

UNIVERSITATEA DE STAT DIN MOLDOVA

ISSN 1814-3237

Categoria B

STUDIA UNIVERSITATIS MOLDAVIAE

SERIA

Științe reale • Științe biologice
și ale naturii • Științe chimice

Fondată în anul 2007

Revistă științifică cu acces deschis,
supusă unui proces de dublă recenzare

OPEN  ACCESS JOURNALS



Chișinău
CEP USM 2024

Nr. 1(171)
2024

Redactor-șef

GULEA Aurelian, academician, profesor universitar, doctor habilitat (Universitatea de Stat din Moldova)

Redactori-șefi adjuncți

CRIVOI Aurelia, profesor universitar, doctor habilitat (Universitatea de Stat din Moldova)

GLADCHI Viorica, conferențiar universitar, doctor (Universitatea de Stat din Moldova)

LEȘANU Mihai, conferențiar universitar, doctor (Universitatea de Stat din Moldova)

Consiliul academic

ANDRUH Marius, academician al Academiei Române, profesor universitar (Universitatea din București, România)

ARION Vladimir, conferențiar universitar, doctor habilitat (Universitatea din Viena, Austria)

BÂRSAN Ana, conferențiar universitar, doctor (Universitatea de Stat din Moldova)

BOBEICA Valentin, conferențiar universitar, doctor habilitat (Universitatea de Stat din Moldova)

BULIMESTRU Ion, conferențiar universitar, doctor (Universitatea de Stat din Moldova)

ČESNOKOV Iurii, doctor (Institutul Agrofizic de Cercetări Științifice din Sankt Petersburg, Federația Rusă)

DUCA Gheorghe, academician, profesor universitar, doctor habilitat (Institutul de Chimie)

FURDUI Teodor, academician, profesor universitar, doctor habilitat (Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie)

GONȚA Maria, profesor universitar, doctor habilitat (Universitatea de Stat din Moldova)

GUȚANU Vasile, profesor universitar, doctor habilitat (Universitatea de Stat din Moldova)

IBISCH Pierre L., PhD., professor (Eberswalde University for Sustainable Development, Germany)

MANGALAGIU Ionel, profesor universitar, doctor (Universitatea „Al. I. Cuza” din Iași, România)

RUDIC Valeriu, academician, profesor universitar, doctor habilitat (Institutul de Microbiologie și Biotehnologie)

SOCHIRCĂ Vitalie, conferențiar universitar, doctor (Universitatea de Stat din Moldova)

TODERAȘ Ion, academician, profesor universitar, doctor habilitat (Institutul de Zoologie)

UNGUR Nicon, profesor universitar, doctor habilitat (Institutul de Chimie)

VOLOȘCIUC Leonid, profesor universitar, doctor habilitat (Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor)

WILSON Karl A., PhD., Professor Emeritus of Biological Sciences (State University of New York at Binghamton, USA)

Grupul de lucru

STEPANOV Georgeta, doctor habilitat, profesor universitar, prorector pentru activitate științifică - coordonator

VALIC Miroslava - executor responsabil

VLADÎCA Sergiu - redactare literară (limba română)

PASTUH Marina - design grafic

ZASMENCO Ecaterina - atribuire index CZU

CHISELIOV Anton - responsabil de site

Indexată în bazele de date



Universitatea de Stat din Moldova, 2024

CZU 632(075.8):547.792

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_01](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_01)

ACTIVITATEA ANTIMICROBIANĂ A UNOR DERIVAȚI VINIL-TRIAZOLICI

*Galina LUPAȘCU, Svetlana GAVZER, Nicolae CRISTEA,
Lucian LUPAȘCU, Eugenia STÎNGACI, Marina ZVEAGHINȚEVA,
Serghei POGREBNOI, Fliur MACAEV,*

*Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor,
Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova*

Micozele și bacteriozele în culturile agricole sunt foarte devastatoare, aducând pagube economice enorme prin pierderile directe de recoltă și compromiterea acesteia datorită poluării cu toxine ale patogenilor, ceea ce le face toxice pentru om și animale. Procedeele chimice de protecție a plantelor adesea devin ineficiente din cauza adaptării ușoare a agenților cauzali la pesticide, diminuării efectului protector sub influența condițiilor nefavorabile, toxicității, consecințelor ecologice. Pornind de la aceasta, scopul cercetărilor a constat în identificarea noilor compuși cu activitate antifungică (*Fusarium avenaceum*) și antibacteriană (*Erwinia amilovora*, *E. carotovora*, *Xanthomonas campestris*) în condiții *in vitro* pentru valorificarea ulterioară în măsurile de protecție a plantelor. Pe baza creșterii coloniilor de fung și concentrației minime bactericide, s-a constatat că derivații vinil-triazolici EPS-869, EPS-877, EPS-880, EPS-892, EPS-165 (0,00125; 0,0025; 0,005; 0,01%) manifestă înaltă activitate antimicrobiană, fenomenul datorându-se în special factorului de compus.

Cuvinte-cheie: derivați vinil-triazolici, concentrație, activitate, fung, bacterie.

ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF SOME VINYL-TRIAZOLE DERIVATIVES

Mycoses and bacterioses in agricultural crops are very devastating, bringing enormous economic damage through direct crop losses and compromising it due to pathogen toxin pollution, which makes them toxic to humans and animals. Chemical plant protection procedures often become ineffective due to the easy adaptation of causative agents to pesticides, the reduction of the protective effect under the influence of unfavorable conditions, toxicity, ecological consequences. Starting from this, the aim of the research consisted in the identification of new compounds with antifungal (*Fusarium avenaceum*) and antibacterial (*Erwinia amilovora*, *E. carotovora*, *Xanthomonas campestris*) activity in *in vitro* conditions for further utilization in plant protection measures. Based on the growth of fungal colonies and minimum bactericidal concentration, it was found that vinyl-triazole derivatives EPS-869, EPS-877, EPS-880, EPS-892, EPS-165 (0,00125; 0,0025; 0,005; 0, 01%) shows high antimicrobial activity, the phenomenon being due in particular to the compound factor.

Keywords: vinyl-triazole derivatives, concentration, activity, fungus, bacteria.

Introducere

Printre cele mai răspândite și devastatoare boli în culturile cerealiere, inclusiv la grâul comun de toamnă, pot fi menționate putregaiul de rădăcină și fuzarioza spicului. Putregaiul de rădăcină contribuie la scăderea germinației boabelor, diminuarea vigoriei, ofilirea plantulelor și plantelor, iar fuzarioza spicului – la șistăvirea boabelor, diminuarea calității acestora din cauza toxicității legată de acumularea micotoxinelor [1, 2]. Putregaiul de rădăcină este produs de ciuperci care aparțin diferitelor genuri, însă *Fusarium* spp. este de cele mai multe ori majoritar. În ultimul timp, în complexul fungic care cauzează maladia în condițiile R. Moldova, se înregistrează cu incidență mult mai înaltă decât în anii precedenți specia *F. avenaceum* [3]. Schimbarea raportului de specii în spectrul fungic s-ar putea explica prin răspunsul asociațiilor biotice din sol la dezechilibrele climatice din ultimul timp în regiunea noastră, asemenea fenomen înregistrându-se și în alte zone geografice. Autorii [2] consideră că populațiile de agenți patogeni ai putregaiului de rădăcină și fuzariozei spicului sunt foarte dinamice, ceea ce duce la schimbări pronunțate ale structurii acestora în diferite regiuni.

Analiza PCR-cantitativ (qPCR) a constatat la *F. avenaceum* o variabilitate genetică mult mai înaltă decât la alte specii *Fusarium* [2]. Modul de acțiune a toxinelor ciupercii *F. avenaceum* – eniatinelor, bovericinei [4], moniliforminei [5] în plantă este încă incert, dar există informații conform cărora creșterea virulenței ciupercii *F. avenaceum* pentru anumite culturi, este determinată de cantitatea și calitatea acestor metaboliți în plante care acționează sinergic cu alți factori toxici [4]. S-a constatat că bovericina prezintă un risc de cardiotoxicitate datorită efectului inotrop (scăderea forței contractției cardiace) și cronotrop (scăderea frecvenței bătăilor cardiace) negativ [5]. Conform datelor recente, contaminarea crescută a culturilor de grâu și orz din Europa și Asia cu micotoxinele emergente eniatinele sau bovericina, produse de *F. avenaceum* ar putea fi implicată în viitoarele crize de siguranță alimentară [4].

Speciile de bacterii fitopatogene pot provoca diverse boli (bacterioze) plantelor agricole. De exemplu, *Erwinia amylovora* – bacterie gram-negativă din familia Enterobacteriaceae, este agentul cauzal al focului bacterian, o boală devastatoare a plantelor care afectează o gamă largă de specii de Rosaceae, fiind o amenințare globală majoră pentru producția comercială de mere, pere, prune. Boala se răspândește în special pe vreme caldă și umedă prin sistemul vascular producând leziuni necrotice în diferite organe ale plantei [6, 7, 8].

O altă specie de *Erwinia* – *E. carotovora* cauzează putregaiul umed la culturi importante din punct de vedere economic, cum ar fi cartofii, roșiile și castraveții. În cazul cartofilor, putregaiul moale al tulpinii și al tuberculilor se produce chiar și după recoltare, reducând astfel foarte mult randamentul recoltei [9].

Xanthomonas campestris pv. *vesicatoria* este o bacterie biotrofă gram-negativă care provoacă albirea bacteriană a roșiilor (*Solanum lycopersicum* L.) și ardeiului (*Capsicum annuum* L.) – o boală importantă la nivel mondial. Simptomele infecției bacteriene includ defolieri și leziuni necrotice clorotice pe frunze, tulpini, fructe și flori, care duc ulterior la o producție redusă de fructe [10, 11].

Compușii 1,2,3-triazolici reprezintă o clasă importantă de substanțe heterociclice care conțin azot și din considerente practice, sunt adesea introduși în medicamentele existente sau în compușii de plumb ca grupări farmacodinamice pentru a îmbunătăți activitatea farmacologică a acestora. În plus, derivații lor manifestă un spectru larg de efecte biologice, cum ar fi activități antibacteriene, anti-malarie, anti-HIV, antifungice, anticancerigene și antiinflamatorii – însușiri indispensabile în domeniul cercetării și producerii de noi medicamente [12, 13].

Întrucât agenții cauzali ai bolilor micotice și bacteriene, ușor se adaptează la preparatele chimice utilizate în măsurile de protecție a plantelor, sunt deosebit de actuale cercetările cu privire la identificarea noilor compuși cu activitate antimicrobiană, ceea ce a prezentat scopul prezentelor investigații.

Material și metode

Izolarea fungilor *F. avenaceum* și *F. oxysporum* s-a efectuat în condiții aseptice pe mediu PDA (*Potatoes Dextrosus Agar*) [14], fiind identificați ulterior în baza caracteristicilor macro- și microscopice conform determinantului micologic [15].

Activitatea antifungică a derivaților vinil-triazolici (DVT) EPS-869, EPS-877, EPS-880, EPS-892, EPS-165 s-a stabilit prin suplimentarea acestora la mediul nutritiv PDA în concentrațiile 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%.

Mediul PDA s-a aseptizat prin autoclavare la presiunea de 0,5 atm timp de 30 min, după care s-a turnat fierbinte în cutii Petri, câte 10 ml în fiecare. După solidificarea mediului, fungii au fost însămânțați – câte un disc de PDA cu miceliul fungului, cu diametrul de 4 mm în centrul cutiei Petri. Cutiile cu fungii însămânțați au fost menținute în termostat la temperatura de 24°C. Înregistrarea diametrului coloniilor (câte 2 diametre perpendiculare, media cărora a servit ca indice biometric) s-a efectuat în zilele 3, 4 și 5 de la însămânțare. Experiența s-a efectuat în 4 repetiții.

Pentru evaluarea activității antibacteriene, a fost utilizată metoda diluțiilor succesive duble care constă din următoarele etape: i) introducerea a câte 1 ml de bulion peptonat și a câte 1 ml de soluție de 0,1% de preparat în fiecare din 10 eprubete utilizate; ii) pipetarea amestecului și transferul succesiv în fiecare eprubetă a 1 ml de amestec pentru înjumătățirea treptată a concentrației de preparat cu fiecare eprubetă; iii) prepararea suspensiei de culturi bacteriene de 24 ore cu densitățile optice 2,0 și 7,0,

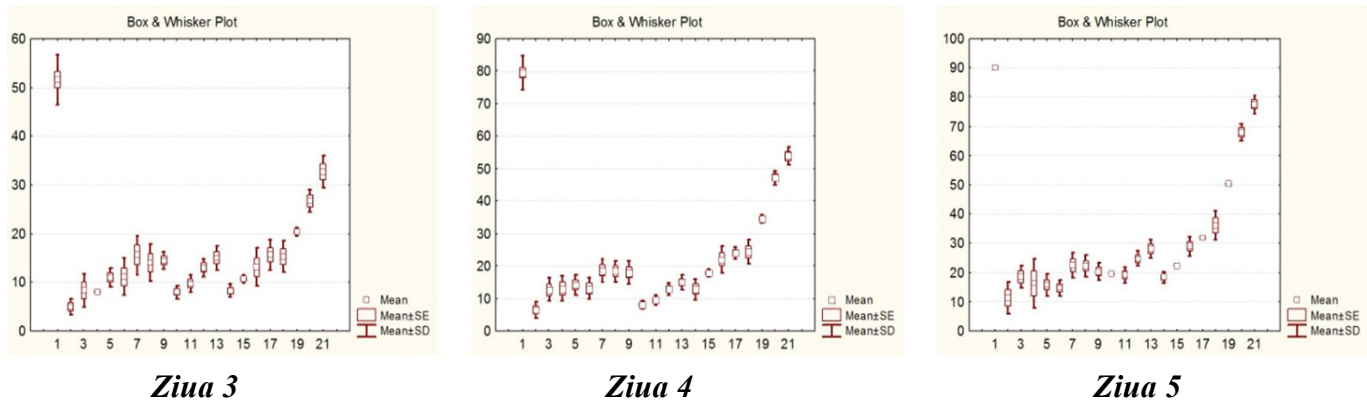
respectiv, (în conformitate cu indicele McFarland); iv) prepararea inoculului bacterian cu concentrația de 10^{-5} celule microbiene și introducerea a câte 0,1 ml de acest inocul în eprubetele cu preparatele titrate; v) plasarea preparatelor titrate cu dozele de însămânțare ale microorganismelor în termostat la temperatura de 35°C timp de 24 ore; vi) aprecierea concentrației minime bactericide (CMB) pe baza concentrației care nu permite creșterea nici a unei colonii bacteriene pe mediu solid agarizat. Testarea s-a efectuat în 3 repetiții [16]. Culturile bacteriene au fost izolate și identificate de cercetătorii laboratorului „Fitopatologie și Biotehnologie” (cond. dr. hab., prof. cerc. L.Voloșciuc), cărora le aducem sincere mulțumiri.

Datele au fost prelucrate statistic prin analizele varianței, clusteriană, factorială în pachetul de soft STATISTICA 7.

Rezultate și discuții

Datele obținute în cadrul testării activității antifungice a derivaților vinil triazolici pentru ciuperca *F. avenaceum*, au demonstrat o deosebire foarte pronunțată între diametrul coloniilor în varianta martor și în variantele cu compușii aflați în studiu. De exemplu, la ziua 3 de creștere, în concentrația maximă – 0,01% preparatele EPS-869, EPS-877, EPS-880, EPS-892, EPS-165 au inhibat creșterea tulpinii de *F. avenaceum* cu 90,53%, 78,41%, 84,48%, 84,0%, 70,4% în raport cu martorul (fig. 1, 2).

Fig. 1. Influența derivaților vinil-triazolici asupra creșterii fungului *F. avenaceum*.



Pe verticală: diametrul coloniilor, mm.

Pe orizontală: variante – 1 (martor); 2, 3, 4, 5 – EPS-869 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 6, 7, 8, 9 – EPS-877 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 10, 11, 12, 13 – EPS-880 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 14, 15, 16, 17 – EPS-892 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 18, 19, 20, 21 – EPS-165 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv.

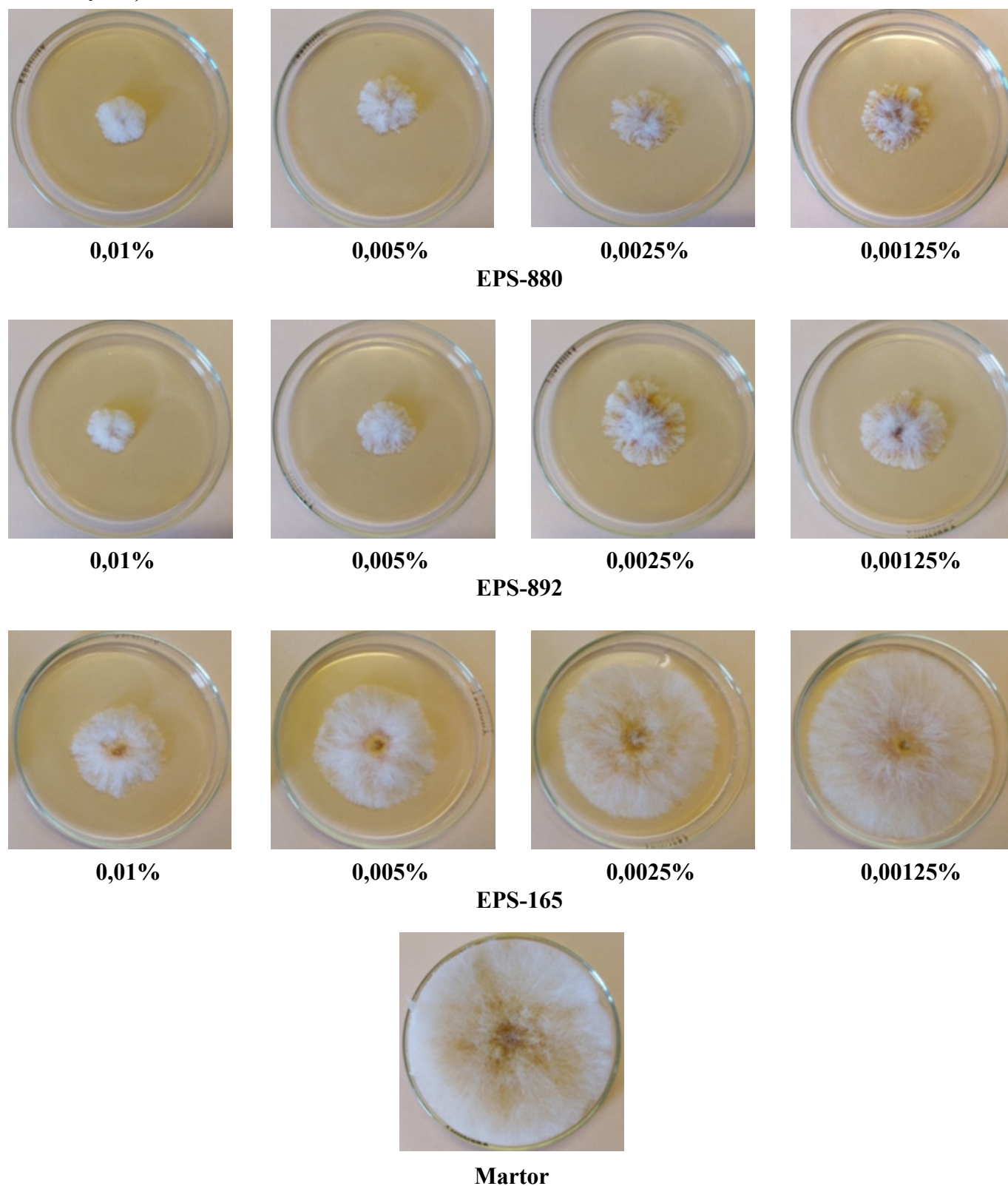
Paralel cu micșorarea concentrațiilor s-a diminuat și puterea de inhibare a creșterii coloniilor, însă chiar și la cea mai mică concentrație (0,00125%), deosebirea de martor s-a menținut destul de înaltă. Astfel, diametrul coloniilor la aplicarea compușilor EPS-869, EPS-877, EPS-880, EPS-892, EPS-165 în concentrația menționată a constituit 21,3; 28,1; 29,1; 30,3; 63,5%, respectiv, din martor. Aceeași tendință s-a păstrat și în zilele 4 și 5. Este de menționat că preparatul EPS-165 a înregistrat o activitate antifungică mult mai slabă decât primele 4 preparate.

Datorită vitezei înalte de creștere, în ziua 5 fungul *F. avenaceum* a acoperit toată suprafața mediului în varianta martor, motiv pentru care măsurările diametrului coloniilor au finalizat în toate variantele. S-a constatat, cu o singură excepție, că cea mai eficientă concentrație este 0,01%, în care diametrul coloniilor fungului în variantele cu primii 4 compuși a constituit 12,5-21,8% din martor. În concentrația minimă – 0,00125% diametrul coloniilor în variantele cu DVT (cu excepția EPS 165) a prezentat 17,5-35,4% din martor, ceea ce relevă activitatea antifungică înaltă a compușilor în concentrații mici.

S-a constatat că DVT aflați în studiu, au manifestat activitate antifungică semnificativă în toate concentrațiile, cele mai puternice efecte înregistrându-se în cazul primilor 4 compuși, și în special în

concentrația maximă – 0,1%. Astfel în ziua 5, când s-au efectuat ultimele măsurări, diametrul coloniilor a constituit 12,5-20,6%; 16,3-25,0%; 21,4-21,8%; 20,4-35,4% din martor, respectiv, EPS-869, EPS-877, EPS-880, EPS-892. În cazul EPS-165 care a manifestat activitate mai slabă, indicele a constituit 40,1-85,1% din martor.

