nivelul unităților acvaponice

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. 5.11).

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. 5.12).

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. 5.13)

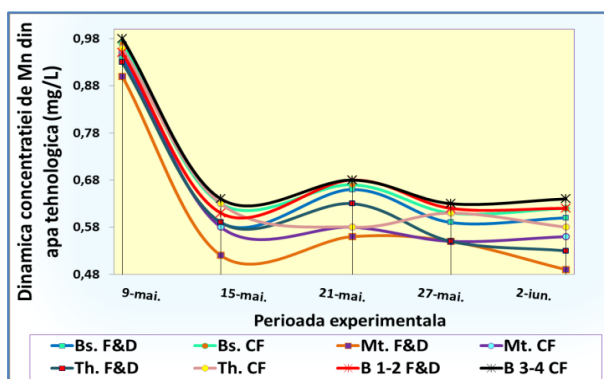


Fig. 5.12. Evoluția concentrației de mangan la nivelul unităților acvaponice

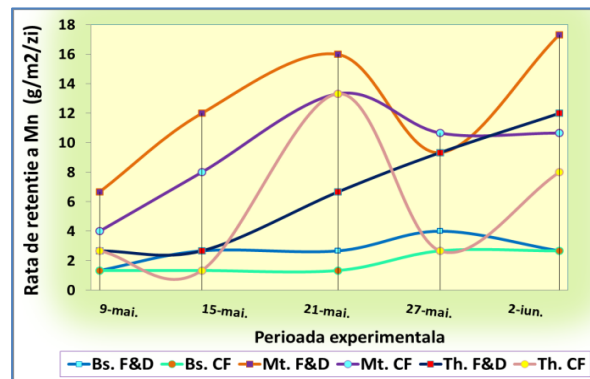


Fig. 5.13. Evoluția ratei de retenție a manganului la nivelul unităților acvaponice

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.5.14).

Electroconductivitatea (EC) apei tehnologice reprezintă expresia cantității totale de ioni din apa tehnologică [211]. Evoluția EC a înregistrat o tendință ascendentă, manifestată în deosebi în cea de-a doua jumătate a perioadei experimentale (fig. 5.15).

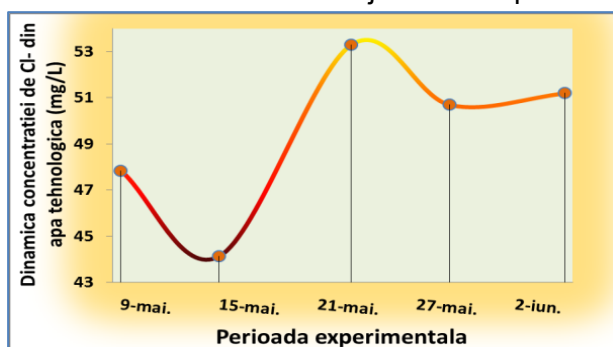


Fig. 5.14. Evoluția concentrației de clor la nivelul sistemului recirculant integrat

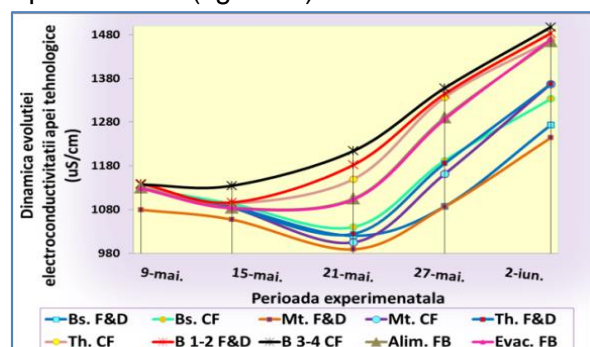


Fig. 5.15. Evoluția electroconductivității (EC) la nivelul unităților acvaponice

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. 5.16).