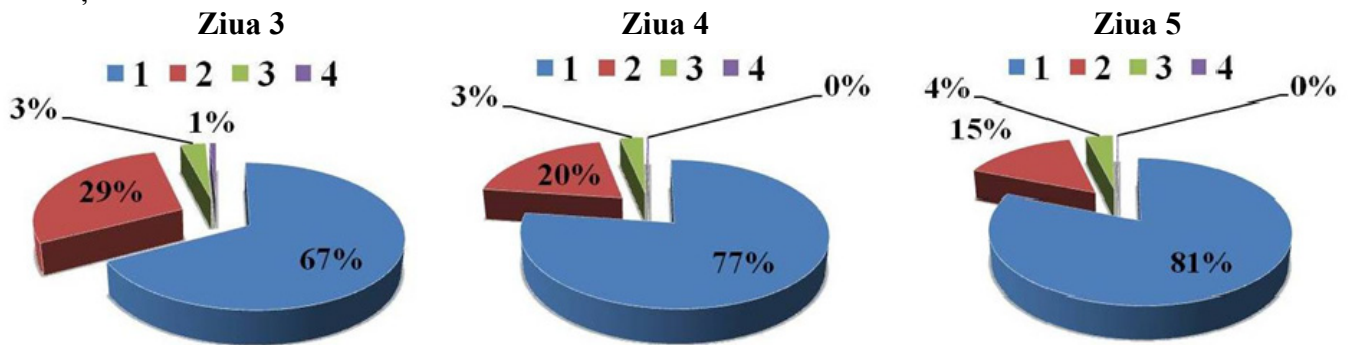
Fig. 2. Aspectul coloniilor de *F. avenaceum* pe mediu suplimentat cu derivați vinil-triazolici (ziua 5 de creștere).



Analiza factorială a relațiilor structură x concentrație x activitate antifungică

Prin analiză bifactorială a varianței, s-a constatat că cea mai înaltă pondere în sursa de variație a creșterii ciupercii a revenit compusului, apoi concentrației, interacțiunilor *structură x concentrație* aparținând un rol mai mic (fig. 3).

Fig. 3. Ponderea factorilor de compus, concentrație, interacțiune în activitatea antifungică a derivaților vinil-triazolici.



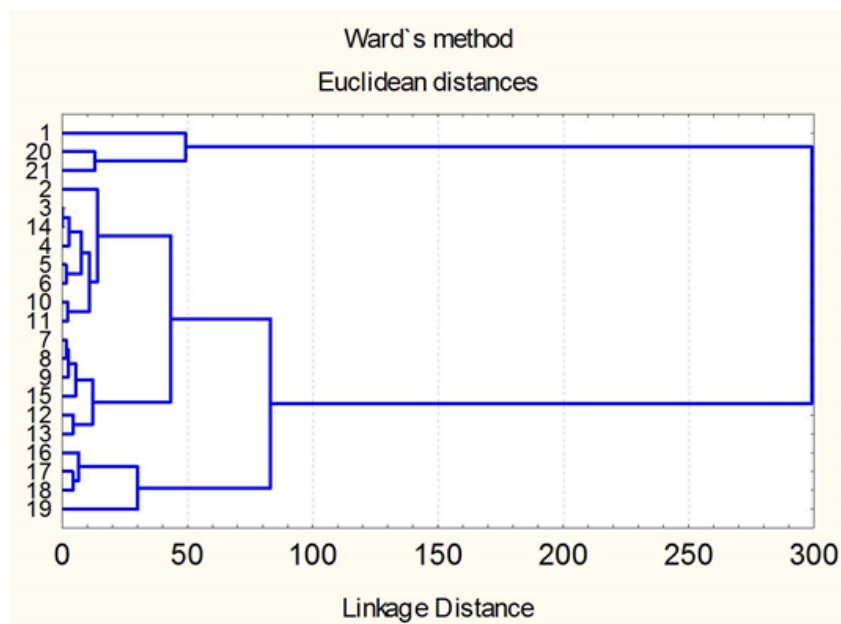
Astfel, pentru ponderea structurii compusului, suma medie a pătratelor a constituit 566,85*; 2213,48*; 4615,12* (* - $p < 0,05$), iar ponderea procentuală – 67; 77; 81, respectiv zilelor 3, 4, 5. Rolul concentrației a înregistrat 15-29%, iar a interacțiunilor *structură x concentrație* – 3,0-3,4%.

Analiza clusteriană

Precum se știe, analiza clusteriană este o metodă statistică sigură de diferențiere/clasificare a obiectelor conform similitudinii/deosebirilor obiectelor în baza parametrilor cantitativi sau calitativi. Scopul principal al analizei constă în găsirea similitudinii și deosebirilor dintre obiecte (genotipuri) după parametrii utilizați și repartizării lor în grupuri în așa fel, ca obiectele din același grup să fie asemănătoare, iar cele din grupuri diferite – deosebite [17].

Una din cele mai utilizate metode în scopul vizat, este construirea dendrogramei. Astfel, conform dendrogramei de distribuție, DVT testați cu privire la capacitatea antifungică pentru *F. avenaceum*, s-au diferențiat în clustere distincte în baza capacității de inhibare a creșterii fungului (fig. 4).

Fig. 4. Dendrograma de distribuție a derivaților vinil-triazolici în baza capacității de inhibare a creșterii fungului *F. avenaceum*.



1 (martor); 2, 3, 4, 5 – EPS-869 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 6, 7, 8, 9 – EPS-877 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 10, 11, 12, 13 – EPS-880 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 14, 15, 16, 17 – EPS-892 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 18, 19, 20, 21 – EPS-165 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv.

Pentru o clasificare mai exactă a variantelor *DVT – concentrație*, s-a aplicat în continuare analiza clusteriană prin metoda *k*-mediilor. S-a constatat că în cele 3 zile de înregistrare a diametrului coloniilor, varianța interclusteriană a fost mult mai înaltă decât cea intraclusteriană, ceea ce denotă deosebirea pronunțată a clusterelor în baza activității antifungice (tabelul 1).

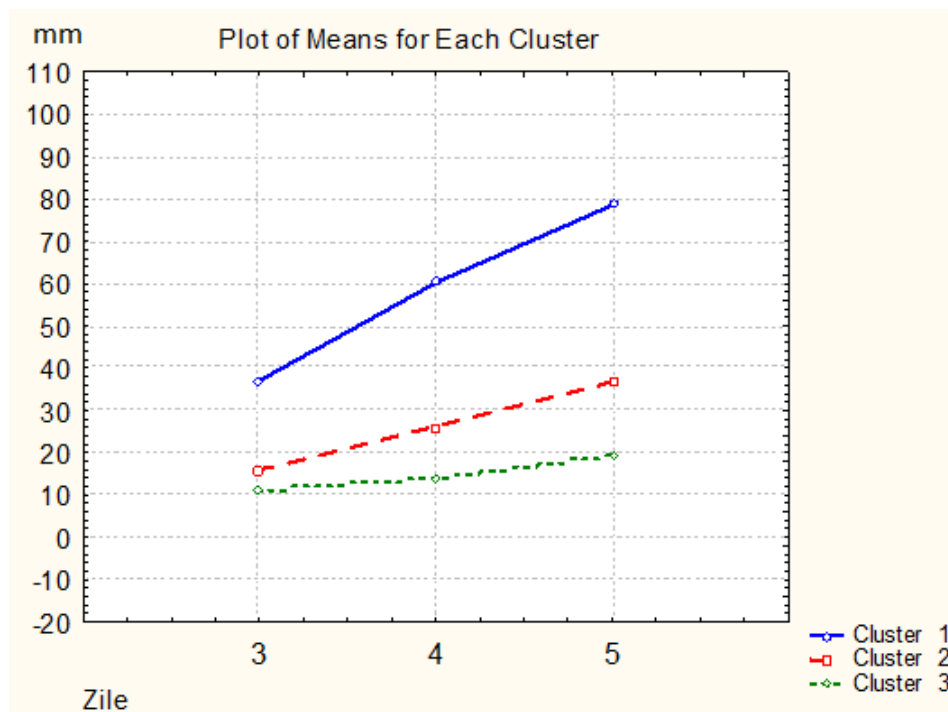
Tabelul 1. Analiza varianței diametrului coloniilor de *F. avenaceum* pe mediu suplimentat cu derivați vinil-triazolici.

Ziua	Varianță interclusteriană (1)	df	Varianță intraclusteriană (2)	df	F	p	Raport 1/2
3	1690,505	2	497,009	18	30,612	0,000	3,04
4	5411,712	2	860,153	18	56,624	0,000	6,29
5	8728,696	2	758,887	18	103,518	0,000	11,50

Totodată, creșterea valorilor raportului varianței interclusteriene la varianța intraclusteriană de la 3,04 la 11,5 relevă accentuarea deosebirii între cluster paralel cu creșterea ciupercii (Fig. 5).

Conform datelor prezentate, 14 variante (compus/concentrație) au manifestat capacitate inhibitoare înaltă pentru *F. avenaceum* – media diametrului coloniilor în zilele 3, 4, 5 a fost de 3,41; 4,41; 4,01 ori mai mică, respectiv, decât mediile clusterului 1 în care s-au localizat martorul și EPS-165 în concentrațiile 0,00125 și 0,0025% (tabelul 2).

Fig. 5. Diferențierea derivaților vinil-triazolici în cluster în baza capacității de inhibare a fungului *F. avenaceum* pe durata creșterii.



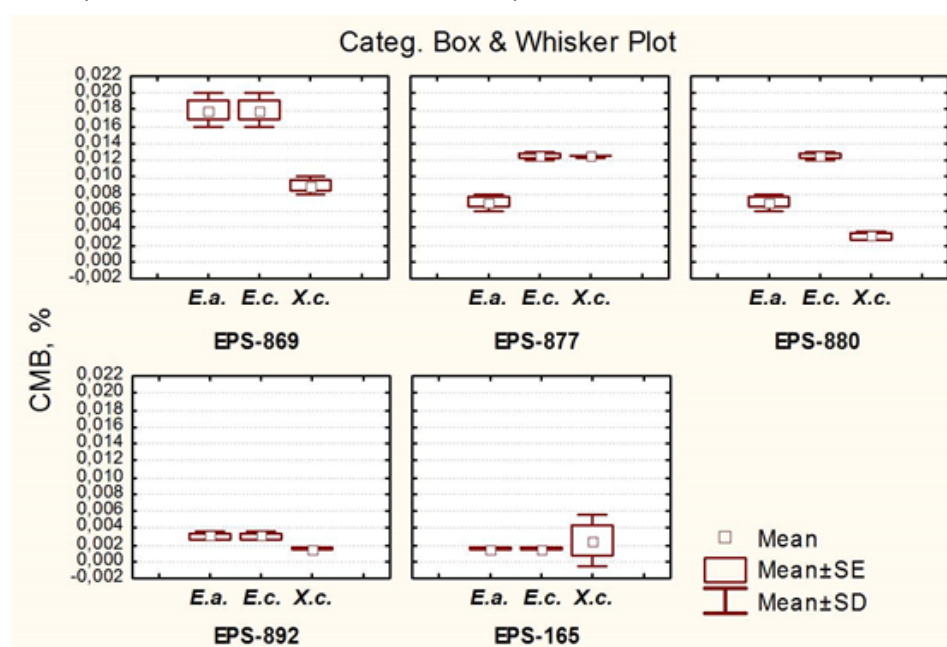
Datele demonstrează că în zilele 4, 5, deosebirile între cluster s-au accentuat tot mai mult, ceea ce conform analizei factoriale se datorează rolului particularităților de structură a DVT, patogenul pierzând capacitatea de adaptare la substratul cu acești compuși în procesul de creștere și dezvoltare a coloniilor.

Tabelul 2. Statistica descriptivă a clusterelor de derivați vinil-triazolici pe baza activității antifungice pentru *F. avenaceum*.

Ziua	Medie, mm	Deviație standard	Membrii clusterelor
Clusterul 1, n = 3			
3	37,02	12,93	1 – Martor; 20, 21 – EPS-165 – 0,0025%, 0,00125%, respectiv.
4	60,18	16,98	
5	78,50	11,03	
Clusterul 2, n = 4			
3	16,10	3,06	16, 17 – EPS-892 – 0,0025; 0,00125%, respectiv; 20, 21 – EPS-165 – 0,01; 0,005%, respectiv.
4	26,22	5,62	
5	36,85	9,49	
Clusterul 3, n = 14			
3	10,87	3,21	2, 3, 4, 5 – EPS-869 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 6, 7, 8, 9 – EPS-877 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 10, 11, 12, 13 – EPS-880 – 0,01; 0,005; 0,0025; 0,00125%, respectiv; 14, 15 – EPS-892 – 0,01; 0,005, respectiv.
4	13,65	3,81	
5	19,58	4,35	

Concentrația minimă bactericidă (CMB) reprezintă cantitatea minimă de antibiotic capabilă să distrugă $\geq 99,9\%$ din bacterii (incubație timp de 18-24 ore la 37°C) [18].

Datele au demonstrat că CMB (%) a DVT a fost diferită pentru tulpinile bacteriene aflate în studiu. Astfel, în cazul bacteriilor *E. amilovora* și *E. carotovora*, CMB cu cele mai mici valori s-a înregistrat pentru EPS-165 în concentrația $0,0015 \pm 0,000\%$, iar cele mai înalte – EPS-869 – $0,018 \pm 0,001\%*$ ($p < 0,05$). Pentru *X. campestris*, cea mai înaltă activitate inhibitorie s-a constatat în cazul EPS-892 – 0,005%, iar mai slabă – pentru EPS-877 – 0,0125% * ($p < 0,05$) (fig. 6).

Fig. 6. Concentrația minimă bactericidă a derivaților vinil-triazolici, %

Analiza factorială a varianței a demonstrat că în sistemul *derivat vinil-triazolic x specie/ tulpină bacteriană*, ponderea principală în sursa de variație a CMB revine factorului de compus (75,9%), după care urmează factorii de bacterie (15,1%) și interacțiune *compus x bacterie* (8,8%) (tabelul 3).

Tabelul 3. Analiza factorială a influenței compusului și speciei bacteriei asupra efectului inhibitoriu.

Sursă de variație	Grad de libertate	Suma medie a pătratelor efectelor	Ponderea în sursa de variație, %
Compus (DVT)	2	0,000277*	75,9
Bacterie	2	0,000055*	15,1
Compus (DVT) x bacterie	8	0,000032*	8,8
Efecte aleatorii	30	0,000001	0,3

*- $p < 0,05$.

Concluzii

Testarea activității antifungice (*F. avenaceum*) și antibacteriene (*E. amilovora*, *E. carotovora*, *X. campestris*) a unor derivați vinil triazolici – EPS-869, EPS-877, EPS-880, EPS-892, EPS-165 în concentrațiile 0,00125; 0,0025; 0,005; 0,01% în condiții *in vitro*, a demonstrat capacitatea lor înaltă de inhibare a creșterii și dezvoltării microorganismelor.

Analiză factorială a demonstrat: i) pentru efectul antifungic (*F. avenaceum*) rolul DVT (structurii) a constituit 67-81%, concentrației – 15-29, interacțiunii *DVT x concentrație* – 3-4%; ii) concentrația minimă bactericidă (*E. amilovora*, *E. carotovora*, *X. campestris*) a fost determinată de factorul de compus, specia bacteriei, interacțiunea *DVT x specia bacteriei* la nivel de 75,9; 15,1; 8,8%, respectiv.

Analiza clusteriană (dendrogramă, *k*-medii) a demonstrat existența deosebirilor semnificative a derivaților vinil-triazolici în baza activității antifungice pentru *F. avenaceum*, ceea ce a determinat separarea lor în clustere distincte. S-a constatat că compușii EPS-869, EPS-877, EPS-880 în concentrațiile 0,00125; 0,0025; 0,005; 0,01 % și EPS-892 în concentrațiile 0,005; 0,01% au fost deosebit de eficienți în inhibarea creșterii fitopatogenului, ceea ce denotă oportunitatea utilizării lor în măsurile de protecție a grâului.

Concentrația minimă bactericidă (CMB) a derivaților vinil-triazolici la un nivel destul de jos: 0,0015-0,0025% pentru bacteriile *E. amilovora*, *E. carotovora*, *X. campestris* relevă activitatea antibacteriană înaltă și oportunitatea acestora de utilizare în măsurile de combatere a bacteriozelor.

Referințe:

- LUPAȘCU, G. *Putregaiul de rădăcină la grâul comun de toamnă*. Chișinău: Tipogr. „Print-Caro”. – 2020. – 120 p. ISBN 978-9975-56-801-2.
- HAFEZ, M., GOURLIE, R., TELFER, M. et al. *Diversity of Fusarium spp. Associated with Wheat Node and Grain in Representative Sites Across the Western Canadian Prairies*. In: *Phytopathology*, 2022, 112(5), p. 1003-1015. doi: 10.1094/PHYTO-06-21-0241-R
- LUPASCU, G., GAVZER, S., SASCO, E., CRISTEA, N. *Genetic variability and heritability of wheat resistance (Triticum aestivum L.) to Fusarium avenaceum (Fr.) Sacc.* In: *Rom. J. Biol. – Plant Biol.* 2022, Vol. 67, No. 1-2, p. 19-32. ISSN 1843-3782.
- INBAIA, S., FAROOQI, A., RAY, R. V. *Aggressiveness and mycotoxin profile of Fusarium avenaceum isolates causing Fusarium seedling blight and Fusarium head blight in UK malting barley*. In: *Front. Plant Sci.* 2023, Vol.14. doi.org/10.3389/fpls.2023.1121553
- LOGRIECO, A., RIZZO, A., FERRACANE, R., RITIENI, A. *Occurrence of beauvericin and enniatins in wheat affected by Fusarium avenaceum head blight*. In: *Appl Environ Microbiol.* 2002, 68(1), p. 82-5. PMID: 11772612; PMCID: PMC126553. doi: 10.1128/AEM.68.1.82-85.2002
- VÉGH, A., PALKOVICS, L. *First Occurrence of Fire Blight on Apricot (Prunus armeniaca) in Hungary*. In: *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*. Cluj-Napoca, 2013, 41(2), p. 440–443. doi.org/10.15835/nbha4129183
- AKTEPE, B. P., AYSAN, Y. *Biological Control of Fire Blight Disease Caused by Erwinia amylovora on Apple*. In: *Erwerbs-Obstbau*, 2023, 65, p. 645–654. doi.org/10.1007/s10341-022-00751-1
- <https://extension.psu.edu/apple-and-pear-disease-fire-blight>

9. KAMAR, J., AKRAM, A., RAJA, N. I. et al. *Aggressiveness Analysis of Erwinia carotovora Isolates and Screening of Selected Commercial Potato Cultivars against Soft Rot*. In: *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*, 2023, 30(18), p. 284–311. <https://jptcp.com/index.php/jptcp/issue/view/80>
10. EFSA PLH Panel (EFSA Panel on Plant Health). *Scientific Opinion on the pest categorisation of Xanthomonas campestris pv. vesicatoria (Doidge) Dye*. In: *EFSA Journal*, 2014, 12(6), 3720, 26 pp. doi: 10.2903/j.efs.2014.3720
11. BACTERIAL SPOT OF TOMATO. *Xanthomonas vesicatoria (synonym Xanthomonas campestris pv. vesicatoria)*. www.ages.at/en/plant/plant-health/pests-from-a-to-z/bacterial-spot-of-tomato
12. JOHNS, B. A., WEATHERHEAD, J. G., SCOTT, H. A. et al. *The use of oxadiazole and triazole substituted naphthyridines as HIV-1 integrase inhibitors. Part I: Establishing the pharmacophore*. In: *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2009, Mar 15; 19(6), p. 1802-1806. doi: 10.1016/j.bmcl.2009.01.090
13. RÍOS-MALVÁEZ, Z. G., CANO-HERRERA, M. A., DÁVILA-BECERRIL, J. C. et al. *Synthesis, characterization and cytotoxic activity evaluation of 4-(1,2,3-triazol-1-yl) salicylic acid derivatives*. In: *Journal of Molecular Structure*, 2021, Vol. 1225, 129149. ISSN 0022-2860. doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.129149
14. *Методы экспериментальной микологии*. Киев: Наукова думка, 1982, 550 с. ISBN 978-5-458-27224-7.
15. BARNETT, H. L., HUNTER, B. B. *Illustrated genera of imperfect fungi*. Am. Phytopathological Society. Fourth edition. APS Press, 1998, 218 p.
16. <https://studfile.net/preview/6878370/page:38/>
17. KAUSHIK, M., MATHUR, B. *Comparative Study of k-means and Hierarchical Clustering Techniques*. In: *International Journal of Software and Hardware Research in Engineering*, 2014, Vol. 2, Issue 6, p. 93-98. ISSN 2347-4890.
18. www.umft.ro/wp-content/uploads/2021/10/Microbiologie-generală

Notă: Cercetările au fost realizate în cadrul Subprogramului 011102 „Extinderea și conservarea diversității genetice, ameliorarea genofondurilor de culturi agricole în contextul schimbărilor climatice”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.

Date despre autori:

Galina LUPAȘCU, doctor habilitat, profesor cercetător, șef de laborator, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova, membru corespondent al Academiei de Științe a Moldovei.

ORCID: 0000-0003-3363-3595

E-mail: galina.lupascu@sci.usm.com

Svetlana GAVZER, cercetător științific, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-9435-1159

E-mail: svetlana.gavzer@sci.usm.com

Nicolae CRISTEA, cercetător științific, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0009-0008-7259-3884

E-mail: nicolae.cristea@sci.usm.com

Lucian LUPAȘCU, doctor, cercetător științific coordonator, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-5006-5265

E-mail: lucianlupascu75@gmail.com

Eugenia STÎNGACI, doctor, cercetător științific superior, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-0731-3424

E-mail: stingacieugenia@gmail.com

Marina ZVEAGHINȚEVA, cercetător științific, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-1553-5246.

E-mail: mari6azv@mail.ru

Serghei POGREBNOI, doctor, conferențiar cercetător, cercetător științific coordonator, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-2827-505X

E-mail: richserg@gmail.com

Fliur MACAEV, doctor habilitat, profesor cercetător, șef de laborator, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-3094-1990

E-mail: flmacaev@gmail.com

Prezentat la 31.01.2014

CZU: 591.69:636.5(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_02](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_02)

INFESTAȚII CU SPECII DE NEMATODE LA FAZANUL COMUN (*PHASIANUS COLCHICUS* L.) ȘI PREPELIȚE (*COTRUNIX COTRUNIX* L.) DIN REPUBLICA MOLDOVA

**Maria ZAMORNEA, Dumitru ERHAN, Ștefan RUSU,
Oleg CHIHAI, Oleseă GLIGA, Nicolai BOTNARU,**

Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova

Scopul studiului constă în evaluarea nivelului de infestație la păsările de interes cinegetic (fazani, prepelițe) cu nematode. Pe parcursul anilor 2020-2023 de la fazani (*Phasianus colchicus* L.) și prepelițe (*Cotrunix cotrunix* L.) au fost recoltate, respectiv, 164 și 152 de probe biologice din diverse biotopuri naturale și antropizate ale Republicii Moldova. S-a stabilit infestarea acestora cu 7 specii de nematode (*Capillaria caudinflata*, *Capillaria annulata*, *Syngamus tracheia*, *Heterakis isolonche*, *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum*, *Trichostrongylus tenuis*), care aparțin la 5 familii și 5 genuri. La fazani s-a stabilit o prevalență sporită de infestare cu speciile: *Ascaridia galli* - 44,3%, *Heterakis isolonche* - 31,2% și *Heterakis gallinarum* - 16,2%. La prepelițe predomină infestarea cu speciile *Ascaridia galli* (53,2%) și *Heterakis gallinarum* (28,7%). Speciile stabilite sunt geohelminți, comune și la galinaceele domestice.

Cuvinte-cheie: extensivitate, intensivitate, infestații, nematode, fazani, prepelițe.

INFESTATIONS WITH NEMATODE SPECIES IN THE COMMON PHEASANT (*PHASIANUS COLCHICUS* L.) AND QUAILS (*COTRUNIX COTRUNIX* L.) FROM THE REPUBLIC OF MOLDOVA

The aim of this study was to evaluate the level of infestation with nematodes in birds of hunting interest (Pheasants, quails). During the years 2020-2023, from various natural and anthropogenic biotopes of the Republic of Moldova, from pheasants (*Phasianus colchicus* L.) and quails (*Cotrunix cotrunix* L.), 164 and 152 samples, were collected. Their infestation with 7 nematode species (*Capillaria caudinflata*, *Capillaria annulata*, *Syngamus tracheia*, *Heterakis isolonche*, *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum*, *Trichostrongylus tenuis*), which belong to 5 families and 5 genera, were established. In pheasants, an increased prevalence of infestation with the: *Ascaridia galli* - 44,3%, *Heterakis isolonche* - 31,2% and *Heterakis gallinarum* - 16,2% species was established. In quails predominates infestation with *Ascaridia galli* species (53.2%) and *Heterakis gallinarum* (28.7%). The established species are geohelminths, also common in domestic gallinaceae.

Keywords: extensiveness, intensity, infestations, nematodes, pheasants, quails.

Introducere

Analiza dinamicii sezoniere și multianuale a populațiilor speciilor de interes vânătorească, în funcție de starea habitatului și tendințele evoluției acestora în contextul schimbărilor antropo-climatice, permit evidențierea factorilor determinanți ai evoluției populațiilor, care depind de un șir de factori cu un anumit nivel cantitativ și calitativ: climaterici, trofici, adăpost, prădători și dăunători, parazitologici, virotici și antropici.

Fazanul comun (*Phasianus colchicus* L.), specie aclimatizată în ecosistemele republicii, în perioada reproductivă, populează ecosistemele arboricole, stufărișurile, lizierele pădurilor, culturile multianuale (vii, livezi), îndeosebi nelucrate, în apropierea surselor de apă, pe o arie de peste 205 mii ha. Populația fazanului către finele anului 2020 a fost evaluată la circa 97 mii indivizi cu o densitate medie de 38 fazani la 1 mie ha de teren a fondurilor de vânătoare. Totodată, menționăm, că populația fazanului suportă toamna-iarna pierderi de cca 51% din efectivul estimat la începutul sezonului de vânătoare, dintre care 12,9% au fost pierderi din perioada de iarnă a anului 2021. În biotopurile favorabile cuibăritului fazanul este estimat primăvara cu o densitate medie de 41,2 specimene la 100 ha, mai numeros în zona de Sud (61,0 fazani la 100 ha) și în zona de Centru (42,9 fazani la 100 ha). În raioanele de Nord, grație condițiilor mai aspre de iarnă, fazanul a înregistrat densități medii de 19,8 specimene la 100 ha de teren favorabil cuibăritului [1].

Prepelița (*Coturnix coturnix* L.), specie de pasaj, cuibărește în ecosistemele agrare, prioritar pe câmpurile de graminee, ierburi multianuale (lucernă, trifoi) și pe pârloagele crescute abundant cu plante cu flori, unde în perioada creșterii progeniturilor găsesc din abundență nevertebrate. Efectivul stocului reproductiv al prepeliței a fost estimat, în primăvara anului 2021, la circa 200 mii specimene, cu densitate medie pe republică de 43,2 sp./100 ha. La pasaj în luna septembrie-octombrie, pe teritoriul republicii se opresc la hrană și odihnă mai mult de 200 mii de prepelițe [1].

Studierea faunei parazitare la păsările sălbatice prezintă un interes major prin faptul că ele într-o perioadă scurtă de timp parcurg distanțe mari, de la un continent la altul, transportând, totodată, în/pe organismul lor o gamă bogată de agenți parazitari externi (malofagi, purici, acarieni) și interni (nematode, trematode, cestode etc.) Este constatat faptul că păsările de interes cinegetic sunt mai vulnerabile în primul lor an de viață, mortalitatea poate atinge cca 90%, fiind determinată de asocierea bolilor infecțioase și a celor parazitare cu specific helmintologic [2].

Este menționat că atât animalele sălbatice, cât și cele domestice din Republica Moldova au un grad sporit de infestare cu diverse specii de ecto- și endoparaziți sub formă de mono- și poliinvazii, care în unele cazuri constituie cca 100% [3].

Helminții gastrointestinali (nematode) sunt considerați a fi o cauză importantă nu doar a pierderilor în productivitate, dar și a îmbolnăvirilor și, adesea, chiar și a mortalității lor. Frecvent, la păsările sălbatice de interes cinegetic se înregistrează un poliparazitism asociat. Rezultatele investigațiilor relevă o infestare cu 2-5 specii de nematode, care au o poziție dominantă în structura poliparazitismului la fazani [4].

La galinaceele sălbatice și domestice din Uzbekistan s-au stabilit infestarea lor cu 22 de specii de nematode [5]. Phrikyan L.V. (Пхрикян Л. В., 1987) relevă, că prepelițele sunt susceptibile la infestația cu *Ascaridia galli* și mult mai slabe la infestația cu *Heterakis gallinarum* [6].

Cunoașterea faunei parazitare la păsările de interes cinegetic este importantă îndeosebi din scopul evitării răspândirii agenților parazitari, atât în rândul altor animale sălbatice și domestice, cât și la om [7, 8].

Unii autori menționează, că fazanii, care sunt paraziți cu nematode, sunt purtători și rezervor al acestor specii de paraziți, formând focare în mediul ambiant. Totodată, fazanii reprezintă o problemă serioasă pentru programele de conservare și reproducere în mediul natural [9].

În scop de majorare a efectivelor de fazani și prepelițe, este foarte important de a popula fondurile de vânătoare cu specimene cu un statut genetic polimorf, fiziologic sănătos, liberi de agenți parazitari și cu un potențial adaptiv înalt la condițiile mediului ambiant.

În scopul stabilirii infestării cu specii de nematode de la păsările de interes cinegetic: fazani (*Phasianus colchicus* L.) și prepelițe (*Coturnix coturnix* L.), s-au recoltat eșantioane biologice din diverse biotopuri naturale și antropizate ale Republicii Moldova.

Material și metode

Pentru stabilirea diversității speciilor de agenți parazitari s-au recoltat de la fazani (*Phasianus colchicus* L.) 164 de eșantioane biologice, iar de la prepelițe (*Coturnix coturnix* L.) 152 de eșantioane biologice din diverse biotopuri naturale și antropizate ale Republicii Moldova. În scop de identificare a agenților parazitari s-au utilizat metode parazitologice parțiale (după K. I. Skriabin [10], coproovoscopice (Fulleborn, Darling, spălării repetate) și coprolarvoscopice (Popov, Baermann) [5].

Investigațiile parazitologice au fost efectuate pe parcursul anilor 2020-2023 în cadrul Laboratorului de Parazitologie și Helmintologie al Institutului de Zoologie USM. Evaluarea parazitologică s-a efectuat prin determinarea extensivității (EI, %) și intensivității invaziei (II, exemplare), folosind microscopul Novex Holland B series, ob. 20-40 WF 10x Din/20mm.

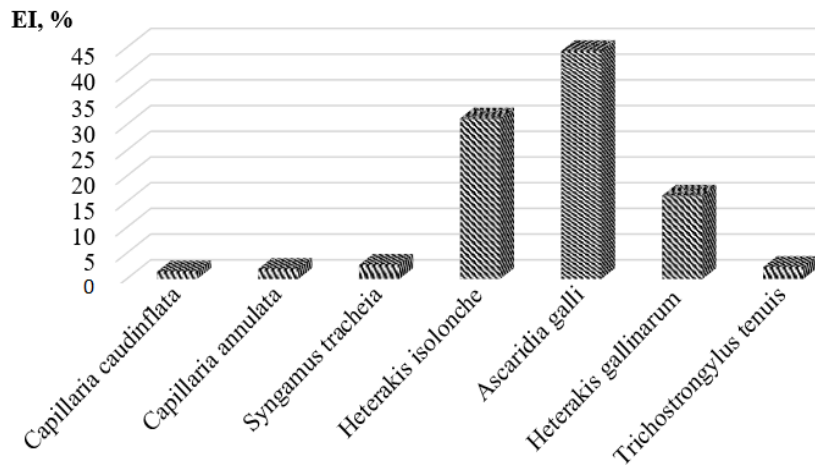
Rezultate și discuții

În rezultatul examenului parazitologic la păsările de interes cinegetic: fazani (*Phasianus colchicus* L.) și prepelițe (*Coturnix coturnix* L.) s-a stabilit infestarea lor cu specii de nematode care aparțin la 5 familii și 5 genuri (tabelul 1).

Tabelul 1. Structura taxonomică a speciilor de nematode la fazani și prepelițe.

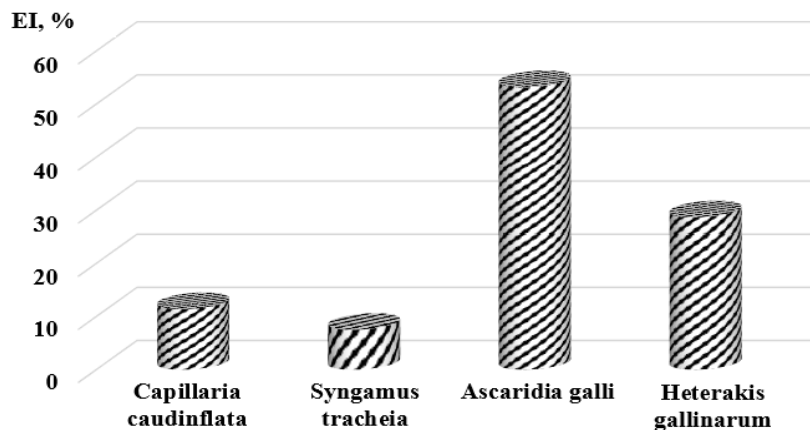
Nr.	Specia parazitului	Familia	Genul
1	<i>Capillaria caudinflata</i> (Molin, 1858)	<i>Capillariidae</i>	<i>Capillaria</i>
2.	<i>Capillaria annulata</i> (Molin, 1858)	<i>Capillariidae</i>	<i>Capillaria</i>
3.	<i>Syngamus trachea</i> (Montagu, 1811)	<i>Syngamidae</i>	<i>Syngamus</i>
4.	<i>Heterakis isolonche</i> (Linstow, 1906)		<i>Heterakis</i>
5.	<i>Ascaridia galli</i> (Schrank, 1788)	<i>Ascaridiidae</i>	<i>Ascaridia</i>
6.	<i>Heterakis gallinarum</i> (Schrank, 1788)	<i>Ascaridiidae</i>	<i>Heterakis</i>
7.	<i>Trichostrongylus tenuis</i> (Mehlis, 1846)	<i>Trichostrongylidae</i>	<i>Trichostrongylus</i>

La fazani (*Phasianus colchicus* L.) din cele 164 de eșantioane biologice recoltate s-a stabilit infestarea acestora cu diverși agenți parazitari: clasa Secernentea - 7 specii (*Capillaria caudinflata*, EI – 1,4%, II – 3-5 ex., *Capillaria annulata*, EI – 1,9%, II – 13 ex., *Syngamus tracheia*, EI – 2,7%, II – 1-2 ex., *Heterakis isolonche*, EI – 31,2%, II – 21 ex., *Ascaridia galli*, EI – 44,3%, II – 25 ex., *Heterakis gallinarum*, EI – 16,2%, II – 19 ex., *Trichostrongylus tenuis*, EI – 2,3%, II – 4-6 ex.

Fig. 1. Diversitatea speciilor de nematode la fazanul comun (*Phasianus colchicus* L.).

Totodată, s-a stabilit o prevalență sporită de infestare cu speciile: *Heterakis gallinarum* – 16,2% din cazuri, cu *Heterakis isolonche* – 31,2%, iar cu specia *Ascaridia galli* – în 44,3% din cazuri.

La prepelițe (*Coturnix cotrunix* L.) din cele 152 de eșantioane biologice examinate coprologic s-a stabilit infestarea cu 4 specii de nematode: (*Capillaria caudinflata*, EI – 11,4%, II – 2-4 ex., *Syngamus tracheia*, EI – 6,5%, II – 1-3 ex., *Ascaridia galli*, EI – 53,2%, II – 29 ex., *Heterakis gallinarum* EI – 28,7%, II – 17 ex (fig. 2).

Fig. 2. Diversitatea speciilor de nematode la prepelițe (*Coturnix cotrunix* L.).

La prepelițe predomină infestarea cu speciile *Ascaridia galli* (53,2%) și cu *Heterakis gallinarum* (28,7%).

Dacă ne referim la divizarea agenților parazitari identificați la fazani și prepelițe în dependență de modul de realizare al ciclului biologic de dezvoltare s-a stabilit, că cele 7 specii de nematode sunt geohelminți. Totodată, speciile stabilite au fost înregistrate la găini, curcani și bibilici.

Concluzii

1. S-a stabilit infestarea păsărilor de interes cinegetic (fazani, prepelițe) cu 7 specii de nematode (*Capillaria caudinflata*, *Capillaria annulata*, *Syngamus tracheia*, *Heterakis isolonche*, *Ascaridia galli*, *Heterakis gallinarum*, *Trichostrongylus tenuis*), care aparțin la 5 familii (*Capillariidae*, *Syngamidae*, *Heterakidae*, *Ascaridiidae*, *Trichostrongylidae*) și 5 genuri (*Capillaria*, *Syngamus*, *Heterakis*, *Ascaridia*, *Trichostrongylus*).

2. S-a estimat, că din totalul de 7 specii de nematode identificate la fazani și prepelițe, speciile *Ascaridia galli*, *Heterakis isolonche* și *Heterakis gallinarum* au avut o prevalență sporită de infestare de la 16,2% din cazuri cu specia *Heterakis gallinarum*, până la 53,2% din cazuri - cu specia *Ascaridia galli*.

3. Speciile stabilite (*Ascaridia galli*, *Syngamus tracheia*, *Heterakis isolonche*, *Heterakis gallinarum*, *Capillaria caudinflata*, *Capillaria annulata*, *Trichostrongylus tenuis*) sunt geohelminți, comune și la gălinoacele domestice.

Referințe:

1. Anuarul IPM-2021 „Protecția mediului în Republica Moldova”. Inspectoratul pentru Protecția Mediului, Chișinău, 2021. www.ipm.gov.md; mediu@ipm.gov.md. https://ipm.gov.md/upfiles/menu_files/A%20N%20U%20A%20R%20U%20L%20-%202021,%20IPM.pdf
2. TODERAȘ, I. și alții. Роль птиц и эктопаразитов в поддержании, возобновлении и возможном появлении новых очаговых зоонозных инфекций. Сообщение 1. În: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*, 2008, Nr. 2, p. 4-10. ISSN 1857-2103.
3. ERHAN, D. *Tratat de parazitoze asociate ale animalelor domestice*. Chișinău, Tipografia centrală, 2020, 1040 p. ISBN 978-9975-157-13-1.
4. OLTEANU, Gh. *Prevenirea și combaterea invaziilor poliparazitare la fazani și broileri din Iași. Scroviștea în anii 1987-1991*. În: *Revista Română de Parazitologie*, 1991, Vol. 1, Nr. 2, p. 56-57.
5. АКРАМОВА Ф. Д., ШАКАРБАЕВ У. А., ЖАНГАБАЕВ А. С., АРЕПБАЕВ И. М., РАББИМОВ С. Ш., АЗИМОВ Д. А. Гельминты птиц домашних и диких курообразных (*Aves: Galliformes*) Узбекистана. В: *Российский паразитологический журнал*, 2021, Том 15, № 2, с. 11–16.
6. ПХРИКЯН Л. В. Восприимчивость кеклоков (*Alectoris kakelik*) и перепелов (*Coturnix coturnix*) к нематодам *Ascaridia galli* и *Heterakis gallinarum*. *Зоологический сборник*, 1987, № 21, с. 139-141.
7. ANDERSON R. *Nematode Parasites of Vertebrates. Their Development and Transmission*. 2nd Edition. CABI Publishing, Wallingford, Oxon (UK) 2000, 650 p. ISBN 0 85199 421 0.
8. КОНЯЕВ С. В., КЛИМОВА С. Н., ШИЛО В. А. Инвазии диких птиц отряда курообразных (*Galliformes*), разводимых в неволе. *Российский ветеринарный журнал. Мелкие домашние и дикие животные*, 2013, № 5, с. 19-22.
9. RZAD, I., ZALEWSKI, K. *Intestinal Helminth Communities of Grey Partridge *Perdix perdix* and Common Pheasant *Phasianus colchicus* in Poland*. In: *Animals*, 2021, 11(12):3396. <https://doi.org/10.3390/ani11123396>
10. СКРЯБИН, К. И. *Метод полных гельминтологических вскрытий позвоночных, включая человека*. М.; Изд-во 1-го МГУ, 1928, 45 с.

Notă: Cercetările au fost realizate în cadrul Programului de Stat 20.80009.7007.12. „Diversitatea artropodelor hematofage, a zoo- și fitohelminților, vulnerabilitatea, strategiile de tolerare a factorilor climatici și elaborarea procedurilor inovative de control integrat al speciilor de interes socio-economic”.

Date despre autori:

Maria ZAMORNEA, doctor în științe biologice, conferențiar cercetător, cercetător științific coordonator, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-8987-3390

E-mail: mariazamornea@gmail.com

Dumitru ERHAN, doctor habilitat în științe biologice, profesor cercetător, membru de onoare al Academiei de Științe Agricole și Silvicultură „Gheorghe Ionescu-Șișești” din România, cercetător științific principal, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-9722-4382

E-mail: dumitruerhan@yahoo.com,

Ștefan RUSU, doctor habilitat în științe biologice, conferențiar cercetător, cercetător științific principal, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-3322-9173

E-mail: rusus1974@yahoo.com

Oleg CHIHAI, doctor în științe biologice, conferențiar cercetător, cercetător științific coordonator, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5881-0722

E-mail: olegchihai@yahoo.com

Olesea GLIGA, doctor în științe biologice, cercetător științific coordonator, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-4917-5156

E-mail: oleseagliga@gmail.com

Nicolai BOTNARU, doctor în științe biologice, cercetător științific, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-5308-8307

E-mail: nicolaibotnaru@gmail.com

Prezentat la 08.02.2024

CZU: 632.9

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_03](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_03)

REALIZĂRI BIOTEHNOLOGICE ÎN COMBATEREA INSECTELOR DĂUNĂTOARE

Leonid VOLOȘCIUC, Mihail BATCO,

Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al USM

Schimbările climatice, securitatea alimentară globală și sustenabilitatea mediului au devenit provocări majore pe parcursul ultimelor decenii. Cursa contracronometru, în care se află omenirea datorită caracterului ireversibil al încălzirii globale și sporirea impactului organismelor dăunătoare asupra culturilor agricole, care reduc considerabil securitatea alimentară și siguranța alimentelor, determină necesitatea elaborării și aplicării mijloacelor biotehnologice, ecologic inofensive de menținere a echilibrului dinamic dintre agenții fitosanitari și entitățile naturale utile. Prezenta lucrare pune în discuție rezultatele înregistrate în aplicarea metodelor biotehnologice de producere și aplicare a mijloacelor biologice orientate la reducerea impactului populațiilor de insecte dăunătoare prin aplicarea microorganismelor entomopatogene și a metodelor genetice de combatere prin sterilizare, cultivarea exemplarelor de același sex și condițional sterile, aplicarea tehnologiilor de editare a genomului, care schimbă fondul genetic al lor.

Cuvinte-cheie: *agenți fitosanitari, biotehnologii, controlul densității populației, preparate biologice, sterilizare.*

BIOTECHNOLOGICAL ACHIEVEMENTS IN COMBATING PEST INSECTS

Climate change, global food security and environmental sustainability have become major challenges over the past decades. The race against the clock, in which humanity finds itself due to the irreversible nature of global warming and the increasing impact of harmful organisms on agricultural crops, which considerably reduce food security and food safety, determines the need to develop and apply biotechnological, ecologically harmless means of maintaining the dynamic balance between phytosanitary agents and useful natural entities. This paper discusses the results recorded in the application of biotechnological methods of production and application of biological means aimed at reducing the impact of harmful insect populations through the application of entomopathogenic microorganisms and genetic methods of combat through sterilization, the cultivation of same-sex and conditionally sterile specimens, the application of technologies genome editing, which changes their genetic background.

Keywords: *phytosanitary agents, biotechnologies, population density control, biological preparations, sterilization.*

Introducere

Sporirea impactului organismelor dăunătoare pe fundalul schimbărilor climatice și creșterea prevalenței dăunătorilor prin manifestarea diverselor dificultăți, accentuează rolul procedeele tehnologice de producere a culturilor agricole: monitorizarea dezvoltării, analiza riscului organismelor dăunătoare și sporirea randamentului mijloacelor de protecție a plantelor fără afectarea stării ecologice a agroecosistemelor [1,2].

Metodele de control a densității populațiilor de insecte dăunătoare cu aplicarea pesticidelor, deși înregistrează succese semnificative, totuși utilizarea lor devine mai limitată din cauza impactului asupra sănătății omului, dar și grație elaborărilor biotehnologic orientate la producerea și aplicarea mijloacelor ecologic inofensive [3]. Au devenit recunoscute realizările noastre înregistrate pe parcursul ultimilor ani: elaborarea procedeele tehnologice de producere a 15 entomofagi, îndeosebi a celor aplicați în protecția culturilor de seră; selectarea microorganismelor de perspectivă și elaborarea tehnologiilor de producere și aplicare a agenților microbiologici de combatere a organismelor dăunătoare și omologarea pe baza lor a 16 preparate biologice; identificarea și sinteza feromonilor sexuali a 18 specii de insecte dăunătoare și elaborarea schemelor de sinteză originală a feromonilor la 72 de specii și procedeele tehnologice de producere și utilizare a lor pentru monitorizarea, capturarea în masă, sterilizarea și dezorientarea insectelor dăunătoare [4].