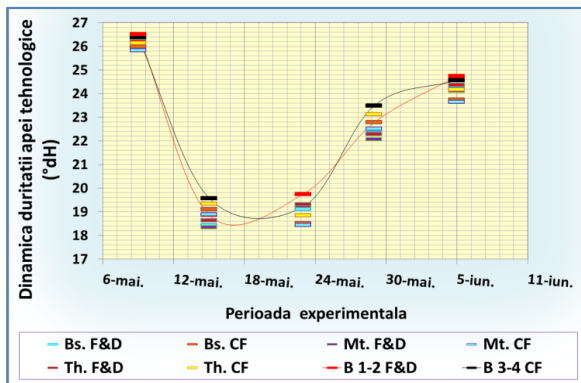


Fig. 5.16. Evoluția durității totale la nivelul unităților acvaponice

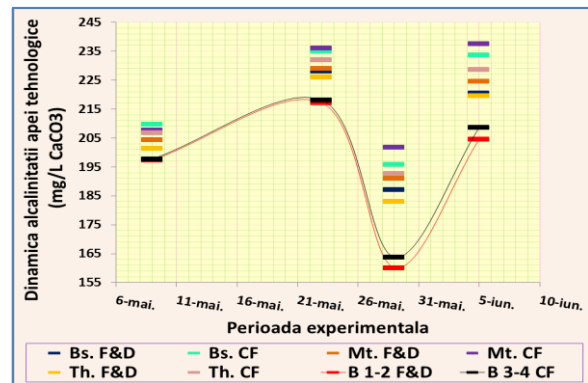


Fig. 5.17. Evoluția alcalinității la nivelul unităților acvaponice

Alcalinitatea apei tehnologică 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. 5.17).

Evoluția consumului chimic de oxigen (COD) înregistrează o tendință puternic ascendentă de-a lungul întregii perioade experimentale (fig. 5.18).

Acest lucru determină acumularea solidelor grosiere la nivelul substratului LECA, proces influențat în mare măsură și de gradul de dezvoltare și caracteristicile antropometrice a suprafeței radiculare corespunzătoare diverselor specii de plante cultivate în regim acvaponic.

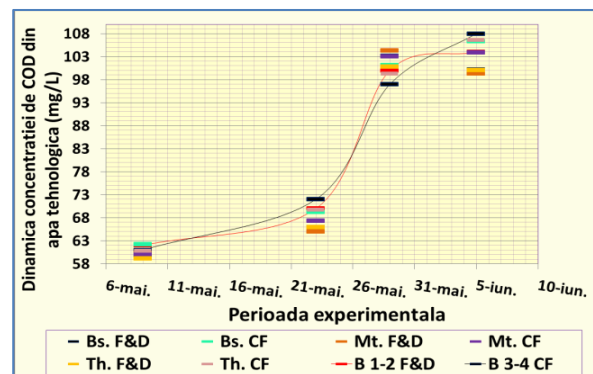


Fig. 5.18. Evoluția concentrației de COD la nivelul unităților acvaponice

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. 5.19).

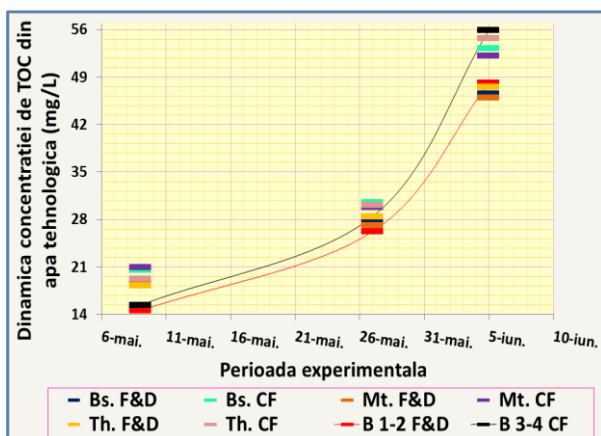


Fig. 5.19. Evoluția concentrației de TOC la nivelul unităților acvaponice

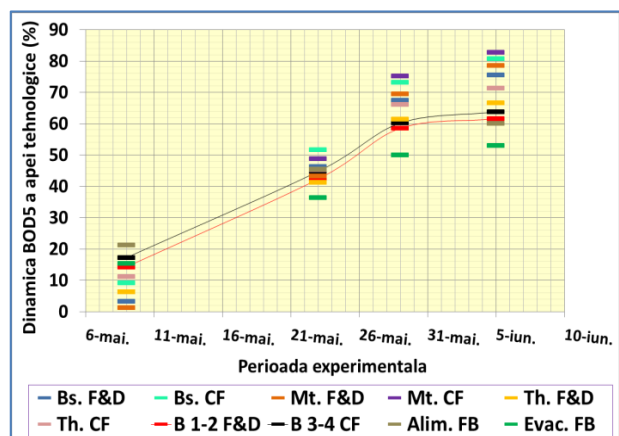


Fig. 5.20. Evoluția BOD5 la nivelul unităților acvaponice

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. 5.20).