Realizările biotehnologiei, ca știință și practică, au ajuns în multe domenii aplicative, cum sunt sănătatea umană, agricultură și ameliorarea condițiilor mediului înconjurător. Unele realizări semnificative, cum este agricultura ecologică și regenerativă, editarea genelor, promit să revoluționeze sănătatea publică, con-

trolul organismelor dăunătoare, ameliorarea culturilor, elaborarea tehnologiilor pentru diverse procedee tehnologice de obținere a produselor și materialelor. Tehnologiile de editare a genomului demonstrează posibilitățile de îmbunătățire a culturilor și a animalelor și chiar de vindecare a pacienților de boli care au fost și mai rămân până acum incurabile. Din gama metodelor molecular biologice, metodologia CRISPR-Cas9, ca platformă de editare a genomului, s-a dovedit a fi flexibilă pentru specii, are un potențial mare de aplicare [5]. Deoarece tehnologia nu lasă semne de transgeneză, plantele generate de editarea genomului nu sunt considerate OMG-uri și nu provoacă discuții și provocări politice și sociale care deocamdată mai însoțesc biotehnologiile agricole [6].

Un interes deosebit reprezintă investițiile orientate la aplicarea mecanismelor genetice pentru combaterea insectelor dăunătoare, constituind strategiile de management genetic al dăunătorilor, care urmărește valorificarea sistemelor naturale de introducere a populațiilor modificate în populația insectelor dăunătoare, urmare a cărora este sterilizarea indivizilor, reducerea vitalității sau constituirea altor populații, modificate. În acest sens, agentul de control genetic este reprezentat de indivizii dăunătorului cu o modificare ereditară dorită și necesară pentru combaterea agentului fitosanitar, care sunt crescuți în condiții de laborator, iar apoi sunt eliberați în condițiile populațiilor naturale, dăunătoare. Interacțiunea dintre aceștia se manifestă prin procesul de introgressare a unor trăsături necesare, îndeosebi sterilitatea sau letalitatea, care asigură pierderea fertilității, indicatorilor morfometrici, reducerea dimensiunii numerice a populației, ceea ce se manifestă în suprimarea populației [7].

Managementul genetic al insectelor dăunătoare este aplicat pentru controlul populațiilor multor dăunători, asigurând indicatori semnificativi ai eficacității biologice. Drept urmare a polenizării încrucișate și transferul orizontal de gene, indivizii cu gene modificatoare sunt capabili să se reproducă și să se răspândească în populațiile naturale în mod independent și necontrolat în spațiul înconjurător [8, 9].

Managementul genetic al dăunătorilor reprezintă utilizarea genetica în controlul dăunătorilor prin împerecherea indivizilor modificați cu omologii lor de tip sălbatic. Acest lucru permite ca trăsăturile ereditare să fie transferate în populația de dăunători sălbatici. Scopul este de a reduce daunele cauzate de populația dăunătorilor cu rezultatele scontate tipice, care se încadrează în mare parte prin suprimarea populației sau modificarea ei. Metoda genetică are caracteristici distinctive care sunt solicitate și reprezintă abordări autonome de combatere sau instrument valoros în sistemele de protecție integrată a plantelor [10]. Metoda biologică de combatere a organismelor dăunătoare se bazează pe utilizarea relațiilor dintre aceștia și organismele utile, ca mecanisme naturale, prin aplicarea mecanismelor de reglare a densității populațiilor organismelor dăunătoare [11].

Materiale și metode de cercetare

Metoda genetică de combatere a dăunătorilor a fost elaborată de A. S. Serebrovsky (1938, 1950) în scopul saturării populațiilor naturale ale insectelor dăunătoare cu indivizi, purtători de translocății, inferiori din punct de vedere genetic. Drept rezultat, femelele dintr-o populație naturală, care se împerechează cu asemenea indivizi, depun ouă neviabile sau sterile, nu produc urmași, iar în populația dăunătorului se auto lichidează. Materialul modificat se obține prin aplicarea radiației (raze gamma, raze X) și preparatelor chimice cu proprietăți sterilizante. Sterilizarea dăunătorilor cu aplicarea radiației se manifestă prin apariția leziunilor genetice în aparatul cromozomial la femele și masculi, iar în cazul sterilizării chimice (compuși alchilanți, antimetabolice și antibiotice) se realizează la femele [12].

Realizarea metodei este legată de creșterea în masă a insectelor dăunătoare pe medii artificiale de cultură, expunând indivizii experimentali la radiații pentru a provoca leziuni cromozomiale, urmate de eliberarea lor în populația dăunătorului. Insectele eliberate și împerecheate depun ouă, care nu eclozează din cauza deteriorării materialului genetic, ca mutații letale cuplate cu genul, din linia germinală a părintelui [9].

Pentru tratamentul cu chemosterilizanți, insectele masculine, timp de o zi sunt plasate într-un loc închis în capcană prelucrată din interior cu soluție de sterilizant timp de 8-10 min. Tratamentul se efectuează la faza de inițiere a activității sexuale și maturare a celulelor sexuale.

Gradul de acțiune al agenților sterilizanți asupra potențialului de reproducere al fluturilor se determină prin numărarea larvelor eclozate și a ouălor în care, la diferite faze de dezvoltare, au murit embrionii,

ceea ce se determină prin analiza pontelor fluturilor tratați și împerecheați cu insectele martor. Testarea în condiții de laborator, pe loturile de experiență și de producere a mijloacelor microbiologice și genetice de protecție a plantelor s-a efectuat în repetiții randomizate [13] cu prelucrarea statistică a rezultatelor.

Rezultate și discuții

Scurte schițe istorice în dezvoltarea metodei genetice de combatere a dăunătorilor

Ideea obținerii și eliberării insectelor sterile în populațiile naturale a speciilor de insecte dăunătoare pentru gestionarea acestora a fost concepută de A. S. Serebrowskii în anul 1938 și continuată de F. L. Van der Planck și E. F. Knipling. Van der Planck și Serebrowskii s-au concentrat asupra sterilității rezultate din încrucișările hibride între diferite specii sau tulpini genetice diferite, iar Knipling a utilizat radiațiile ionizante pentru a induce mutații letale dominante care cauzează sterilitate [10].

Managementul genetic al dăunătorilor se realizează prin eliberarea atât a masculilor, cât și a femelelor. Eliberările numai a masculilor este mai eficientă decât eliberările mixte de sex, deoarece numai masculii trebuie adăpostiți și hrăniți. Masculii homozigoți sunt eliberați pentru a se împerechea cu femelele sălbatice, ai căror descendenți moștenesc letalitatea dominantă și astfel nu pot supraviețui până la maturitatea reproductivă. A devenit cunoscută utilizarea metodei genetice pentru controlul densității populațiilor muștei mediteraneene a fructelor (*Ceratitis capitata* Wied.) prin sterilizare cu radiații. Metoda genetică a fost folosită cu succes împotriva viermelui merelor (*Carpocapsa pomonella* L.), obținând controlul eficient al dăunătorului [12]. Modelarea eliberării dăunătorului a făcut posibilă identificarea dozelor raționale de radiații și a ratelor de eliberare a masculilor sterili, precum și compararea eficacității diferitor variante ale metodei genetice. Rezultate impresionante au fost obținute la eliberarea masculilor sterili de *Lymantria dispar* L. într-o populație naturală de insecte. Succese similare au fost înregistrate la suprimarea numărului de gărgărița fasolei (*Acanthoscelides obtectus* Say.) în condiții de câmp și grânare sub iradiere cu radiații gamma, gărgărița bumbacului (*Anthonomus grandis* Boheman.), sfredelitorul porumbului (*Ostrinia nubilalis* L.), molia verzei (*Plutella xylostella* L.), molia făinei (*Ephestia kuehniella* L.), precum și a muștii verzei (*Delia flores* L.) [14]. Utilizarea translocației legate de sex a fost argumentată și încercată experimental de Anisimov și Samoïlov (1985), demonstrând că această translocare nu afectează viabilitatea purtătorilor heterozigoți (masculi), ceea ce contribuie la reducerea potențialului de reproducere a populației [12].

Dezvoltarea ingineriei genetice permite utilizarea de noi abordări legate de eliberarea de insecte care poartă gene în mai mulți loci responsabili de distrugerea femelelor. Eliberarea insectelor purtătoare de astfel de alele modifică raportul dintre sexe într-o populație naturală în favoarea masculilor. O scădere a numărului de femele duce la reducerea numărului următoarei generații [15, 16].

Pornind de la axioma că istoria este învățătoarea vieții și în scopul utilizării ideilor și rezultatelor înregistrate pe parcursul dezvoltării managementului genetic al insectelor dăunătoare, e rațional să aplicăm postulatele promovate de savanții și centrele științifice care au fundamentat și orientat necesitățile metodei genetice de combatere a dăunătorilor: Serebrowskii și posibila utilizare a translocațiilor cromozomiale pentru a provoca sterilitate parțială moștenită, Vanderplank și utilizarea sterilității hibride pentru combaterea muștelor tse-tse, Knipling și utilizarea sterilității induse de radiația ionizantă, care conțin informații complete despre elaborarea și utilizarea liniilor sterile pe diferite insecte dăunătoare, rezultate privind utilizarea pe scară largă a diferiților factori la obținerea și utilizarea liniilor sterile de dăunători. Trecând prin mai multe generații de cercetări și aplicând diverse metode și metodologii orientate la aplicarea potențialului genetic al organismelor dăunătoare și utilizarea diferitor factori pentru modificarea și promovarea populațiilor insectelor dăunătoare în scopul protecției culturilor agricole, comunitatea științifică a promovat prin mai multe etape de ameliorare a rezultatelor și de soluționare a problemelor legate de reducerea impactului organismelor dăunătoare [10].

Ținând cont de necesitatea menținerii insectelor dăunătoare la nivelul inferior pragului economic de dăunare, aplicarea metodelor genetice poate înregistra rezultate semnificative la integrarea lor cu alte metode și mijloace de protecție a plantelor, cum este sterilizarea populațiilor naturale prin utilizarea combinată a feromonilor sexuali și a sterilizanților chimici, ceea ce sporește considerabil eficacitatea lor biologică. În acest sens capsulele cu feromoni sunt plasate în capcane cu feromoni, iar suprafața lor interioară este tratată

cu sterilizanți chimici: tiotef, dimatif. Dezvoltarea ulterioară a metodei autocide este asociată cu îmbunătățirea metodelor de inginerie genetică și este determinată de interacțiunea strânsă a cercetătorilor din domeniul genicii moleculare, ecologiei insectelor și specialiștilor din domeniul biotehnologiei și protecției plantelor [17].

Rezultate semnificative orientate la sterilizarea populațiilor de insecte cu aplicarea radiației gamma și a chimiosterilizatului tiotef (4%) la Buha verzei (*Mamestra brassicae* L.) au fost înregistrate în cercetările efectuate de Барко М., Нямцы А. [18]. Studiarea eficacității metodei de auto sterilizare în capcanele feromonale, prelucrate cu analogii sintetice ai hormonului juvenil, în combaterea moliilor strugurilor, moliilor miniere, viermilor mărului, prunului și oriental) a demonstrat eficacitatea înaltă a metodei la nivelul etalonului chimic [19]. Realizări semnificative au fost înregistrate în Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor al USM, care au fost inițiate și implementate sub conducerea profesorului Boris Kovaliov [20].

Elaborarea și aplicarea preparatelor biologice în baza virusurilor entomopatogene

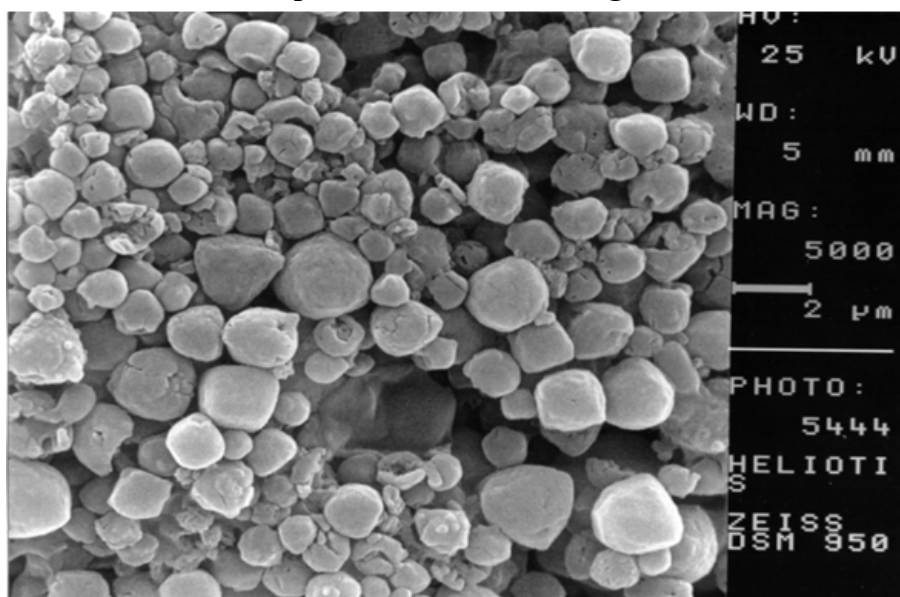
Buha fructificațiilor (*Helicoverpa armigera*) reprezintă una din speciile de noctuide dăunătoare, care se evidențiază cu o plasticitate ecologică deosebită și se caracterizează cu un grad ridicat de polifagie. Atacă peste 120 de specii de plante gazdă (fig. 1). Pagubele sunt produse de larve prin distrugerea organelor florale și a fructelor în formare. Se dezvoltă în cinci vârste larvare [3].

Fig. 1. Particularitățile morfologice ale manifestării atacului buhei fructificațiilor la tomate și a VPN *H.armigera*, examinat la microscopul cu contrast de fază.



Cercetările ultrastructurale și molecular biologice ne-au permis identificarea și determinarea particularităților biologice a mai multor sușe a VPN *H.armigera* (fig. 2).

Fig. 2. Polimorfismul manifestat la poliedrele VPN *H.armigera*.



Determinarea potențialului de reproducere pe diverse tipuri de celule *in vitro* și pe larvele diferitor specii de insecte a constituit un fundament consistent că VPN *H.armigera* se reproduce cu scopul acumulării biomasei baculovirale în baza larvelor insectelor noctuide din genul *Helicoverpa*, sau reprezentanților altor genuri și specii (*Mamestra brassicae*) din aceeași familie (fig. 3).

Fig. 3. Particularitățile ultrastructurale ale VPN *H.armigera* examinate la microscopul electronic cu transmisie.

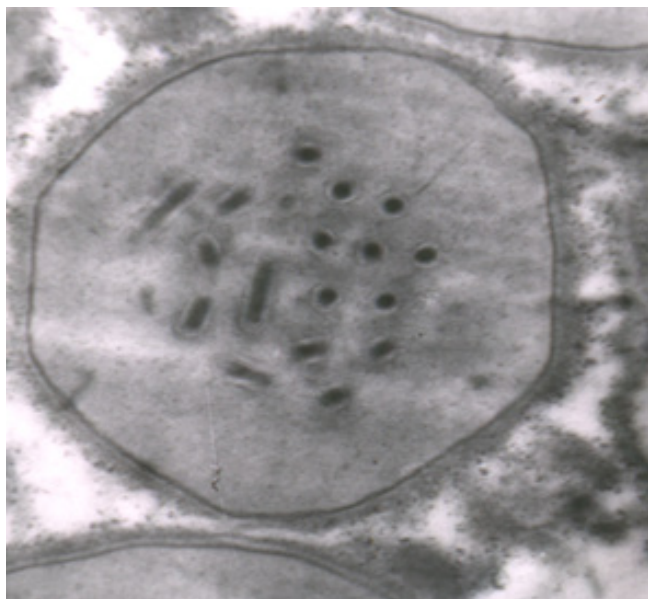
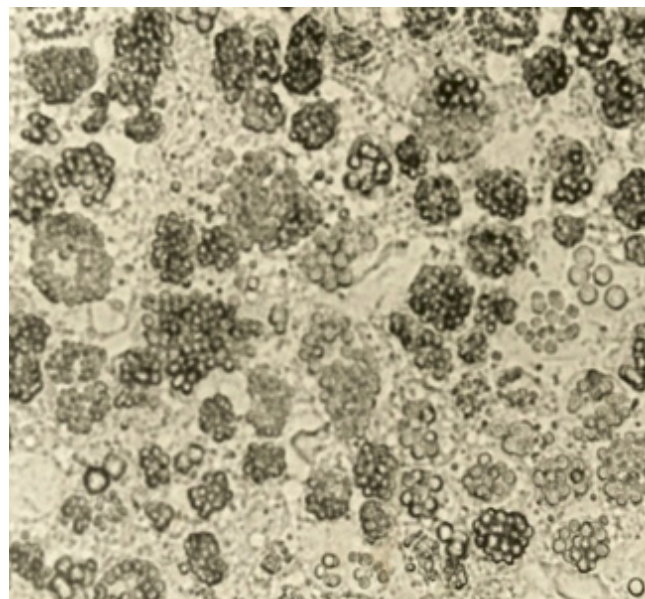
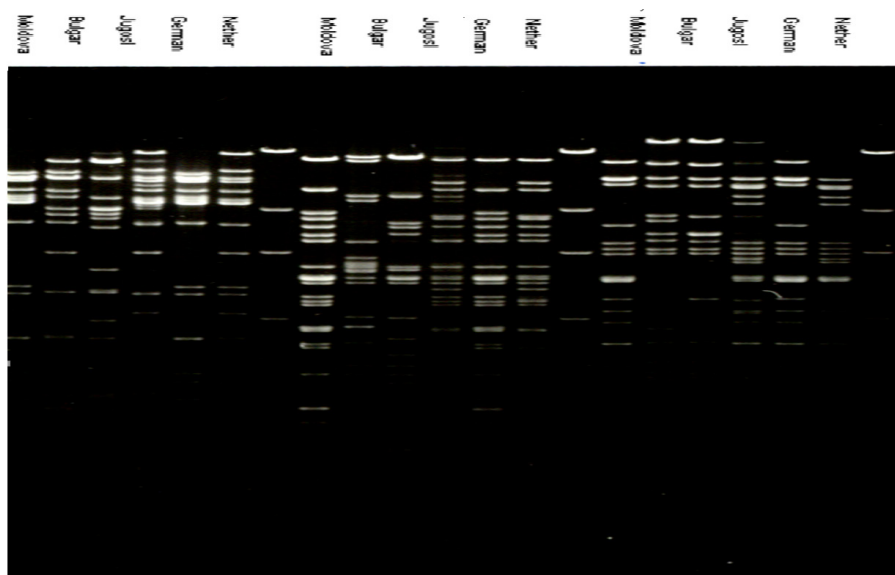


Fig. 4. Reproducerea poliedrelor VPN *H.armigera* în celulele hemolimfei pentru acumularea biomasei baculovirale.



E de menționat că demonstrarea capacităților baculovirusurilor de a infecta insectele din mai multe specii și genuri a fost apreciată înalt de comunitatea științifică. În așa mod au fost stabiliți și indicatorii optimați de determinare a calității biomasei baculovirale și au fost identificate cele mai eficiente și tehnologice forme preparative, apreciind înalt formulația de pulbere (fig. 5).

Fig. 5. Analiza restricțională a mai multor sușe de baculovirusuri.



Analiza eficacității biologice a VPN *H.armigera* în condiții de laborator, vase vegetaționale și microparcele au stat la baza testării preparatului Virin-HS-P sub formă de pastă pentru omologarea de stat. Schema experimentală a lotului de tomate este efectuată randomizat cu cinci variante în patru repetiții:

Martor netratat, etalon biologic Virin-HS-2 - 0,3 kg/ha, etalon chimic Actara 25WG - 0,06kg/ha, Virin-HS-P - 0,1 kg/ha, Virin-HS-P - 0,15 kg/ha (foto 6). Pe fundalul dezvoltării puternice a buhei fructificațiilor a fost efectuat primul tratament cu preparatul biologic Virin-HS-P cu norma de consum de 0,1-0,15kg/ha, Virin-HS-2 - 0,3kg/ha și etalonul chimic Actara – 0,06 kg/ha.

Fig. 6. Atacul *H.armigera* cu vârste diferite asupra fructelor de tomate.



După confirmarea cauzei și identificarea agentului patogen în larvele moarte ale insectei gazdă a fost determinată eficacitatea biologică a agentului biologic (tabelul 1).

Tabelul 1. Eficacitatea biologică a preparatului viral Virin-HS-P în controlul dezvoltării buhei fructificațiilor la tomate, soiul „RioGrand”.

Nr.	Varianta	Norma consum kg/ha	Număr de fructe examinate	Tomate atacate până la prelucrare	Tomate atacate după prelucrare	Eficacitatea biologică
					ziua 9	ziua 9, %
1.	Martor	-	100	42	55	-
2.	St.Virin-HS-2	0,3	100	37	6	87,6
3.	St.Actara 25WG	0.06	100	38	3	93,9
4.	Virin-HS-P	0.1	100	41	7	86,9
5.	Virin-HS-P	0.15	100	38	5	89,9

DEM 0,05

1,0

Analizând tabelul 1, observăm că reducerea atacului la tomate în comparație cu martorul la în varianta chimică Actara 25WG la a 9 zi a constituit 93,9%, iar gradul de atac în varianta biologică Virin-HS-P cu norma 0,15 kg/ha a constituit 89.9 %. Bazându-ne pe rezultatele obținute, e necesar de menționat că în condițiile climatice favorabile pentru dezvoltarea Buhei fructificațiilor (*Helicoverpa armigera*), dăunătorul a influențat negativ la dezvoltarea culturii, cauzând pierderi considerabile plantei gazdă. Preparatul baculoviral Virin-HS-P, fiind aplicat pentru combaterea vârstelor mici (1-3) a fiecărei generații a dăunătorului, a controlat activ densitatea populației *H.armigera*, dar nu acționează negativ dezvoltarea culturii și a formării fructelor la tomate. Testarea preparatului Virin-HS-P cu norma de consum 0,15 kg/ha în controlul dezvoltării buhei fructificațiilor, generația II, la tomate, soiul „Rio Grand”, a demonstrat acțiunea biologică înaltă cu eficacitatea biologică de 85,2%, ceea ce nu se deosebește esențial față de etalonul chimic Actara, care a înregistrat eficacitatea biologică de 92,6 %, ceea ce demonstrează posibilitatea controlului densității populațiilor insectelor dăunătoare la speciile de dăunători cu un impact deosebit asupra culturilor agricole.