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. 5.21).

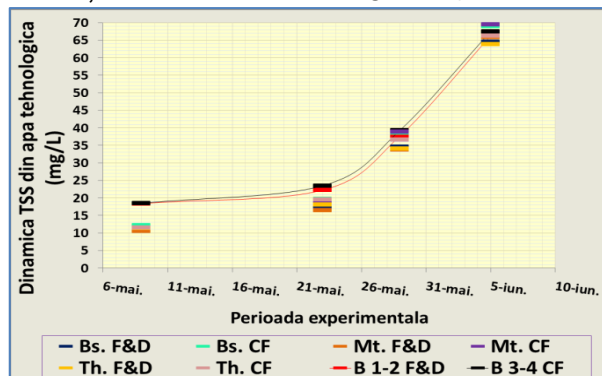


Fig. 5.21. Evoluția concentrației de TSS la nivelul unităților acvaponice

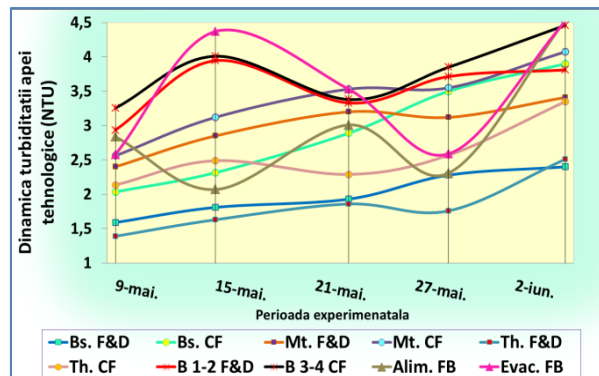


Fig. 5.22. Evoluția turbidității la nivelul unităților acvaponice

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. 5.22).

5.3.3. Bilanțul azotului, fosforului și calciului în cadrul sistemului

● Bilanțul azotului

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.

Rata de îndepărtare a nitraților înregistrează o evoluție generală descendentă, cu fluctuații semnificative în cazul variantelor cu regim permanent de submersie și biomasă de busuioac și mentă și al celor cu regim intermitent de submersie și biomasă de tarhon.

Rata volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VRT), consemnată la nivelul unității de filtrare biologică, înregistrează o tendință slab ascendentă, cu fluctuații semnificative de-a lungul perioadei experimentale. 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 (fig. 5.23).

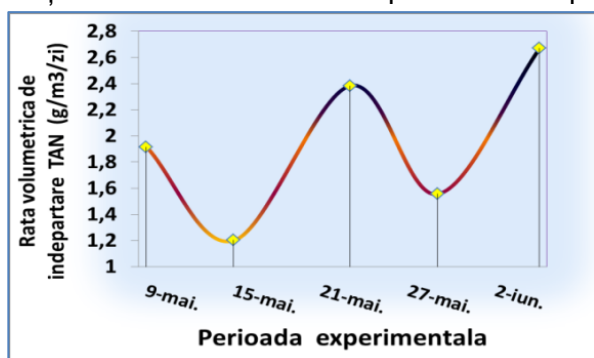


Fig. 5.23. Evoluția ratei volumetrică de îndepărtare a azotului amoniacal total (VRT)

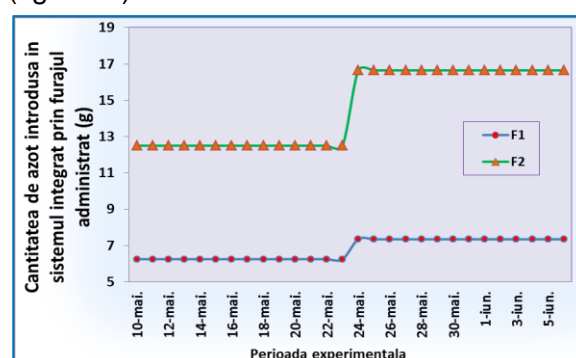


Fig. 5.24. Evoluția cantității de azot introduse în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

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) (fig.5.24).

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. 5.25).

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

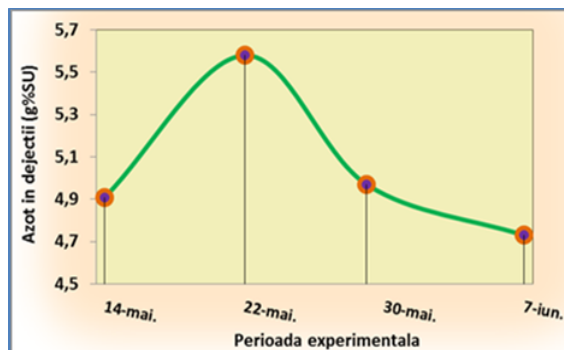


Fig. 5.25. Evoluția concentrației de azot din reziduurile fecale

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 (fig. 5.26 și fig. 5.27).

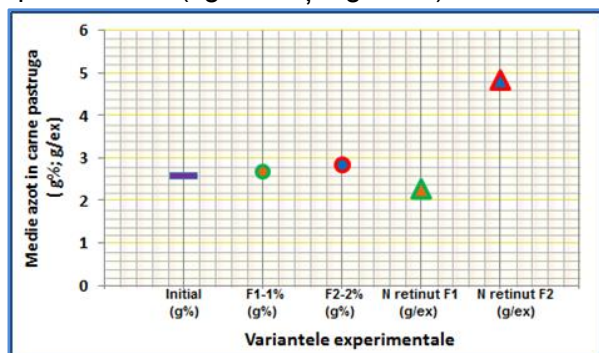


Fig. 5.26. Azotul (TKN) din carnea de păstrugă

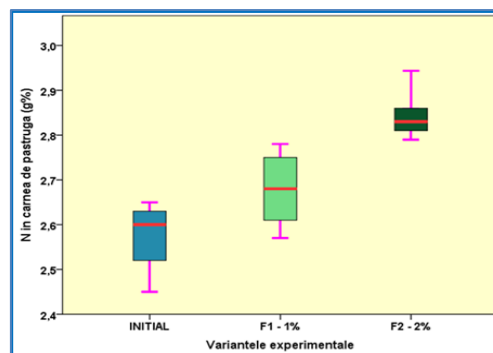


Fig. 5.27. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din carnea de păstrugă

În ceea ce privește **concentrației de azot (TKN) din biomasa foliară** (fig. 5.28) se pot concluziona valori superioare aferente biomasei foliară a busuiocului și a mentei, în cazul variantelor în cadrul cărora a fost aplicat un regim permanent de submersie, comparativ cu cele cu regim intermitent de submersie ($p < 0,05$).

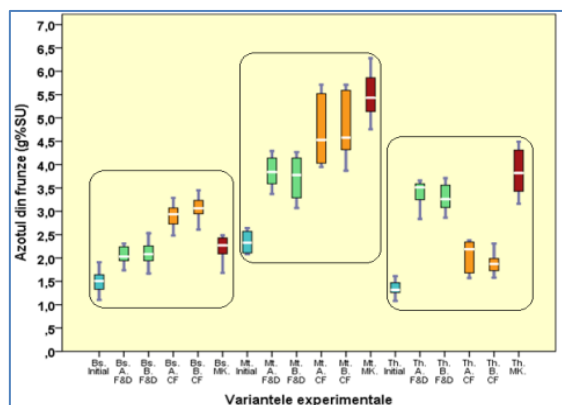


Fig. 5.28. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului

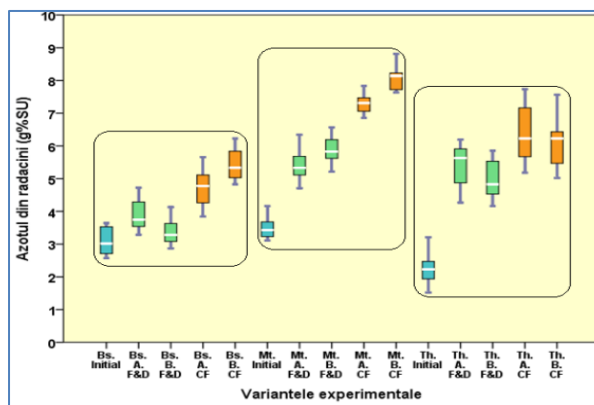


Fig. 5.29. Distribuția valorilor concentrațiilor de azot (TKN) din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului

Concentrația de TKN din biomasa radiculară a mentei și a tarhonului (fig. 5.29) este 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 ($p < 0,05$) (fig. 5.29).