Realizări și perspective de fortificare a managementului genetic al insectelor dăunătoare

Realizarea programelor managementului genetic al insectelor dăunătoare este determinat în mare măsură inițial de posibilitățile înmulțirii artificiale a speciilor țintă în cantități suficiente pentru a fi lansate în populațiile naturale și atingerea efectului suprimării densității numerice a acestora. Dacă inițial înmulțirea în masă a insectelor constituia circa 75% din costul programei de combatere genetică a dăunătorilor, apoi actual sunt elaborate tehnologii noi de creștere care asigură scăderea sinecostului la un nivel avantajos practic. Actual, creșterea în masă a insectelor în multe țări este reglementată la nivel industrial pentru așa specii ca musca cărnii, molia bumbacului, viermele merelor, muștile fructifere, buhele fructificațiilor, verzei și a semănăturilor [22].

În cercetările noastre am aplicat linii a buhei verzei (*Mamestra brassicae* L.) adaptate la procesul de înmulțire artificială în condiții de laborator (15-20 generații) cu parametri stabili de reproducere, asigurând controlul calității materialului biologic utilizat urmărește factorii ce pot spori calitatea insectelor crescute în laborator. Sunt esențiale și astfel de operațiuni ce țin de colectarea materialului biologic, separarea pe genuri în masculi și femele, sterilizarea și lansarea în natură doar a masculilor, care la lepidoptere sunt homozigoți. Indivizii supuși iradierii sau aplicării hemosterilanților, sunt mai puțin capabili în concurența sexuală cu indivizii naturali. Aceasta necesită sporirea numerică a volumului indivizilor sterili lansați față de cei naturali. În multe cazuri sterilizarea sexuală nu avea bază genetică, obținând diminuarea numerică doar prin afectarea procesului de împerechere ca rezultat al acțiunii razelor ionizante și hemosterilanților în doze mari, ce modificau structura sexuală a indivizilor prelucrați, fără schimbări a genotipului.

În cazul sterilității parțiale moștenite la speciile de Lepidoptera o mare parte a mortalității descendenților F_1 are loc la stadiile postembrionare de dezvoltare și cu deplasarea coraportului sexual în favoarea masculilor. Astfel, Proverbs M. (1982) [23] experimental prin lansarea masculilor viermelui merelor partial sterili în două livezi de măr, a atins efectul fructelor atacate de 10 ori mai mic față de varianta aplicării a trei tratamente chimice cu insecticide.

În rezultatul screeningului dozelor substerilizatoare a razelor-gamma cu efect optimal 5 krad și hemosterilantului Tiotăf 4% asupra fenomenului moștenirii sterilității parțiale la buha verzei a fost evaluate eficiența acestora în condiții de laborator (Tabelul 2).

Tabelul 2. Efectul dozelor substerilizatoare a razelor-gamma și tiotăf asupra masculilor buhei verzei (P), exprimat prin viabilitatea descendenților (F_1).

Variante, doza	Analizate		Media ouă la 1 ♀, unit.	Ouă sterile la 1 ♀, %.	Femele copulate, %	Ouă nefecundate, %
	Ponte, unit.	Ouă, unit.				
♀N + ♂T, raze-gamma, 5 krad	56	720	618,4 ± 79,3	69,3 ± 2,05	92	4,6
♀N + ♂T, tiotăf, 4%	63	456	524,6 ± 43,4	81,4 ± 2,60	89	5,3
♀N + ♂N, martor	22	620	704,0 ± 94,5	4,6 ± 1,41	96	2,4

Legenda: ♀N netratată; ♂T tratat; ♂N netratat

Rezultatele atestă, că media ouălor sterile după acțiunea razelor-gamma 5 krad asupra masculilor constituie 69,3% și în cazul contactului masculilor cu tiotăf 4% -81,4%, pe când în varianta martor doar 4,6%. Capacitatea de copulare a perechilor și a mediei sumare de ouă nu a deviat esențial față de martor.

Evaluarea experimentală a sterilizării masculilor populației natural a buhei verzei a fost efectuată pe parcursul a mai multor ani în diferite condiții de vegetație, atestând rezultate pozitive privind posibilitatea practică de diminuare a densității populației a acestui dăunător periculos, dar mai puțin eficientă în raport cu etalonul chimic.

În cadrul experiențelor noastre, pe fonul populației cu densitatea scăzută, media de ouă la 100 plante a constituit 268 în varianta experimentală și 396 la martor. Numărul de ouă nedezvoltate a constituit 31,7% și la martor 1,7%. Numărul de plante atacate a variat esențial de la 24% în varianta aplicării tiotăf - 4%,

până la 86% în varianta martor. În generația a doua a buhei verzei, la o densitate mai avansată a populației buhei verzei, unde la 100 plante erau până la 1270 ouă, procentul de sterilitate a ouălor a atins 45,7 și plante atacate 16% (tabelul 3).

Tabelul 3. Efectul diminuării densității populației natural a buhei verzei ca rezultat a sterilității parțiale induse masculilor prin contactul lor cu tiotăf 4% în capcanele cu feromon sexual.

Variantele experienței	Suprafața, ha.	Nr. Ouă la 100 plante		Nr. omizi la 100 plante		% plante atacate pe variante
		total	sterile, %.	Până la tratament	După tratament	
I generație a buhei verzei la varza timpurie						
Capcane fer. tiotef, 4%	1,0	268	31,7±0,91	86	21	24
Etalon Bi-58 Nou 1kg/ha	1.0	178	4,5±0,12	163	11	16
Martor	0,2	396	1,4 ±0,08	287	208	85
Generația II a buhei verzei la varza tardivă						
Capcane fer. tiotăf, 4%	1,0	1275	45,7±2,4	118	96	16
Etalon Bi-58 Nou 1kg/ha	3,0	1083	5,2±0,8	941	54	7
Martor	0.2	1642	3,2±0,18	1312	149	79

Rezultatele prezente în tabel atestă, că eficiența procedurii de sterilizare a populației naturale a buhei verzei, evaluată în baza evidenței ouălor sterile, relativ nu este înaltă, variind de la 28% la 54%. Aceasta este semnificativ mai mică față de cea preconizată conform rezultatelor de laborator (60-80%).

În același timp mortalitatea larvelor de vârste inferioare, ca rezultat a modificărilor ereditare, de asemeni și a acțiunii altor factori biotici și abiotici, a dus la diminuarea densității larvelor mature la nivelul densității acestora din etalonul chimic. Astfel paralel cu efectul obținut de la capcanele sterilizatoare în generația dată, rezultă efectul întârziat al modificărilor genetice moștenite și transmise generațiilor ulterioare. Ținând cont de faptul, că masculii se nasc sexual maturi, iar femelele necesită timp pentru alimentarea suplimentară, necesară finisării procesului de oogeneză, de aceea este important ca masculii populației maximal să fie în contact cu capcana cu chemiosterilant.

Editarea genomului în ajutorul controlului densității populațiilor de insecte dăunătoare

Managementul genetic al insectelor dăunătoare nu este singura metodă bazată pe genetică dezvoltată pentru a controla populațiile de insecte [24, 25]. Progresele recente în modificarea genetică s-au concentrat asupra tehnicilor de editare a genelor și a genomului. Metodele moleculare, inclusiv abordările CRISPR („clustered regular interspaced short palindromic repeats”) au fost dezvoltate cu scopul de a modifica cu precizie genele [5, 14]. Aceste tehnici au potențialul de a conduce construcții genetice printr-o populație, încorporând mecanisme de activizare genetică care conferă o moștenire mai mare decât cea mendeliană. Aceste abordări de editare genetică au fost dezvoltate la fânțari fie pentru a suprima populațiile vectoriale, prin afectarea fertilității feminine [24] sau pentru a modifica o populație, prin răspândirea unei trăsături care afectează capacitatea de a adăposti agenți patogeni [25]. Abordările de editare genetică ar putea fi, de asemenea, utilizate pentru a suprima dăunătorii culturilor agricole.

Strategia de antrenare a genelor este orientată la suprimarea populațiilor prin introducerea unei gene, care provoacă letalitate sau reducerea descendenților în fiecare generație, sau pentru modificarea populației pe calea răspândirii unei variante genetice ce elimină o trăsătură dăunătoare, dar susține populația speciei țintă [26]. Astfel se asigură efecte letale prin țintirea unei gene esențiale folosind sistemul CRISPR, iar salvarea speciei este realizată prin furnizarea unei versiuni a genei esențiale rezistent. În mod similar a fost demonstrat că fertilitatea femelelor heterozigote purtătoare a mutației *tra* au un rol semnificativ în suprimarea muștei mediteraneene a fructelor (*Ceratitis capitata*), la care indivizii convertiți (cariotipul XX) sunt fertili și contribuie la eficiența biologică înaltă (Yan Y., *et al.* 2023). Rezultate similare au fost obținute la

gândacul roșu de făină (*Tribolium castaneum*), la molia de diamant (*Plutella xylostella*). Prin urmare, aplicarea sistemului CRISPR pentru managementul genetic al insectelor dăunătoare ar putea persista mai mult decât alte strategii de autolimitare a densității populațiilor [24].

Dezvoltarea abordărilor genetice pentru controlul insectelor până la aplicațiile de teren reprezintă un efort interdisciplinar. Analizele teoretice fac parte dintr-o imagine mult mai mare, un complex de elemente care, interacționând între ele, pot asigura manifestări sinergice, prin realizarea schimbărilor reale. Activitățile de laborator prin aplicarea unei game extinse de factori, tehnici și metode reprezintă fundamentul creării tulpinilor adecvate. Succesul managementului genetic al insectelor dăunătoare depinde în mare măsură de comportamentul insectelor, deoarece masculii eliberați trebuie să poată ajunge la o proporție semnificativă de femele din populația țintă și să fie în mod rezonabil competitivi pentru parteneri atunci când îi găsesc. Succesul mai este condiționat de gradul de supraviețuire a insectelor transgenice pe mediile de nutriție care conțin antidot, nivelul letalității insectelor țintă și competitivitatea masculilor eliberați [27]. Ulterior liniile candidate sunt selectate și testate, evaluând toate aceste măsuri cruciale de performanță prin competiția experimentală și încercările de la eprubeta sau cușca de laborator până la eliberare în spațiu deschis. Realizările tehnologice științifice mai așteaptă controlul în urma implementării, reglementărilor sociale și etice privind aplicarea largă a modalității de reglare a densității populațiilor de insecte dăunătoare [28].

Una din așteptările mari ale omenirii este legată de rolul culturilor modificate genetic în soluționarea problemelor cauzate de schimbările climatice. Posibilitățile metodologiilor de modificare a genomului privind sporirea rezistenței culturilor la secetă și sporirea capacității lor de captare a carbonului inspiră speranțe de diminuare a impactului schimbărilor climatice. Pornind de la lipsa masivului informațional privind perspectivele manifestării genelor modificate în decursul mai multor generații, comunitatea științifică mondială rămâne îngrijorată de riscul apariției unor mutații imprevizibile cu impact deosebit de grav.

Astfel, savanții din Comunitatea Europeană au emis o declarație comună în care critică deciziile Comisiei Europene de a nu recunoaște plantele obținute pe calea noilor tehnici genomice ca organisme modificate genetic și avertizează asupra necesității evaluării factorilor de risc. Experții se opun acestei inițiative legislative, care ar permite în viitor eliberarea în mediu a plantelor obținute din noua inginerie genetică fără o evaluare prealabilă a riscurilor [29].

Politica și reglementările privind controlul genetic al insectelor s-au dezvoltat și extins în ultimii ani și continuă să fie în atenția organelor executive internaționale și naționale. Analizele de bază a riscurilor sănătății omului, speciilor nețintă și situației de mediu mai continuă studiul acțiunii diseminării deliberate a insectelor modificate genetic care necesită evaluarea pentru a se asigura că biodiversitatea și sănătatea umană nu sunt afectate negativ. În mod simulativ, beneficiile suprimării dăunătorilor agricoli, reducerii daunelor și îmbunătățirii randamentului plantelor sunt analizate din punct de vedere economic [30]. Elaborarea unor reglementări orientate la analiza riscurilor în contextul beneficiilor potențiale ale managementului genetic al insectelor dăunătoare necesită o analiză suplimentară cu privire la punerea în aplicare a tuturor tipurilor de control pentru a determina corect cum și cine beneficiază și cine plătește pentru aceste bunuri publice.

Concluzii

Reducerea vulnerabilității ecosistemelor naturale și a celor antropizate și sporirea adaptabilității acestora, necesită elaborarea sistemelor ecologic inofensive de protecție a plantelor.

Biotehnologiile agricole și managementul genetic al insectelor dăunătoare pătrunde tot mai profund ca o gamă de procedee și tehnici de combatere a dăunătorilor prin eliberarea insectelor sterile crescute în masă, care apoi concurează pentru parteneri cu reprezentanții populațiilor naturale. Tehnologiile contemporane bazate pe mecanismele genetice folosesc insecte care sunt homozigote pentru o construcție genetică letală dominantă, mai degrabă decât să fie sterilizate prin iradiere. Tulpinile modificate genetic ale speciilor dăunătoare agricole, au fost dezvoltate cu letalitate care operează numai asupra femelelor. Culturile transgenice care exprimă toxine insecticide deja sunt utilizate pe scară largă. Eliberarea în masă a masculilor sensibili la

toxine (purători de gene letale feminine), precum și suprimarea populațiilor reprezintă o strategie eficientă de gestionare a rezistenței.

Deși bazele folosirii elementelor genetice în manipularea raporturilor de sex pentru managementul insectelor dăunătoare sunt cunoscute de mai mulți ani, totuși acumularea noilor idei și rezultate semnificative în combaterea insectelor dăunătoare și protecția culturilor agricole, se înregistrează în cercetările din ultimele decenii.

Eficiența biologică, ecologică și economică a metodei genetice de combatere a insectelor dăunătoare este determinată de selectarea speciei și particularitățile ei, inclusiv trăsăturile de producție și performanța pe teren, posibilitatea aplicării modificărilor genetice și fenotipice asociate cu adaptarea de laborator, manifestarea genelor la creșterea în masă a insectelor modificate, eficiența împerecherii și randamentul proceselor de sterilizare.

Experiența aplicării managementului genetic al insectelor dăunătoare constituie o bază considerabilă de reducere a îngrijorării privind întregirea fondurilor genetice de laborator și manifestarea rezultatelor dezirabil al programelor de lansare, (pentru) de exemplu, putem dori să introducem în mod deliberat în populațiile de dăunători sălbatici. Aceasta deschide posibilități de extindere a gamei de specii și varietăți pentru aplicarea și sporirea eficacității programelor de eliberare în mediul înconjurător cu scopul sterilizării.

Utilizarea ingineriei genetice moleculare și a transformării insectelor în mai multe specii a depășit multe probleme anterior insolubile folosind metode tradiționale. Aplicarea metodelor biologice moleculare, inclusiv cele de editare a genomului, îndeosebi tehnologia CRISPR a revoluționat posibilitățile de modificare precisă și eficientă ale genelor sau ale genomului, care sporesc considerabil eficacitatea sterilizării insectelor dăunătoare.

Realizările semnificative înregistrate în agricultura ecologică și regenerativă, biotehnologiile agricole, editarea genelor, promit să revoluționeze sănătatea publică, agricultura, controlul organismelor dăunătoare, ameliorarea culturilor, elaborarea tehnologiilor pentru diverse procedee tehnologice de obținere a produselor și materialelor.

Agravarea stării fitosanitare a culturilor agricole și aprofundarea fenomenelor și manifestărilor crizei ecologice legate de aplicarea pesticidelor, precum și inițiativele de reducere a riscurilor iminente pe fundalul înregistrării și aplicării realizărilor biotehnologice moderne, îndeosebi a celor bazate pe metodologiile molecular biologice, reprezintă un masiv enorm de realizări și probleme, care necesită a fi discutate în vederea transferului de la combaterea organismelor dăunătoare spre aplicarea mecanismelor naturale și a mijloacelor ecologic inofensive de reglare a densității populațiilor de agenți fitosanitari.

Referințe:

1. IPPC Secretariat, 2021. *Scientific review of the impact of climate change on plant pests – A global challenge to prevent and mitigate plant pest risks in agriculture, forestry and ecosystems*, 34 p. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4769en>.
2. *Shaping the agriculture of the future. FIBL Activity report 2019-2020*, 2021, 39 p.
3. Voloșciuc L. *Agricultura ecologică: aspecte teoretice și valențe practice*. Chisinau. MEC, Combinatul poligrafic central, 2021, 288 p. ISBN 978-9975-62-451-0.
4. Rizzo D. M., Lichtveld M., Mazet J. A. K., Togami E. and Miller S. A. *Plant health and its effects on food safety and security in a One Health framework: four case studies*. Rizzo et al. *One Health Outlook*, 2021, 3:6, p. 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42522-021-00038-7>
5. Doudna J. A., Charpentier E. *Genome editing. The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9*. *Science*, 2014, 346: 1258096.
6. Kyrou K., Hammond A., Galizi R., Kranjc N., Burt A., Beaghton A., Nolan T., Crisanti A. *A CRISPR–Cas9 gene drive targeting doublesex causes complete population suppression in caged *Anopheles gambiae* mosquitoes*. *Nat. Biotechnol.* 2018, 36, p. 1062-1068.
7. Alphey, L. & Alphey, N. *Five things to know about genetically modified (GM) insects for vector control*. *PLoS Pathogens*, 2014, 10. e1003909.

8. Elton C. S. *The ecology of invasions by animal and plants*. London: Methuen and Co Ltd., 1958, 196 p.
9. Викторов А. Г. *Генетические методы борьбы с вредными насекомыми. История и современное состояние. Российский журнал биологических инвазий*, 2021, 14 (1), с. 51-63.
10. Dyck V. A., Hendrichs J., Robinson A. (eds.): *Sterile insect technique: principles and practice in area-wide integrated pest management* (2nd ed.), CRC Press. 2021. 787 p.
11. Tonnang H. E., Sokame B. M., Abdel-Rahman E. M., Dubois T. *Measuring and modelling crop yield losses due to invasive insect pests under climate change. Current Opinion in Insect Science*, 2022, 50. 100873.
12. Анисимов А. И. *Обоснование генетических методов борьбы с вредными видами насекомых из отрядов Diptera и Lepidoptera*. Автореферат дисс. доктора биол. наук. Санкт-Петербург, 1997, 50 с.
13. Доспехов Б. *Методика полевого опыта // М.*, Агропромиздат, 1989, 313 с.
14. Alphey N. and Bonsall M. *Genetics-based methods for agricultural insect pest management. Agricultural and Forest Entomology*, 2018, 20, p. 131-140.
15. Симчук А. П. *Эколого-генетический подход к защите растений в сельском хозяйстве. Экосистемы, их оптимизация и охрана*, 2013, 8, с. 66–70.
16. Махров А. А., Карабанов Д. П., Кодухова Ю. В. *Генетические методы борьбы с чужеродными видами. Российский журнал биологических инвазий*, 2014, № 2, с. 110-126.
17. Voineac, V., Șleahțici, Vl., Musleh, M., Voineac, I. *Autosterilizarea ascuților dăunătorilor piersicului *Grapholitha molesta* Busck și *Anarsia liniatella* Zeller*. În: *Biotehnologii avansate – realizări și perspective, tezele simpoz. șt. intern.*, 21-22 oct. 2019. Ed. a 5-a. Chișinău, 2019, p. 134.
18. Батко М., Няццу А. *Наследуемая стерильность – как механизм генетического регулирования численности вредителей*. Simpozionul „Agricultura Modernă – Realizări și Perspective” consacrat aniversării de 80 de ani de la înființarea Universității Agrare de Stat din Moldova. Chișinău, 27 septembrie 2013, с. 187-192.
19. Батко М. Г. Войняк, В. И., Брадовский В. А., Няццу А. М. *Частичная стерильность – как фактор генетического контроля численности капустной совки. Информационный Бюллетень ВПРС МООб „Фитосанитарная безопасность и контроль сельскохозяйственной продукции”*, Бояны, 2013, № 44, с. 30-36.
20. Ковалев Б. Г., Джумакулов Т., Недопекина С. Ф. Абдувахобов А. А. *Половой феромон озимой совки *Scotia segetum**. // Докл. АН СССР, 1985, 284, № 6, с. 1373-1375.
21. Willer Helga. *The adventure of collecting data on organic agriculture worldwide. The World of Organic Agriculture*. BIOFACH Congress. Nuremberg, 2019, 32 p.
22. Knipling E. F. *Present status and future trends of the SIT approach to the control of arthropod pest. Sterile insect technique and radiation in insect control*. IAEA. Vienna, 1982. p. 3-23.
23. Proverbs M. D. *Sterile insect technique in codling moth control. Steril insect technique and radiation in insect control*. IAEA. Vienna, 1982. p. 85-89.
24. Burt A. *Site-specific selfish genes as tools for the control and genetic engineering of natural populations. Proc. Biol. Sci.*, 2003, 270, p. 921–928.
25. Voloșciuc L. *The role and place of GMOs in solving phytosanitary problems. Academos*, 1/2020, p. 33-38.
26. Cannon P. M., Kiem H. P. *The genome-editing decade. Molecular Therapy*, 2021, 29, p. 3093-3094.
27. Hoffman W. *Ecosystems, Food Crops, and Bioscience: A Symbiosis for the Anthropocene. Asian Biotechnology and Development Review* Vol. 18, No. 1, 2016, p. 39-68.
28. Zhao Y., Schetelig M. F., Handler A. M. *Genetic breakdown of a Tet-off conditional lethality system for insect population control. Nature Communications*, 2020, 11, 3095.
29. Yan Y., Aumann R. A., Häcker I., Schetelig M. F. *CRISPR-based genetic control strategies for insect pests. Journal of Integrative Agriculture*, 2023, 22(3), p. 651-668.
30. Sarkies P. *Evolution beyond DNA: epigenetic drivers for evolutionary change? BMC Biology*. 2023, 21:272. <https://doi.org/10.1186/s12915-023-01770-4>.