Prin cuantificarea informațiilor prezentate anterior în acest subcapitol (5.3.3), a rezultat bilanțul azotului total din cadrul sistemului recirculant integrat (fig. 5.30).

● **Bilanțul fosforului și al calciului**

Evoluția ratei de retenție a calciului consemnează o tendință ușor ascendentă, cu fluctuații însemnate de-a lungul perioadei experimentale (fig. 5.31).

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. 5.32).

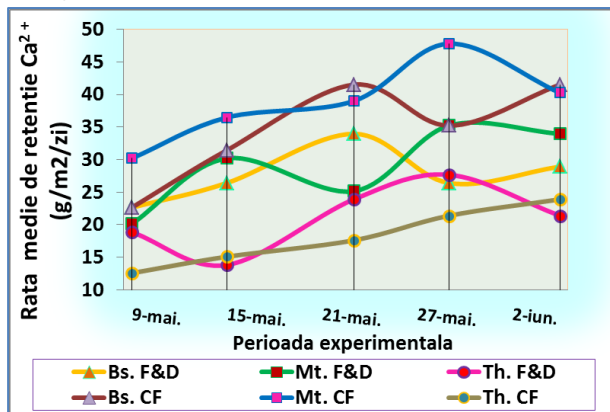


Fig. 5.31. Evoluția ratei de retenție a calciului la nivelul unităților acvaponice



Fig. 5.30. Cuantificarea procentuală a azotului la nivelul compartimentelor studiate

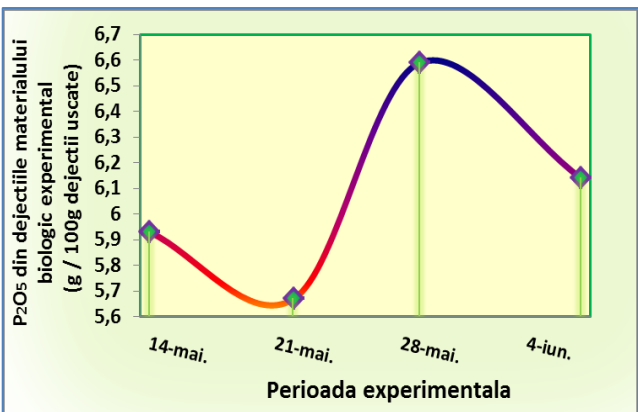


Fig. 5.32. Evoluția cantității de fosfor introduse în cadrul sistemului recirculant integrat prin intermediul hranei administrate

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 (fig. 5.33, fig. 5.34).

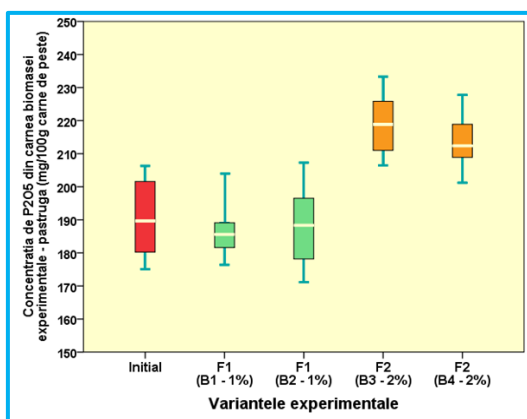


Fig. 5.33. Distribuția valorilor concentrației de fosfor (P_2O_5) din carnea de păstrugă

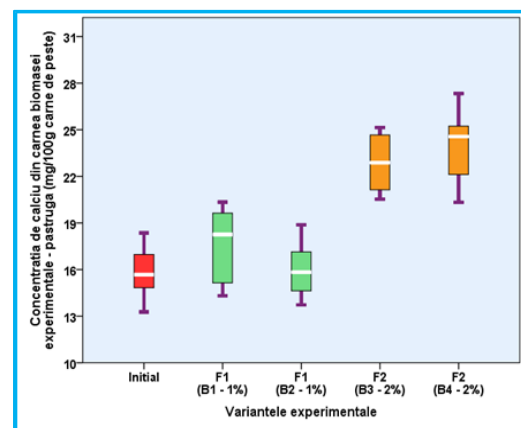


Fig. 5.34. Distribuția valorilor concentrației de calciu din carnea de păstrugă

5.3.4. Randamentul creșterii biomasei vegetale și a celei piscicole

● Randamentul creșterii biomasei vegetale

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.