Notă: Cercetările au fost realizate în cadrul Subprogramului 011103 „Elaborarea mijloacelor ecologic inofensive de reducere a impactului organismelor dăunătoare ale culturilor agricole pe fundalul schimbărilor climatice, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării.

Date despre autori:

Leonid VOLOȘCIUC, doctor habilitat în științe biologice, Șef de laborator, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-7475-4310

E-mail: leonid.volosciuc@usm.md
l.volosciuc@gmail.com

Mihail BATCO, doctor în științe biologice, Șef de laborator, Institutul de Genetică, Fiziologie și Protecție a Plantelor, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID:0000-0002-3711-4429

E-mail: batcomihail@gmail.com

Prezentat la 13.02.2023

REVIEW OF THE RECENT FINDINGS ON THE ICHTHYOFAUNA OF THE PRUT RIVER, REPUBLIC OF MOLDOVA

*Dumitru BULAT, Denis BULAT, Elena ZUBCOV,
Lucia BILEȚCHI, Nicolae ȘAPTEFRĂȚI,
Institute of Zoology, Moldova State University*

*Antoaneta ENE,
Faculty of Sciences and Environment, INPOLDE Research Center,
Dunărea de Jos University of Galați, Romania*

*Neculai PATRICHE,
Institute of Research-Development for Aquatic Ecology,
Fishing and Aquaculture, Galați, Romania*

The investigations carried out in 2010-2022 in the Prut River basin within territorial limits of the Republic of Moldova revealed an ichthyofaunistic diversity consisting of 62 species from 13 orders and 22 families, of which 14 species are considered endemic to the Danube basin. A new species was identified in the Prut River in 2010 – *Gymnocephalus baloni* (Holcík & Hensel, 1974). Later, in 2015, the species *Benthophilus nudus* (Berg, 1898) was recorded for the first time in the Prut River, and in 2022 – *Rutilus virgo* (Heckel, 1852). The obvious biological progression of *Gobiidae* species in last decades is an alarming sign related to the stability of native ichthyocenoses. The analysis of the flow, spatial, trophic and reproductive preferences of fish denoted that most of species are eurytopic, benthic, omnivorous, lithophilous or phytophilous.

Keywords: *Prut River, Danube basin, ichthyofauna, climate change, allogenic species, endemic species.*

ANALIZĂ A DESCOPERIRILOR RECENTE PRIVIND IHTIOFAUNA DIN RÂUL PRUT, REPUBLICA MOLDOVA

Investigațiile efectuate în perioada 2010-2022 în bazinul râului Prut în limitele teritoriale ale Republicii Moldova au relevat o diversitate ihtiofaunistică formată din 62 de specii din 13 ordine și 22 de familii, din care 14 specii sunt considerate endemice pentru bazinul Dunării. O nouă specie a fost identificată în râul Prut în 2010 - *Gymnocephalus baloni* (Holcík & Hensel, 1974). Mai târziu, în 2015, specia *Benthophilus nudus* (Berg, 1898) a fost înregistrată pentru prima dată în râul Prut, iar în 2022 - *Rutilus virgo* (Heckel, 1852). Progresia biologică evidentă a speciilor din fam. *Gobiidae* în ultimele decenii este un semnal alarmant legat de stabilitatea ichtiocenozelor native. Studiul afenității în raport cu regimul de curgere, preferințele spațiale, trofice și reproductive ale peștilor a arătat că majoritatea speciilor sunt euritope, bentonice, omnivore, litofile sau fitofile.

Cuvinte-cheie: *râul Prut, bazinul Dunării, ihtiofaună, schimbări climatice, specii alogene, specii endemice.*

Introduction

Aquatic ecosystems face rapid environmental change. The prevailing threats are habitat loss and degradation, invasive species, pollution, over-exploitation and climate change, and the synergy between them can complicate the impact on fish to a large extent [1]. In order to identify the long-term temporal changes in fish communities, or to track the changes in the status of vulnerable and threatened species, or to allow an early detection of alien species, permanent monitoring works are required [2].

The ecological state of the Danube largely depends on the well-being of its tributaries. This fact also refers to the fish diversity, the ecosystems of the tributaries often serving as oases of refuge and conservation for the endemic species of the entire Danube basin.

The Prut River, with a length of 926 km, is the third longest tributary of the Danube. It flows for the first 211 km eastward in Ukraine and then forms the border between Ukraine and Romania (32 km) and between Romania and Moldova (695 km) [3]. The lower Prut floodplain lake Belevu is the largest natural lake in Moldova. In order to protect, preserve and study the lake floodplain ecosystem of the lower Prut, in particular to create the favorable conditions for the reproduction of rare and endangered species and other species of plants and animals, the State Reserve Lower Prut was created in 1991, with a total area of 1691 ha [4]. Later, in 2000, an area of 19152 ha, located in the lower Prut basin (Cahul county), including a sector of the Prut riverbed, permanent freshwater lacustrine water bodies (Belevu, Manta, Rotunda, Dracile etc.) and 1 fish pond was designated as the Ramsar site no. 1029 Lower Prut Lakes, as recognition of the system importance for groundwater recharge, flood control, sediment trapping and support for numerous rare and threatened species of flora and fauna [5, 6]. The site extends to the Prut confluence with the Danube, this fact explaining the strong connection between the ichthyofauna of both rivers.

Fish diversity of the Prut River basin reflects the presence of distinct habitats: riffle-pool sequences in the upper part of the river bed, typical sequences for a plain river in its lower part, artificial and natural lakes, temporary or permanent water surfaces, which are supplied by the Prut River during floods.

Costești-Stânca reservoir, which was put in use in 1976, is located on the Prut riverbed on 580 km from the confluence with the Danube and is the largest aquatic unit of the Prut basin, having several functions: flood defense and flow regulation downstream reservoir, hydropower generation and water supply [7]. Obviously, the construction of the reservoir of Costești-Stânca hydropower plant (HPP) determined the breaking of the longitudinal connectivity of the river, causing harmful consequences, first of all, on the hydromorphological balance of the river, but also on the aquatic habitats and their ecological functions.

Fish diversity of Costești-Stânca reservoir consisted of 23 species - representatives of 4 orders and 6 families - in 2020, but, for example, between 1997 and 2021 the number of recorded fish species varied from 22 to 34 [8, 9]. In order to develop the potential of capture fisheries, the reservoir has been stocked with fry, yearlings or two-summer-old fish since 1984. Data on the stocking of the reservoir with pike-perch, common bream, common carp, Chinese major carps, silver crucian carp and even common roach are available for the period 1984-2009 [10]. Nevertheless, the fish production of Costești-Stânca reservoir is considered to be much lower than its potential volume, due to, first of all, non-compliance with scientific recommendations for maintaining the water level during the reproduction period, by illegal fishing and the lack of ameliorative-fishery measures [8].

Recent analysis of multiannual hydrological data revealed that the creation of Costești-Stânca reservoir and the construction of a hydropower plant of a mean capacity have not showed a statistically significant effect on annual water discharge downstream, but changed its seasonal distribution according to the interests of certain water users, including those dealing with fishery and aquaculture [11]. The last published comprehensive work on the hydrochemistry of the Prut River, based on the investigations carried out in 2013-2014 on the Costești-Stânca reservoir, Criva-Tețcani sector (the river sector within the territorial limits of the Republic of Moldova placed upper the reservoir) and Braniște-Giurgiulești sector (placed downstream the reservoir dam), demonstrated that in most cases the waters of the Prut River were satisfactory for hydro-biont development, but the concentrations of suspensions and nutritive elements were not always favorable for development of planktonic organisms [12]. Both droughts, with low water levels and high temperatures, and floods affect the state of ichthyofauna, as during such extreme hydrological events the saturation of water with dissolved oxygen and the content of suspension are drastically changed in the river [13].

Per total, there is recorded an increase of the number of fish species in the Prut river basin in the last decade. Thus, 50 species, belonging to 8 orders and 11 families were identified in 2010-2013 [14], but the summarising of the data for 2010-2016 revealed the presence of 56 species, belonging to 10 orders and 15 families [15]. The identification of 2 new species for the Prut river basin, and namely in its lower part, has been reported since 2010: of *Gymnocephalus baloni* [16] and of *Benthophilus nudus* (Berg, 1898) [17].

The present work aims to update the information on the fish diversity of the Prut river basin within the boundaries of the Republic of Moldova, based on data collected in 2010-2022.

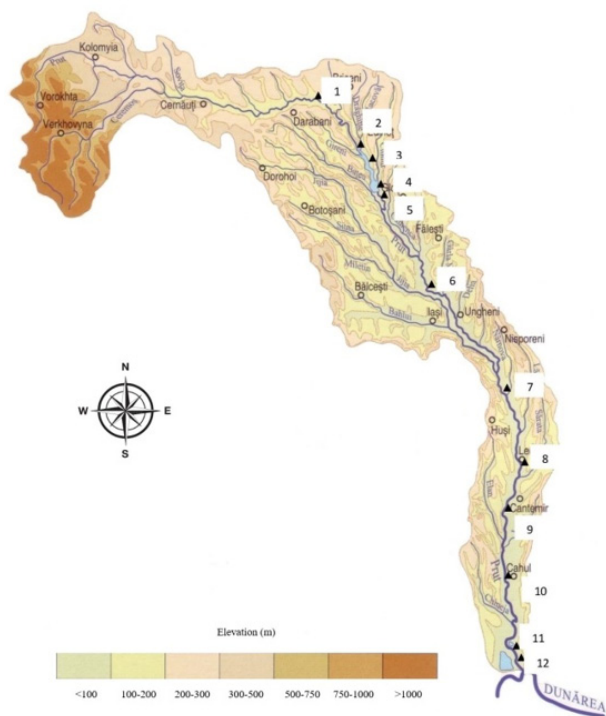
Materials and Methods

Study area

The Prut River, which takes its beginning from the woody Carpathians of Ukraine (Mount Goverla), is the last left tributary of the Danube River in the Black Sea basin, Eastern Europe. It discharges in the Danube south of Giurgiulești village, at about 164 km from the Danube mouth. Of the total area of the Prut basin (27540 km²), 28% are located on the territory of the Republic of Moldova (PRBMP, 2016).

Fish samples were collected along the course of the Prut River (Fig. 1), in its tributaries Vilia (50 km), Lopatnic (57 km), Racovăț (67 km), Ciuhur (90 km), Larga (33 km) and also from Beleu Lake and Manta ponds. The Vilia and Lopatnic Rivers discharge their waters upstream to Costești-Stânca reservoir, Racovăț and Ciuhur Rivers – into the Costesti-Stânca reservoir and Larga River – into the Lower Prut [18]. Fish sampling was performed in the tributaries at least in two points, of which one placed not far from the tributary confluence with the Prut River.

Fig. 1. Fish sampling points in the Prut riverbed within the borders of the Republic of Moldova: 1 – Lipcani, 2 – Bădrajii Noi, 3 – Cuconeștii Noi, 4 – Costești, 5 – Braniște, 6 – Sculeni, 7 – Leușeni, 8 – Leova, 9 – Țiganca, 10 – Cahul, 11 – Slobozia Mare, 12 – Giurgiulești. Source of the Prut River basin map: [18].



Collection and identification of samples

Ichthyological investigations have been carried out in the Prut River basin during 2010-2022. Scientific and control fishing was done by using various fishing gears: nets, fishing triple-walled nets (length – 75 m, mesh size – from 20x20 mm to 90x90 mm) and seine net (length – 5 m, mesh size – 5x5 mm). Electrofishing was not used, as the [19] prohibits it in the Republic of Moldova. The captured specimens were identified, a range of biological features were analysed (morphometric parameters, age structure, sex structure, growth rate, degree of development of sexual products, etc.) and some of ecological indices (analytical and synthetic) were calculated [20, 21, 22].

Results

The results obtained on the fish diversity in the Prut River basin, Republic of Moldova, in 2010-2022, together with other reported information for previous periods, are presented in Table 1.

There was revealed an ichthyofaunistic diversity consisting of 62 species, which belong to 13 orders and 22 families: Petromyzontiformes, with Petromyzontidae family (1 species), Acipenseriformes, with Acipenseridae family (2 species), Clupeiformes, with Clupeidae family (1 species), Salmoniformes, with Salmonidae family (1 species), Esociformes, with Esocidae family (1 species), Umbridae family (1 species), Cypriniformes, with Cyprinidae family (4 species), Xenocyprididae family (3 species), Tincidae family (1 species), Acheilognathidae family (1 species), Leuciscidae family (15 species), Gobionidae family (4 species), Nemacheilidae family (1 species), Cobitidae family (6 species), Siluriformes, with Siluridae family (1 species), Gadiformes, with Lotidae family (1 species), Perciformes/Gasterosteidae, with Gasterosteidae family (2 species), Sygnathiformes, with Sygnathidae family (1 species), Perciformes/Percoidei, with Percidae (7 species), Gobiiformes, with Gobiidae family (6 species), Odontobutidae family (1 species), Centrarchiformes, with Centrarchidae family (1 species).

Gobies (Gobiidae) can serve as a model of expansion and biological progression of species or even families. Thus, if only two species of gobies – *Proterorhinus semilunaris* and *Neogobius fluviatilis* – were identified in 1976-1977 [cited by 14], then currently 6 species have been already reported.

Table 1. Ichthyofauna of the Prut River in the territorial limits of the Republic of Moldova in various investigation periods.

	Fish species	Prut River basin, 1976-1977 (Popa 1977) [cited by 15]	Prut River basin (Usafii 2004) [23]	Prut River riverbed (Moshu et al. 2006) [24]	Prut River basin, 2010-2022	Abundance in catches in Prut River basin, 2010-2022	Allogeneic and endemic fish species in the Danube River basin	IUCN statute and populational trend in Prut River
Petromizontiformes order, Petromyzontidae family								
1	<i>Eudontomyzon mariae</i> (Berg, 1931)	+	-	-	+	*		LC ?
Acipenseriformes order, Acipenseridae family								
2	<i>Acipenser ruthenus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	-	+	*		EN ↓
3	<i>Acipenser stellatus</i> (Pallas, 1771)	+	-	-	+	*		CR ↓
4	<i>Acipenser nudiiventris</i> (Lovetsky, 1828)	+	-	-	-	0		CR ?
Clupeiformes order, Clupeidae family								
5	<i>Alosa tanaica</i> (Grimm, 1901)	-	+	-	+	***		LC ↑
Salmoniformes order, Salmonidae family								
6	<i>Hucho hucho</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	-	-	0	endemic	EN ?
7	<i>Salmo trutta</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	-	-	0		LC ?
8	<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)	+	-	-	+	*	allogeneic	LC ↑
Esociformes order, Esocidae family								
9	<i>Esox lucius</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC →
Umbridae family								
10	<i>Umbra krameri</i> (Walbaum, 1792)	+	-	-	+	*	endemic	VU ↓
Cypriniformes order, Cyprinidae family								
11	<i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***	endemic	VU ↓
12	<i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	-	-	0		LC ?
13	<i>Carassius auratus sensu lato</i> (<i>C. auratus</i> / <i>C. gibelio</i>)	+	+	-	+	*****	allogeneic	LC →
14	<i>Barbus barbus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	**		LC →
15	<i>Barbus petenyi</i> (Heckel, 1852)	+	-	-	+	*	endemic	LC ↓
Xenocyprididae family								
16	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenci- ennes, 1844)	+	+	-	+	****	allogeneic	LC ↑
17	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i> (Richard- son, 1845)	-	+	-	+	**	allogeneic	LC ↑
18	<i>Ctenopharyngodon idella</i> (Valenci- ennes, 1844)	-	+	-	+	**	allogeneic	LC ↑
Tincidae family								
19	<i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	-	+	*		LC ↓

Acheilognathidae family								
20	<i>Rhodeus amarus</i> (Bloch, 1782)	+	+	+	+	****		LC ↑
Leuciscidae family								
21	<i>Chondrostoma nasus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC ↑
22	<i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC →
23	<i>Ballerus sapa</i> (Pallas, 1814)	+	+	+	+	***		LC →
24	<i>Blicca bjoerkna</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	*****		LC ↑
25	<i>Vimba vimba</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	**		LC →
26	<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC →
27	<i>Rutilus virgo</i> (Heckel, 1852)	-	-	-	+	**	endemic	LC ↑
28	<i>Leuciscus aspius</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC ↑
29	<i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	**		LC ↑
30	<i>Squalius cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC →
31	<i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	**		LC →
32	<i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	-	-	0		LC ?
33	<i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758)	-	+	-	-	0		LC ?
34	<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC →
35	<i>Leucaspius delineatus</i> (Heckel, 1843)	+	+	+	+	*		LC ↓
36	<i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	*****		LC →
37	<i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1782)	+	+	+	+	**		LC ↓
Gobionidae family								
38	<i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	*		LC ?
39	<i>Romanogobio vladykovi</i> (Fang, 1943)	+	+	+	+	**	endemic	LC ↑
40	<i>Romanogobio uranoscopus</i> (Agassiz, 1828)	+	-	-	-	0	endemic	LC ?
41	<i>Romanogobio kesslerii</i> (Dybowski, 1862)	+	+	+	+	**		LC →
42	<i>Pseudorasbora parva</i> (Temminck & Schlegel, 1846)	-	-	+	+	***	allogeneic	LC →
Nemacheilidae family								
43	<i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758)	+		-	+	*		LC ↓
Cobitidae family								
44	<i>Cobitis taenia</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	*		LC ?
45	<i>Cobitis elongatoides</i> (Băcescu & Mayer, 1969)	-	-	+	+	*****	endemic	LC ↑
46	<i>Cobitis tanaitica</i> (Băcescu & Mayer, 1969)	-	-	-	+	*		LC ↑
47	<i>Sabanejewia balcanica</i> (Karaman, 1922)	+	-	+	+	**	endemic	LC ↓
48	<i>Sabanejewia bulgarica</i> (Drensky, 1928)	-	-	-	+	**	endemic	LC ↑
49	<i>Misgurnus fossilis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	**		LC ↓
Siluriformes order, Siluridae family								
50	<i>Silurus glanis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC →
Gadiformes order, Lotidae family								
51	<i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	+	+	*		LC ↓

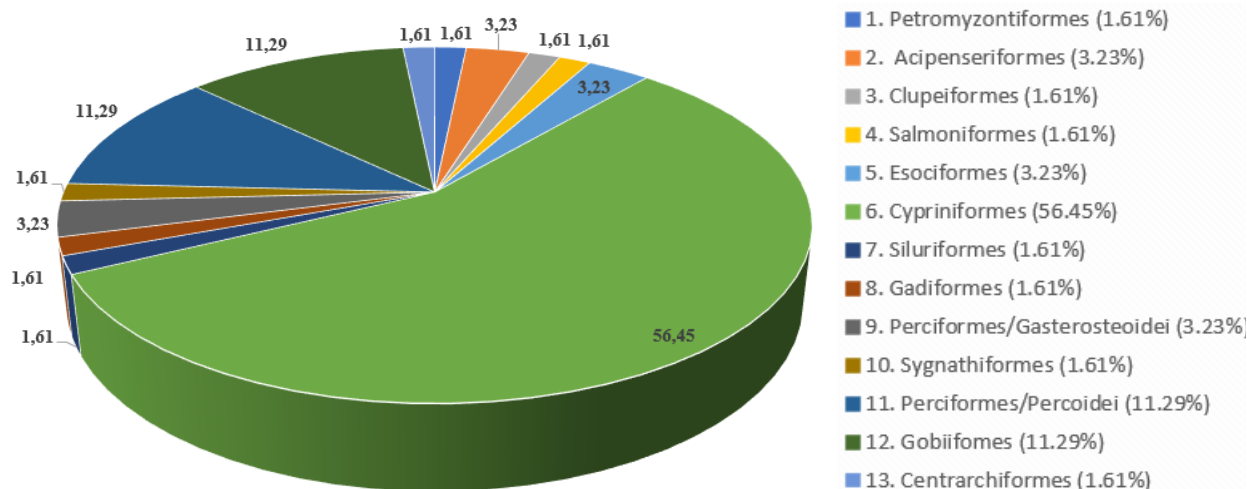
Perciformes/Gasterosteoides order, Gasterosteidae family								
52	<i>Pungitius platygaster</i> (Kessler, 1859)	+	+	-	+	**		LC →
53	<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Linnaeus, 1758)	-	-	-	+	*		LC ?
Sygnathiformes order, Sygnathidae family								
54	<i>Syngnathus abaster</i> (Risso, 1827)	+	-	-	+	**		LC ↑
Perciformes/Percoidei order, Percidae family								
55	<i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC→
56	<i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC↓
57	<i>Gymnocephalus cernua</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	**		LC↓
58	<i>Gymnocephalus schraetser</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	+	+	*	endemic	LC↓
59	<i>Gymnocephalus baloni</i> (Holcík & Hensel, 1974)	-	-	-	+	***	endemic	LC ↑
60	<i>Zingel streber</i> (Siebold, 1863)	+	+	+	+	*	endemic	LC→
61	<i>Zingel zingel</i> (Linnaeus, 1766)	+	+	-	+	**	endemic	LC↓
Gobiiformes order, Gobiidae family								
62	<i>Ponticola kessleri</i> (Guenther, 1861)	-	+	+	+	***		LC ↑
63	<i>Babka gymnotrachelus</i> (Kessler, 1857)	-	-	+	+	****		LC ↑
64	<i>Neogobius melanostomus</i> (Pallas, 1814)	-	-	+	+	**		LC ↑
65	<i>Proterorhinus semilunaris</i> (Heckel, 1837)	+	+	+	+	****		LC ↑
66	<i>Neogobius fluviatilis</i> (Pallas, 1814)	+	+	+	+	****		LC ↑
67	<i>Benthophilus nudus</i> (Berg, 1898)	-	-	-	+	***		LC ↑
Odontobutidae family								
68	<i>Perccottus glenii</i> (Dybowski, 1877)	-		+	+	**	allogeneic	LC ↑
Perciformes/Cottoidei order, Cottidae family								
69	<i>Cottus gobio</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	-	-	0		LC ?
70	<i>Cottus poecilopus</i> (Heckel, 1837)	+	-	-	-	0		LC ?
Centrarchiformes order, Centrarchidae family								
71	<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	+	+	+	+	***		LC ↑
Total		55	42	40	62			

Note: Conventional signs regarding the numeric abundance of the species in catches at basin level (territorial limits of the Republic of Moldova), populational trend and IUCN rarity statute:

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|---|
| 0 - species absent in catches | ↑ - positive populational dynamics, | CR – critically endangered species, |
| * - very rare, | ↓ - negative populational dynamics, | EN – endangered, |
| ** - rare, | ↓ - stable populational dynamics, | VU – vulnerable, |
| *** - relatively numerous, | ? – incert populational dynamics. | LC – low concern from the conservation point of view. |
| **** - abundant, | | |
| ***** - very abundant. | | |

Analysing the share of representatives of different orders demonstrated that the absolute majority in the species structure of the ichthyofauna of the Prut River basin belongs to Cypriniformes (56.45%), followed by Perciformes (11.29%) and Gobiiformes (11.29%). The other orders are represented by only one or two fish species (fig. 2).

Fig. 2. Share of different orders in the taxonomic structure of ichthyofauna of the Prut River basin.



According to the status in the IUCN list, 2 species are critically endangered (CR), 2 endangered (EN) and 2 vulnerable (VU) (Table 1), the rest of 56 species being not threatened, of low concern (LC) [26].

From the point of view of trophic preferences most of species in the Prut River basin are part of the omnivorous guild (51 species), followed by the ichthyophagous one (7 species). Two of the three identified planktivores, namely *Hypophthalmichthys molitrix* and *Hypophthalmichthys nobilis*, are introduced species (table 2).

Table 2. Structure of ichthyofauna of the Prut river basin according to trophic guilds.

No.	Trophic guild	Number of fish species
1	detritivorous	1
2	omnivorous	51
3	planktonophagous	3
4	ichthyophagous	6
5	herbivorous	1

Regarding the spatial niches, which are preferred by fish (in the adult stage) for feeding, it was determined that most of them occupy the benthic zone – 46 species. The other 16 species feed in the water column.

According to affinity with the water current, 19 species are rheophilic, 41 species – eurythopic and 2 species – limnophilic.

Among the reproductive guilds of fish species in the Prut river basin, the dominance of lithophilic fish (22 species), which lay their eggs on hard substrate, and of phytophilic fish (19 species), which are dependent on spring floods by entering floodplains to spawn on vegetal substrate, was recorded. There are also numerous phyto-lithophilic fish, which have more flexible demands on the reproductive substrate (Table 3).

Table 3. Structure of ichthyofauna of the Prut river basin according to reproductive guilds.

No.	Reproductive guild	Number of fish species
1	lithophilic	22
2	phytophil	19
3	phyto-lithophilic	10
4	pelagophilic	5
5	ostracophilic	1
6	psammophilic	4
7	pouch brooders	1

As for the structure of ichthyofauna of the Prut river basin according to the life cycle duration of its representatives in the current ecological conditions, fish species with a medium and short life cycle form the largest groups (26 species each). A long life cycle is characteristic only for 10 species, most of which are captured rarely and in small numbers.

Discussion

The Prut River contains a smaller number of fish species compared to the Dniester River, but their diversity and share of endemic ones is higher, which is a firm indicator of the ecological well-being, respectively, of the environmental conditions that ensure a greater degree of conservation of the native biodiversity [15]. For example, of the total number of fish and cyclostomata species identified, 14 species are considered endemic to the Danube basin and 7 species are considered as being anthropophor translocated allogeneic species [21, 26, 27].

Due to numerous meanders of the Prut riverbed, steep banks, riffle-pool sequences and drowned trees, collection of the ichthyological material with legally allowed tools (nets and seines) is quite difficult. This fact, along with the different periods of research, can also explain the large gap between the data on ichthyofauna diversity presented by some authors (Table 1) and makes the comparison of quantitative data uncertain.

Analyze of the data on the ichthyofauna of the Prut River basin (within the territorial limits of the Republic of Moldova) in a multi-annual aspect revealed an insignificant increase in the number of species – from 55 species in 1976-1977 to 62 species in the recent study. This fact is explained, on the one hand, by the active processes of secondary self-expansion and anthropochoric translocation, which led to the artificial enrichment of species diversity, and on the other hand, the artificial increase in ichthyofaunal diversity was compensated by the disappearance or decimation of the populations of some species once representative for this ecosystem [15].

Gobiidae demonstrated lately an obvious biological progression among the group of Ponto-Caspian relicts, *Neogobius fluviatilis*, *Babka gymnotrachelus*, *Ponticola kessleri* and *Proterorhinus semilunaris* becoming representative species for the Prut ecosystem. So far, *Neogobius melanostomus* is rare in catches in the Prut River, despite the fact that it causes an invasive effect in most of rivers in the Ponto-Caspian basin, including the Danube River.

An ichthyofaunistic novelty for this aquatic ecosystem – of the goby *Benthophilus nudus* (Berg, 1898) – was registered in 2015 on the Giurgiulești-Câșlița-Prut river sector [17].

It can be stated that currently *Benthophilus nudus* demonstrates an obvious biological progression, as scientific fishing carried out since the summer of 2022 pointed out the spread of this fish from the lower part of the Prut riverbed up to the dam of Costesti-Stanca reservoir.

After the devastating floods of 2008 and 2010 in the Prut River basin [28], when many fish ponds located in the Prut river basin were damaged, significant amounts of cultured Asian cyprinids (*Hypophthalmichthys molitrix*, *Hypophthalmichthys nobilis*, *Ctenopharyngodon idella*) and European carp (*Cyprinus carpio*) were found in the Prut riverbed. Moreover, the allogene species of cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) was recorded in Costești-Stanca reservoir [29]. Presumably it has escaped accidentally from the fish farms located in the Ukrainian part of the Prut basin during floods. Based on the control captures of 2011, it can be stated that important changes occurred in the share of these species also in the lower Prut ecosystems, including Belevu Lake and Manta ponds, especially of individuals aged 1+ and 2+ years. For comparison, results for fish catches in the riverbed for 2022 are given (Table 4).

Also, the floods caused the partial interpenetration, with a temporary effect, of the fishing zones within the Prut River ecosystem, as well as of the representatives of the ichthyocenoses of different ecosystems within the Danube basin, which tributary the Prut River is. This fact led to the movement of rheophilic fish species from the upper part of the river to its middle part (for example, catches of *Barbus barbus*, *Chondrostoma nasus* and *Vimba vimba* temporarily increased in Costești-Stanca reservoir) and opposite – both Danubian endemic and allogeneic species actively spread from the Danube upstream along the course of the Prut River [15].

Table 4. Relative abundance (%) of introduced Asian cyprinid species in comparison with other fish species in the lower Prut basin.

No.	Species	Beleu Lake		Manta ponds		Riverbed of the Lower Prut		
		1996-1997 (Usafii 2004) [23]	2011 (Bulat 2017) [15]	1996-1997 (Usafii 2004) [23]	2011 (Bulat 2017) [15]	1996-1997 (Usafii 2004) [23]	2011 (Bulat 2017) [15]	2022
1	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0.1	7.18	0.6	23.55	0.6	30.05	5.71
2	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	0	2.83	0	4.40	0	3.7	0
3	<i>Ctenopharyngodon idella</i>	0	3.05	0	3.65	0	5.2	0
4	<i>Cyprinus carpio</i>	4.4	21.43	3.65	9.7	2.0	6.7	5.71
5	other species	95.5	65.51	95.75	58.7	97.4	54.35	88.58

Note: The control fishing in 2011 and 2022 was done with fishing triple-walled net (length of 75 m, mesh size of 50x50 mm).

The occurrence of a new species for the Prut River – *Gymnocephalus baloni* (Holcık & Hensel, 1974) – was recorded in 2010 [16]. In few years the species formed numerous populations in Beleu Lake, Manta ponds and in the lower Prut riverbed (up to Cahul town), becoming an eloquent example of biological progression of a species with short life cycle in the conditions of the Republic of Moldova. Moreover, despite the recognition of this species as an oxyphilic and pollution-sensitive one, the penetrated specimens successfully adapted to muddy substrate and standing waters in some of the channels in the lower Prut floodplain, which have been were flooded during the high waters of 2008 and 2010 [15].

At the end of the summer of 2022, the species *Rutilus virgo* (Heckel, 1852), an endemic of the Danube basin, was recorded for the first time in the lower sector of the Prut River [30].

It should be noted that in the end of October of 2022 the species *Rutilus virgo* was also identified in the catches from Costești-Stânca reservoir, which indicates a high probability of its spreading within the Prut River ecosystem from upstream to downstream.

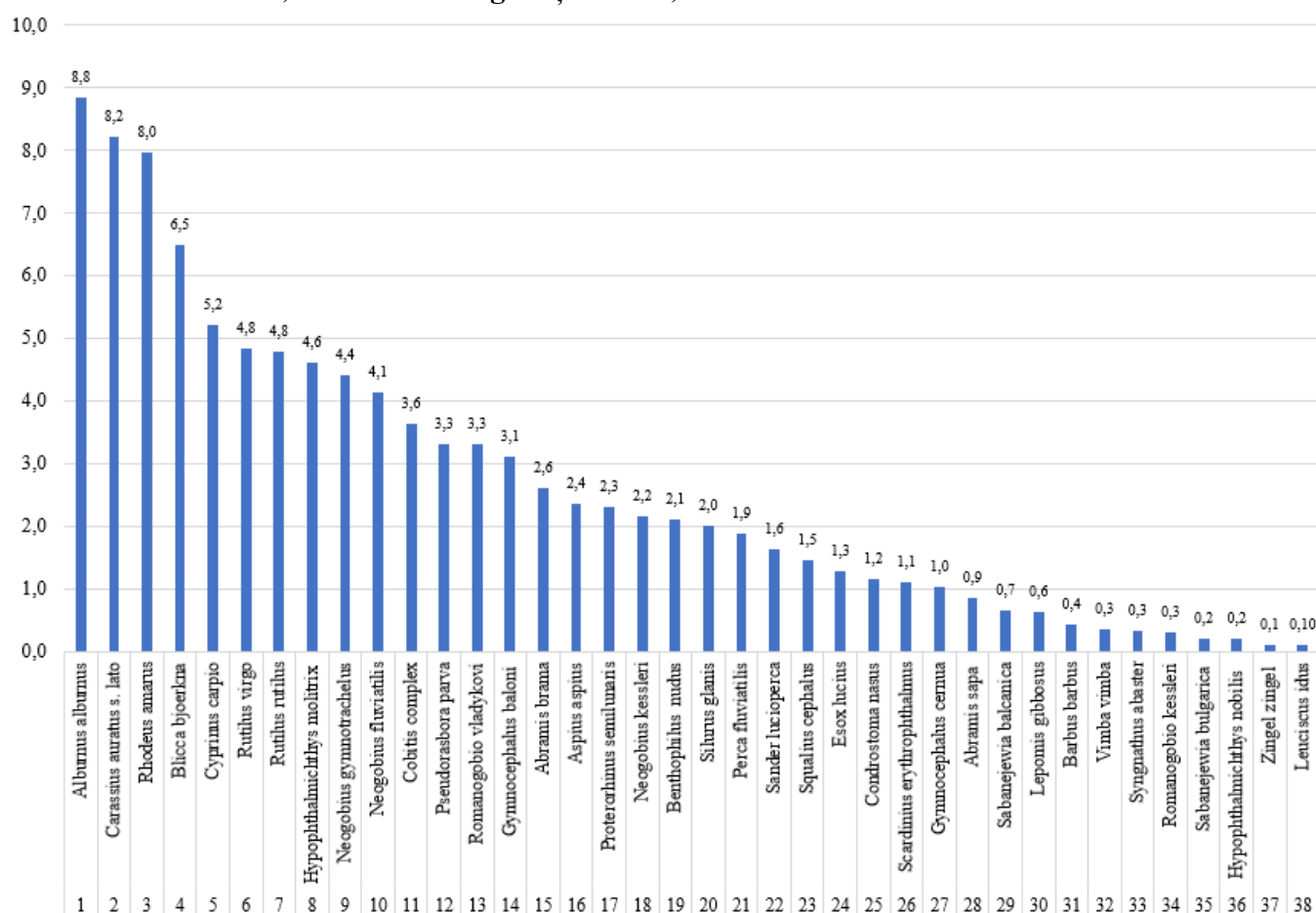
Despite the fact that the Prut River is recognized by the abundance of endemic species of the Danube basin, a major threat to the biodiversity of this ecosystem is the expansion of allogenic species with an invasive effect (fig. 3). For example, in the catches from some biotopes there are significant shares of *Lepomis gibbosus* (floodplains in the Prut meadow), *Carassius auratus* (the entire hydrographic basin), *Hypophthalmichthys molitrix* (the Lower Prut riverbed), *Pseudorasbora parva* (the entire hydrographic basin) and *Perccottus glenii* (the riverbed and tributaries of the middle sector of the Prut riverbed). In the case of *L.gibbosus*, it was demonstrated by [31, p. 143-150], on the base of modelling of certain environmental variables (climate, topography, land cover, soli), that the Lower Danube-Dniester area has a relatively high habitat suitability for the spread of this species.

To point out that the dominance of cyprinids is characteristic for the European lotic ecosystems in the hilly and lowland areas, but the obvious biological progression of *Gobiidae* species becomes worrisome.

In unstable environmental conditions and the overexploitation of fish resources, the biological peculiarities of K-strategic species, such as large size, late maturation and the unitary mode of reproduction, become inappropriate, giving way to the idioadaptations of r-strategic opportunistic species, such as small size, short or medium life cycle, early maturation, portioned reproduction mode, wide trophic spectrum and high affinity to different types of habitats.

The effect of climate change, expressed by long-lasting droughts followed by massive flooding, has caused the partial interpenetration of fish zones within the river ecosystem and the more active spread of species, both native and allogenic, within the Danube River basin.

Figure 3. Relative abundance (A, % of total catch) of species captured with seine net from the Lower Prut riverbed, Brânza – Giurgiulești sector, 2022-2023.



In conclusion, in the condition of running waters with medium flow speed, with steep banks and low transparency, such as the Prut River, the advantaged fish taxa will be the omnivorous, benthic and benthos-pagous ones.

References:

1. ARTHINGTON, A. H., DULVY, N. K., GLADSTONE, W., WINFIELD, I. J. *Fish conservation in freshwater and marine realms: status, threats and management*. In: *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 26 (5). 2016, p. 838-857 <https://doi.org/10.1002/aqc.2712>
2. RADINGER, J., BRITTON, J. R., CARLSON, S. M., MAGURRAN, A. E., ALCARAZ-HERNÁNDEZ, J. D., ALMODÓVAR, A., BENEJAM, L., FERNÁNDEZ-DELGADO, C., NICOLA, G. G., OLÍVA-PATERNA, F. J., TORRALVA, M., GARCÍA-BERTHOU, E. *Effective monitoring of freshwater fish*. In: *Fish and Fisheries* 20. 2019. p. 729-747. DOI: 10.1111/faf.12373
3. *Rivers of Europe*. Second edition. Ed. by Tockner, K., Zarfl, C., Robinson, C. T., Elsevier Ltd. 2021.
4. DG 209/1991 (1991). *Decision of the Government of the Republic of Moldova no. 209 from 23.04.1991 on the creation of the State Reserve „Lower Prut”*. <http://lex.justice.md/index.php?action=view&view=doc&lang=1&id=300137>
5. Ramsar. Ramsar Sites Information Service. *Lower Prut Lakes, 2022* <https://rsis Ramsar.org/ris/1029>
6. PRBMP. *The Prut River Basin Management Plan, Cycle I, 2017-2022*. Chisinau, May 2016. http://www.dbga.md/ENG_MoldPlan_Prut_MD_final_12.05.16.pdf
7. VARTOLOMEI, F. *Stanca-Costesti reservoir – the most important water management unit in Prut catchment area*. In: *Lakes, Reservoirs and Ponds*, 3(2), 2009, p. 74-84.

8. BULAT, Dm., BULAT, Dn., UNGUREANU, L., ZUBCOV, E., USATÎI, M., CREPIS, O., ȘAPTEFRAȚI, N. *Ichthyofauna of the Dubasari and Costeshti-Stanca accumulation lakes and the recommendations for valorization of fish resources*. In: *Journal of Academy of Sciences of Moldova. Life Sciences*, 2(341), 2020, p. 92-101
9. ZUBCOV, E., CURCUBET, G., BILEȚCHI, L., DOMANCIUC, V., USATÎI, M., BARBAIANI, L., KOVACS, E., MOTH-POULSEN, T., WOYNAROVICH, A. *Review of fishery and aquaculture development potentials in the Republic of Moldova*. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1055/3*, Rome. 2013.
10. BULAT, Dm., BULAT, Dn., ȘAPTEFRAȚI, N., USATÎI, M., DADU, A., USATÎI, A., CREPIS, O. *Ichthyofauna of Costesti-Stinca reservoir*. In: *Journal of Academy of Sciences of Moldova. Life Sciences* 2(344), 2021, p. 8-30. DOI: 10.52388/1857-064X.2021.2.01
11. COROBOV, R., ENE, A., TROMBITSKY, I., ZUBCOV, E. *The Prut River under climate change and hydro-power impact*. In: *Sustainability*, 13(1), 2021, p. 66. <https://dx.doi.org/10.3390/su13010066>
12. ZUBCOV, E., BILEȚCHI, L., BAGRIN, N., ZUBCOV, N., BORODIN, N., JURMINSKAIA, O., BOGONINA, Z. *Investigation of hydrochemical characteristics of the Prut river*. In: *Journal of Academy of Sciences of Moldova. Life Sciences*, 3(324), 2014, p. 127-136.
13. ZUBCOV, E., UNGUREANU, L., TODERAȘ, I., BILEȚCHI, L., BAGRIN, N. *Hydrobiocenosis state of the Prut River in the Sculeni-Giurgulesti Sector*. In: *Management of Water Quality in Moldova*. Book series: Water Science and Technology Library 69, Ed. Duca, G. Springer, 2014, pp. 97-156.
14. BULAT, Dm., BULAT, Dn., TODERAȘ, I., ZUBCOV, E., USATÎI, M., UNGUREANU, L., ȘAPTEFRAȚI, N. *Ichthyofauna of the Prut River within the limits of the Republic of Moldova*. În: *Mediul Ambient* 6(72), 2013, p. 1-19.
15. BULAT, Dm. *Ichthyofauna of the Republic of Moldova: threats, trends and recommendations of rehabilitation*. Chisinau: Foxtrod, 2017, 343 p. ISBN 978-9975-89-070-0.
16. BULAT, Dm., BULAT, Dn. *Danubian ruff – Gymnocephalus baloni Holčík et Hensel, 1974 a new species for the ichthyofauna of Moldova*. In: *Modern problems of theoretical and practical ichthyology. Abstracts of the IV International Ichthyological Scientific and Practical Conference, 7-11 September 2011*, Odessa: Phoenix, 2011, p. 43-45.
17. BULAT, Dm., BULAT, Dn., ZUBCOV, E., BILEȚCHI, L. *First record of the species Benthophilus nudus (Berg, 1898) in the Prut River*. In: *International Conference Environmental Challenges in Lower Danube Euroregion, 25-26 June, Galați, 2015*, p. 34.
18. CAZAC, V., MIHAILESCU, C., BEJENARU, Gh., GÂLCĂ, G. *Aquatic resources of the Republic of Moldova. Volume I. Surface waters*. Chisinau: Stiinta, 2007, 143 p.
19. *Law 149/2006 (2006): Law no. 149 din 08.06.2006 fish stock, fishery and fish farming*. https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=134295&lang=ro#, accessed at: 2023.05.12
20. *Fishbase. A Global Information System on Fishes*. 2023 <https://www.fishbase.se/search.php>
21. KOTTELAT, M., FREYHOF, J. *Handbook of European freshwater fishes*. Switzerland: Ed. Delemont, 2007.
22. ZUBCOV, E., BILEȚCHI, L. (eds.). *Methodological guide for monitoring the hydropower impact on trans-boundary river ecosystems*. Chisinau: Tipografia Centrala, 2021.
23. USATÎI, M. *Diversity of ichthyofauna in the Prut River basin in the Republic of Moldova*. In: *Scientific Annals of the A.I.Cuza*, Iasi University, 2004, p. 91-99.
24. MOSHU, A. J., DAVIDEANU, G. G.; CEBANU, A. S. *Elements on the ichthyofauna diversity of Prut River basin*. In: *Acta Ichtiologica Romanica I*. 2006, p. 171-184.
25. IUCN. *The IUCN Red List of Threatened Species*. 2023. <https://www.iucnredlist.org/>
26. BALON, E. *The oldest domesticated fishes, and the consequences of an epigenetic dichotomy in fish culture*. In: *Journal of Ichthyology and Aquatic Biology* 11(2). 2006, p. 47-66.
27. HOLČIK, J. *Fish introductions in Europe with particular reference to its Central and Eastern part*. In: *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 48 (Suppl. 1), 1991. p. 13-23
28. ROMANESCU, G., STOLERIU, C. C. *Exceptional floods in the Prut basin, Romania, in the context of heavy rains in the summer of 2010*. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 2017, p. 381-396. <https://doi.org/10.5194/nhess-17-381-2017>
29. BULAT, Dm., BULAT, Dn., DAVIDEANU, A., IRINEL, E., POPESCU DAVIDEANU, Gr. *Romania – Republic of Moldova joint study concerning the fish fauna in Stânca-Costești reservoir*. In: *AACL Bioflux* 9(3), 2016, p. 550-563.

30. BULAT, Dm; BULAT, Dn.; FULGA, N.; CREPIS, O.; CHELMENCIUC, R. *Rutilus virgo* (Heckel, 1852) – new species for the Prut river. In: *The Scientific Symposium Biology and Sustainable Development The 20th Edition* November 24-25, 2022 Bacău, Romania, p. 53.
31. TYTAR, V., NEKRASOVA, O., PUPÎNS, M., SKUTE, A., FEDORENKO, L., ČEIRĀNS, A. *Modelling the range expansion of pumpkinseed *Lepomis gibbosus* across Europe, with a special focus on Ukraine and Latvia*. In: *North-Western Journal of Zoology*, 18(2), 2022, p. 143-150.

Acknowledgments: The investigations were carried out within the framework of the project no. 20.80009.7007.06 AQUABIO (State Program 2020-2023, Republic of Moldova) and EU funded projects MIS ETC 1676 INPOLDE, BSB165 HydroEcoNex, BSB 27 MONITOX, 2SOFT/1.2/38.

Date about authors:

Dumitru BULAT, head of laboratory, Institute of Zoology, Moldova State University.

E-mail: bulatdm@yahoo.com

ORCID: 0000-0003-1134-7176

Denis BULAT, coordinating scientific researcher, Institute of Zoology, Moldova State University.