Din analiza **suprafeței foliare finale a biomasei vegetale** 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 suprafața foliară finală, fapt valabil doar în cazul biomasei de busuioc și mentă.

5.3.5. Compoziția biochimică, chimică și caracteristicile calitative ale biomasei vegetale și piscicole

● Biomasa vegetală

Concentrațiile de nitriți din biomasa radiculară a celor trei specii de plante testate

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 biomasele de busuioc și mentă (fig. 5.35).

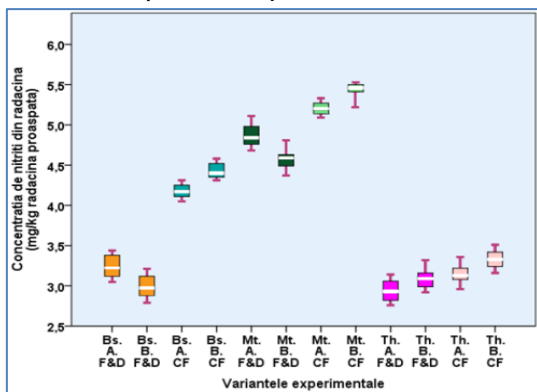


Fig. 5.35. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

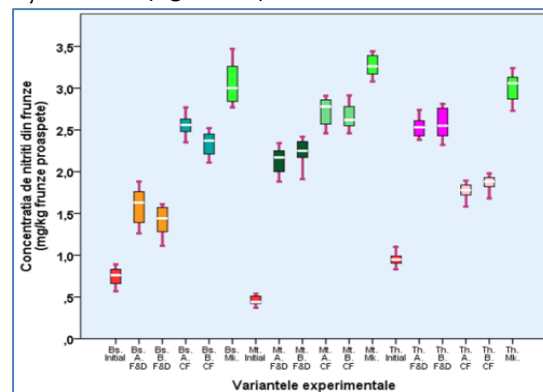


Fig. 5.36. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

Concentrațiile de nitriți din biomasa foliară a celor trei specii de plante testate

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. 5.36).

Concentrațiile de nitrați din biomasa radiculară a celor trei specii de plante testate

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. 5.37).

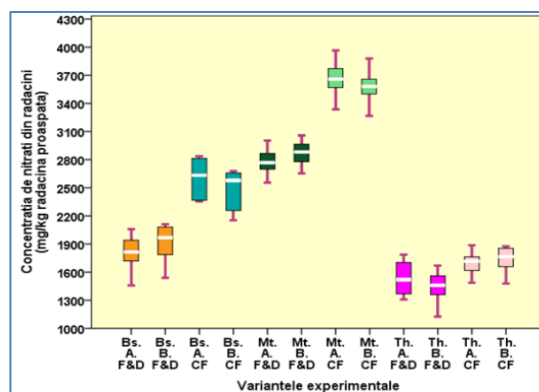


Fig. 5.37. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa radiculară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

Concentrațiile de nitrați din biomasa foliară a celor trei specii de plante testate

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. 5.38).

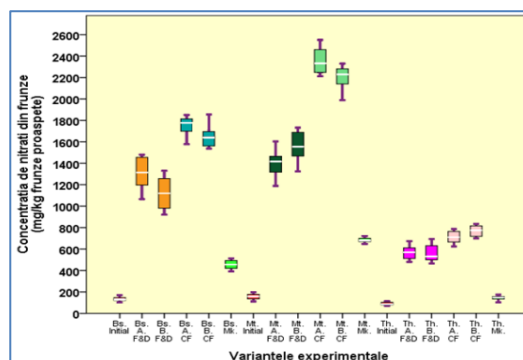


Fig. 5.38. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din biomasa foliară a busuiocului, mentei și tarhonului, în cadrul duplicatelor celor două variante experimentale

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. 5.39 și fig. 5.40).

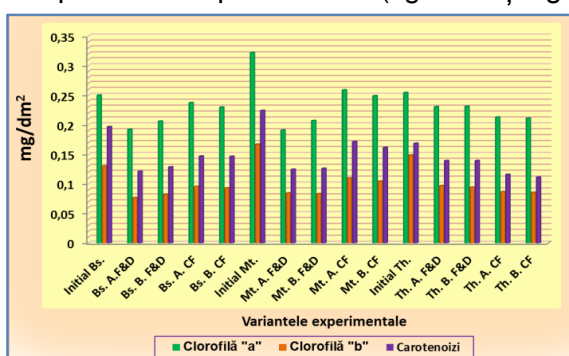


Fig. 5.39. Evoluția pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b) și a celor galbeni (carotenoizii), raportați la suprafața foliară

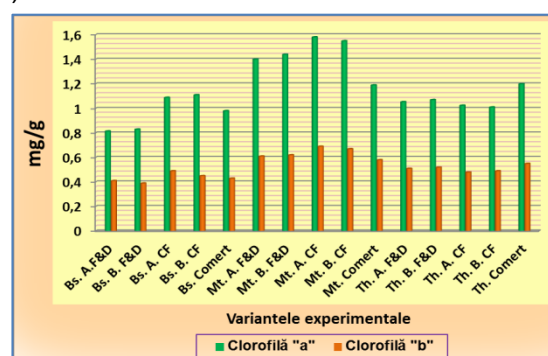


Fig. 5.40. Conținutul pigmentilor verzi clorofilieni (clorofila a și b), raportați la masa foliară

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. 5.39 și fig. 5.40).

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 (fig. 5.41, fig. 5.42).

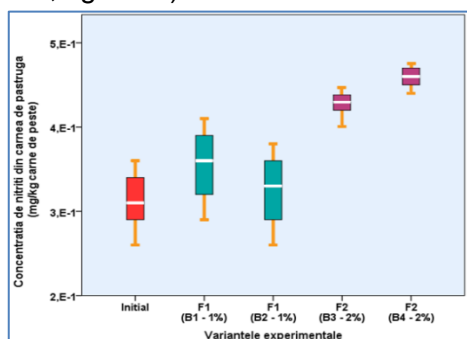


Fig. 5.41. Distribuția valorilor concentrației de nitriți din carnea de păstrugă

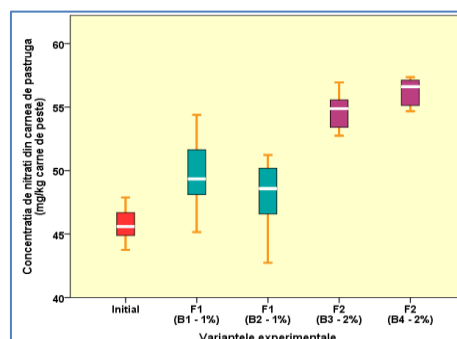


Fig. 5.42. Distribuția valorilor concentrației de nitrați din carnea de păstrugă

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.

CAPITOLUL VI. 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.

Rezultatele obținute în cadrul studiilor experimentale descrise în prezenta teză de doctorat conduc la o serie de concluzii relevante, prezentate pe larg în cadrul finalul 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 radulare 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 modulului 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 aceluiași 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 valorii 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 acelorasi 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 acelor 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.

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 modulului 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 modulului 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-CEZERİ 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 St. 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 (Crețu) 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 St.M.**; *Efect 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., Plăcintă (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
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
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 Șt. 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 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**, 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 Șt. 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-Cezerî 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.**, *Efect 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 international “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 international “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](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](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, 1758)*; 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](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 SELECTIVĂ

- [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>
- [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/>
- [6] <http://www.aquanue.com/aquanue-journal/2013/3/4/no-slowing-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 Verreth, 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.
- [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 integrated 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.
- [75] Diver, S., *Aquaponics – Integration of Hydroponics With Aquaculture*, Publication ATTRA National Sustainable Agriculture Information Service, 2006, Pages 1-26.
- [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,
- [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.
- [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.
- [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.
- [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.
- [140] De Silva, S.S., Anderson, T.A., *Fish nutrition in aquaculture*. Chapman and Hall, London, UK, 1995, Pages 334.
- [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.
- [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.
- [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 Volume 183, 2005, Pages 11–28.
- [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.
- [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.
- [216] Dediu, L., *Manipularea comunităților microbiene în scopul bioremedierii efluentului de acvacultură intensivă*”, Proiect de cercetare postdoctorală, Universitatea Dunărea de Jos, Galați. 2011.
- [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., 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, Volume 37(2), Pages 47-58.
- [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.
- [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%2Fpmp%2FAquaponics%2520for%2520workshop.ppt&ei=oFtGVLGeBM_uaJeBgAF&usg=AFQjCNFaZbSoMsb97jvJQGfG9hVvJEYRBQ 13.08.2014
- [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.