ORCID: 0000-0003-0591-3960

E-mail: bulat.denis@gmail.com

Elena ZUBCOV, head of laboratory, Institute of Zoology, Moldova State University.

ORCID: 0000-0002-8437-8195

E-mail: elzubcov@mail.ru

Lucia BÎLETCHEI, scientific secretary, Institute of Zoology, Moldova State University.

ORCID: 0000-0002-5071-4189

E-mail: lucia.biletchi@gmail.com

Nicolae ȘAPTEFRĂȚI, Institute of Zoology, Moldova State University.

Antoaneta ENE, Head of Center, Faculty of Sciences and Environment, INPOLDE Research Center, Dunărea de Jos University of Galați, Romania.

ORCID: 0000-0002-6976-0767

E-mail: antoaneta.ene@ugal.r

Neculai PATRICHE, director, Institute of Research-Development for Aquatic Ecology, Fishing and Aquaculture, Galați, Romania.

ORCID: 0000-0001-9981-1564

E-mail: neculai.patriche@gmail.com

Presented on 27.03.2024

CZU: 597.556.33(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_05](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_05)

МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГОНАД У САМОК ПРОХОДНОЙ ЧЕРНОМОРСКО-АЗОВСКОЙ СЕЛЬДИ *ALOSA IMMACULATA* В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ДНЕСТРА В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Nina FULGA, Denis BULAT, Dumitru BULAT,
Institute of Zoology Moldova, State University,

Черноморско-азовская сельдь (*Alosa immaculata*) является проходной стайной рыбы, которая нерестится в реках Дон, Днепр, Днестр, Дунай и другие. Вид имеет ценное промысловое значение.

В данной работе анализируются изменения репродуктивной функции промыслово-ценного вида черноморско-азовской сельди (*Alosa immaculata*) в условиях фрагментаций реки Днестр.

В настоящее время возрастной состав, а также линейно-весовые показатели нерестовой популяции сельди оказались сходными с данными прошлых лет. Оогенез у днестровской сельди характеризуется асинхронным развитием половых клеток и порционным выметом икры. Нерест производителей начинается в третьей декаде мая, при температуре воды 18⁰С и заканчивается в июле месяце. Выявлены деструктивные изменения в развитии желтковых ооцитов у некоторых самок нижнего Днестра в апреле и июле, что негативно скажется на численности популяции проходной ч/а сельди.

Ключевые-слова: черноморско-азовская сельдь, Нижний Днестр, фазы развития ооцитов, порционный нерест, гонадосоматический индекс (ГСИ), резорбция икры.

MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE GONADS IN FEMALES OF THE PONTIC SHAD *ALOSA IMMACULATA* IN MODERN ECOLOGICAL CONDITIONS OF THE LOWER DNISTER IN THE SPRING-SUMMER PERIOD

Pontic shad (*Alosa immaculata*) is a migratory gregarious fish that spawns in the Don, Dnieper, Dniester, Danube and other rivers. The species is of valuable commercial importance.

This work analyzes changes in the reproductive functions of the commercially valuable species of pontic shad (*Alosa immaculata*) under conditions of fragmentation of the river Dniester.

Currently, the age composition, as well as the linear weight indicators of the spawning pontic shad population, turned out to be similar to the data of previous years. Oogenesis of Dniester's pontic shad is characterized by asynchronous development of germ cells and portioned release of eggs. Spawning of spawners begins in the third ten days of May, at a water temperature of 18⁰С and ends in July. In the lower Dniester in April and July were revealed in some females' destructive changes in the development of vitellogenin oocytes, which will negatively affect the population size of migratory herring.

Keywords: Pontic shad, Lower Dniester, phases of oocyte development, portioned spawning, gonadosomatic index (GSI), egg resorption.

Введение

Сельдь *Alosa immaculata* относится к семейству сельдевых, отряду сельдеобразных. Это пелагофильная быстрорастущая проходная стайная рыба зимует в Черном море у берегов Кавказа, Крыма, Болгарии, Румынии, а на нерест заходит в реки, лиманы и озера имеющие с ними связь [1].

Отдельные стороны биологии черноморско-азовской проходной сельди освещены в работах М. С. Бурнашева (1955, 1967) [2, с. 7-29; 3, с. 62-63], Б. С. Чепурновой (1975) [4] и др. В основном эти работы отмечают ее жизненный период в условиях моря, а вопросы, касающиеся сельди в период ее захода в реки для нереста и особенно в реку Днестр в условиях зарегулирования стока, освещены недостаточно.

Как показали многочисленные исследования [6, с. 3-32; 7, 10] при непрерывно меняющихся условиях среды обитания, особое значение в воспроизводстве рыб являются изменения в развитии репродуктивной системы. Адаптация воспроизводства рыб, сводится к изменению характера гаметогенеза, полового цикла, количества выметываемых порций икры и сдвигу времени нереста.

Строительство плотины Дубоссарской ГЭС, отрезавшей низовье реки от среднего и верхнего участка Днестра, изменило для сельди ареал нерестовой миграции. В результате сельдь может нереститься только в низовье реки [4].

Исследования по изучению развития ооцитов у сельди проводились Л. В. Чупурновой (1975) [4] в приплотинном участке Днестра и носили фрагментарный характер.

В данной работе приводятся результаты исследований, касающиеся развития репродуктивной системы ч/а сельди в современных условиях нижнего Днестра.

Материал и методика

Материалом для исследования послужили сборы, проведенные в весенне-летний период 2024г. в нижнем участке реки Днестр. Вылов рыбы осуществляли волокушей длиной 6 метров с размером ячеи 5x5мм. В период нерестового сезона все пойманные самки в количестве 34 экз. были подвергнуты общему биологическому анализу [8]. Гонадосоматический индекс вычисляли по отношению массы гонад к массе тела без внутренностей в процентах.

Для гистологических исследований были использованы гонады от половозрелых самок сельди в течение всего сезона размножения. Образцы яичников фиксировали в 4% формалине с последующей обработкой по общепризнанным классическим методам. Зрелость гонад определяли по Мейену с уточнениями Сакун и Буцкой [9], а степень развития ооцитов - по классификации Казанского (1949) [5, с. 64-121]. Срезы толщиной 7 мкм. окрашивали по методу Маллори [11]. Изготовление микрофотографий проводили с помощью микроскопа AxioImager A2. Полученные данные обработаны статистически с использованием пакетов прикладных программ Microsoft Excel-2007 и STATISTICA 6,0 for Windows.

Результаты и их обсуждение

Согласно нашим исследованиям возрастной состав, а также линейно-весовые показатели нерестовой популяции сельди нижнего Днестра оказались сходными с данными Н. В Долгий (1993) [12, с. 196-215] (таблица 1).

Таблица 1. Размерные показатели ч/а сельди нижнего Днестра в период онтогенеза.

Возраст	Длина тела, см	Длина тела, см (Долгий 1993)	Масса тела, гр.	Масса тела, гр. (Долгий 1993)
3	18,0 ± 0,87	17,2-22,1	66,1 ± 3,23	42,0-81,0
4	25,8 ± 1,74	23,0-25,0	195,49 ± 9,46	178,-235,0
5	28,5 ± 1,54	28,0-30,5	255,0 ± 12,67	210,0-290,0

Результаты исследований, проведенные в разные годы, показывают заметные колебание отдельных особей по длине и массе тела в пределах одновозрастных групп. Это связано, главным образом, с порционностью икротетания самок [12, с. 196-215].

Согласно данным Л.В. Чупурновой (1975) [4], в верховье Днестра мигрируют наиболее крупные производители. Размеры трехгодовалых самок сельди, длина которых до конца чешуйного покрова (I) составляют в пределах 31,0-32,0см, четырехгодовалых - 32,0-34,0см и пятигодовалых - 34,0см, поэтому сельдь в приплотинном участке крупнее, чем в низовье реки.

В настоящее время, возрастной состав нерестовой популяции сельди в нижнем Днестре, в преднерестовый период, представлен трех, четырех и пяти годовалыми особями, что совпадает с данными, прошлых лет [12, с. 196-215].

Анализ половых продуктов, в середине апреля при температуре воды 10°C, указал на разные состояния развития ооцитов. В этот период гонады у одних самок находятся на IV не завершённой стадии зрелости. Старшая генерация яйцеклеток представлена в фазе интенсивного вителлогенеза. Ядро расположено в центре клетки. Ооциты второй генерации только начинают накапливать желток. В яичнике также присутствуют и ооциты фазы вакуолизации (рис. 1). Гонады других самок содержат ооциты старшей генерации в процессе резорбции. Вымет таких яйцеклеток не произойдет и самки пропустят нерестовый сезон в текущем году (рис. 2).

Рис. 1. Гонады на IV не завершённой стадии зрелости, апрель месяц.

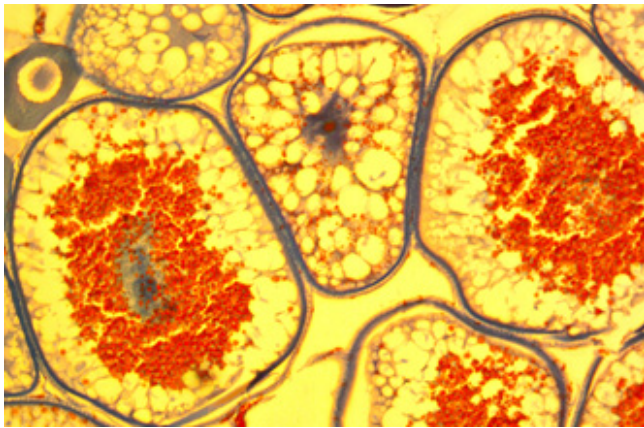
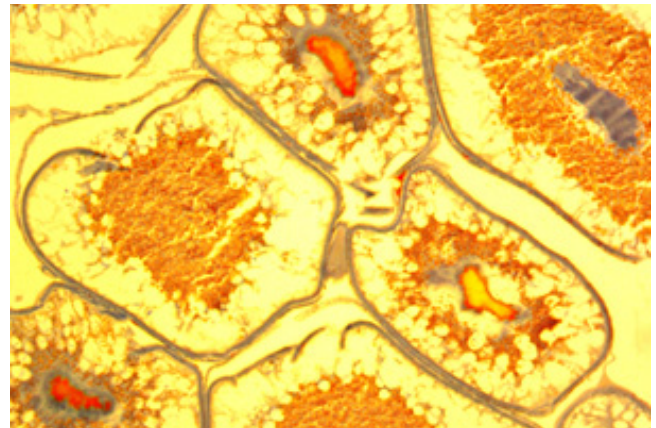


Рис. 2. Тотальная резорбция старшей генерации ооцитов, апрель месяц.



В первой декаде мая вода в нижнем Днестре прогревается до 13°C. Ооциты продвинулись в своем развитии. Старшая генерация яйцеклеток находится на завершающей фазе накопления желтка. Гонadosоматический индекс, у пяти годовалых самок, на этом этапе развития гонад, достоверно выше, чем в апреле месяце ($P \geq 0,95$) но гонады по-прежнему остаются на IV не завершённой стадии зрелости (таблица 1).

Таблица 2. Морфо-функциональная характеристика ч/а сельди нижнего Днестра в период репродуктивного цикла.

Дата вылова, месяц	Возраст, годы	Стадия зрелости	Масса гонад, гр.	ГСИ, %	Фаза развития ооцитов старшей генерации
Апрель III декада	4	IV	$11,78 \pm 0,67$	$6,76 \pm 0,73$	Интенсивный вителлогенез
	5	не завершённая	$19,56 \pm 2,29$	$8,85 \pm 0,71$	Интенсивный вителлогенез
Май I декада	4	IV	$14,34 \pm 1,54$	$8,32 \pm 0,84$	Интенсивный вителлогенез
	5	не завершённая	$22,34 \pm 1,97$	$12,68 \pm 0,67$	Интенсивный вителлогенез
Май III декада	4	IV	$17,87 \pm 2,81$	$13,21 \pm 0,89$	Завершённый вителлогенез
	5	завершённая	$25,0 \pm 1,25$	$17,26 \pm 0,92$	Завершённый вителлогенез
Июль I декада	3	IV ₂ резорбция	$4,88 \pm 0,72$	$8,60 \pm 0,57$	Резорбция вителлогенных ооцитов
		VI-II	$1,29 \pm 0,34$	$1,97 \pm 0,53$	Протоплазматический рост ооцитов генерации будущего года

В III декаде мая при достижении температурного режиме данного водоема 18°C гонады переходят на IV завершённую стадию зрелости. Старшая генерация яйцеклеток полностью заполнена гранулами желтка (фаза «Е»). Значения ГСИ достоверно увеличились у самок в обоих возрастных

группах ($P \geq 0,95$). Анализ состояния половых продуктов, в третьей декаде мая, показал присутствие ооцитов разных фаз развития, размер которых указан в таблице 3.

Таблица 3. Размер ооцитов ч/а сельди нижнего Днестра на IV стадии зрелости(μ).

Дата вылова, месяц	Фазы развития ооцитов			
	Вакуолизация «D ₃ »	Начало накопления желтка «D ₄ »	Интенсивное накопление желтка «D ₆ »	Завершение накопления желтка «E»
Май Ш декада	264,3 ± 5,70	390,5 ± 6,90	532,0 ± 7,80	753,8 ± 8,32

В прошлые годы, исследования Л. В Чепурновой (1975) показали, что у сельди, в приплотинном участке Днестра, при температуре воды 15⁰С в апреле месяце, старшая генерация ооцитов уже завершила накопление желтка (фаза «E») их диаметр достигает 0,6-0,7мм. Размер яйцеклеток второй генерации в фазе интенсивного накопления желтка («D₆») составляет 0,5-0,6мм. Диаметр третьей генерации ооцитов находится в начальной фазе вителлогенеза и колеблется в пределах 0,4-0,5мм. Наши исследования гонад у производителей в нижнем Днестре, при температуре воды 10⁰С, в отличие от температурного режима приплотинного участка реки, указывают на отсутствие ооцитов, завершивших вителлогенез в апреле месяце.

В первой декаде июля выявлены самки ч./а сельди, завершившие нерестовый сезон, так и особи с резорбирующимися яйцеклетками. У первой группы самок гонады находятся на VI-II стадии зрелости, в которых присутствуют только ооциты протоплазматического роста, опустевшие фолликулярные оболочки и остаточные элементы от прошедшего нереста (рис. 3). У второй – яичник содержит желтковые ооциты на разных стадиях резорбции (рис. 4).

Рис. 3. Гонады на VI-II стадии зрелости.

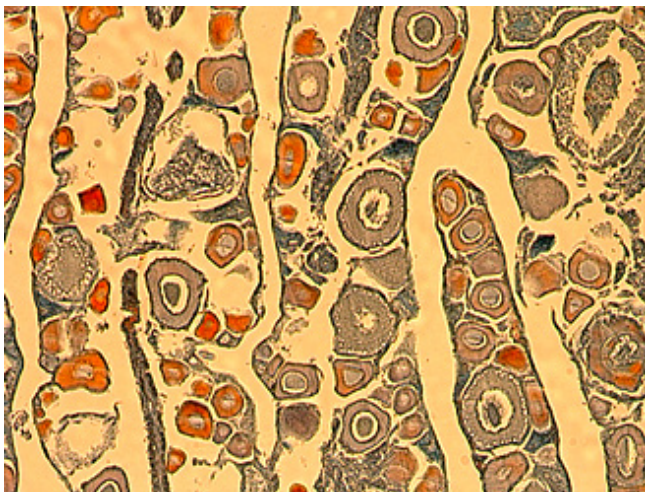
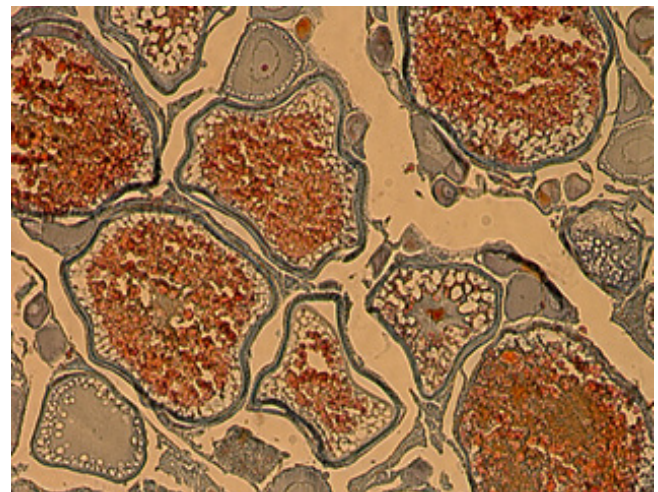


Рис. 4. Тотальная резорбция ооцитов.



Тотальная резорбция ооцитов, завершивших накопление желтка, были отмечены у Волжской и Днепровской сельди [13, с. 38-41], что является следствием сокращения пути нерестовой миграции после строительства ГЭС. Массовую резорбцию вызывают также резкие колебания уровня воды и изменившийся температурный режим Днестра.

Выводы

В настоящее время возрастной состав, а также линейно-весовые показатели нерестовой популяции сельди оказались сходными с данными прошлых лет. Оогенез у днестровской сельди характеризуется асинхронным развитием половых клеток и порционным выметом икры. Наши исследования указывают на отсутствие ооцитов, завершивших вителлогенез, в апреле месяце,

так как в этот период вода в нижнем Днестре в отличие от приплотинного участка, прогревается только до 10⁰С. Поэтому нерест производителей, начинается в третьей декаде мая при температуре воды 18⁰С и заканчивается в июле месяце. Резорбция ооцитов, завершивших накопление желтка у некоторых самок сельди в июле месяце, не позволяет их дальнейшему развитию, в результате такие производители пропускают процесс вымета икры, что отрицательно сказывается на численности популяции в целом.

Литература

1. <https://www.fishbase.se/summary/Alosa-immaculata>
2. БУРНАШЕВ М. С., ЧЕПУРНОВА В. С., РАКИТИНА Н. П. *Рыбы Дубоссарского водохранилища и вопросы развития речного промысла в нем*. В: *Научные труды Кишиневского госуниверситета* 1955, с. 7-29.
3. БУРНАШЕВ М. С., *Сельдеобразные реки Днестр и их промысловое значение* В: *Науч. конф. Кишиневского ун-та*. Кишинев, 1967, с. 62-63.
4. ЧЕПУРНОВА Л. В. *Размножение днестровских рыб (осетровых, сельдевых, окуневых)*. Кишинев: Штиинца, 1975, 52 с.
5. КАЗАНСКИЙ Б. Н. *Особенности функции яичников у рыб с порционным икрометанием*. В: *Тр. лаб. основ рыбоводства*. Ленинград: Изд. АН ССР, 1949, Т. 2, с. 64-121.
6. КАЗАНСКИЙ Б. Н. *Закономерности гаметогенеза и экологическая пластичность размножения рыб. Экологическая пластичность половых циклов и размножения рыб*, Л. 1975, с. 3-32.
7. ТАСИЙЧУК В. С. *Экология нереста проходных сельдей реки Волги после зарегулирования стока* В: *Вопросы экологии*, Т. 5, Москва, 1962, с. 24-29.
8. ПРАВДИН И. Ф. *Руководство по изучению рыб*. Москва: Пищевая промышленность, 1966, 376 с.
9. САКУН О. Ф., БУЦКАЯ Н. Ф. *Определение стадий зрелости и изучение половых циклов рыб*. Мурманск: Изд-во «ПИНРО», 1968, 48 с.
10. КОШЕЛЕВ Б. В. *Экология размножения рыб* Москва: Изд-во Наука 1984, 309 с. РОСКИН Г.И., ЛЕВИНСОН Л. Б. *Микроскопическая техника*. Москва: Советская наука, 1957, 487 с.
11. ДОЛГИЙ Н. П. *Ихтиофауна бассейнов Днестра и Прута*. Кишинев: Штиинца, 1993, с. 196-215.
12. ВЛАДИМИРОВ В. И. *Размножение сельди и осетра в условиях зарегулирования стока реки* В: *Труды совещ. ихтиол. Комиссии АН СССР 1961*. Вып.13, с. 38-41.

Данная работа выполнена согласно государственной программе "AQUABIO", по проекту 20.80009.7007.06

Данные об авторах:

Нина ФУЛГА, доцент, кандидат биологических наук, Институт зоологии, Государственного университета Молдовы.

ORCID: 0009-0007-1463-0790

E-mail: fulganina@yahoo.com

Денис БУЛАТ, доцент, кандидат биологических наук, Институт зоологии, Государственного университета Молдовы.

ORCID: 0000-0003-0591-3960

E-mail: bulat.denis@gmail.com

Думитру БУЛАТ, доцент, кандидат биологических наук Института зоологии, Государственного университета Молдовы.

ORCID: 0000-0003-1134-7176

E-mail: bulatdm@yahoo.com

Представлено 20.02.2024

CZU: 616.71-007.151-053.2

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_06](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_06)

EVALUAREA UNOR INDICI FIZIOLOGICI LA COPIII CU RAHITISM

Iurie BACALOV, Aurelia CRIVOI, Elena CHIRIȚA, Adriana DRUȚA,

Universitatea de Stat din Moldova

Lidia COJOCARI,

Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă”

Rahitismul se întâlnește în toate țările lumii, dar preponderent în țările nordice, unde persistă insuficiența radiației solare. Copiii născuți toamna și iarna, mai frecvent se îmbolnăvesc de rahitism sau la ei boala apare într-o formă mai gravă. Incidența acesteia la copiii din Republica Moldova constituie 56,5%. Rahitismul este o boală a întregului organism, care se manifestă preponderent la nivelul sistemului osos, determinată de o necorespondență temporară între necesitățile în calciu și fosfor ale organismului în creștere și dezvoltare și insuficiența sistemelor ce asigură aportul lor la copii. Ca urmare a micșorării absorbției calciului, fosforului, magneziului, frecvent, ca consecință a rahitismului, se estimează disfuncțiile vegetative și dereglarea motoriciei tractului gastro-intestinal. Netratarea acestei patologii în copilărie poate avea repercusiuni nefavorabile asupra proceselor de creștere și dezvoltare, acestea se pot menține pe tot restul vieții.

Cuvinte-cheie: rahitism, adaptare, sănătate, morbiditate, radiație solară, vitamina D, calciu, fosfor.

ASSESSMENT OF SOME PHYSIOLOGICAL INDICES IN CHILDREN WITH RICKETS

Rickets is found in all the countries of the world, but mostly in the northern countries, where insufficient solar radiation persists. Children born in autumn and winter more frequently get sick with rickets or it appears in a more serious form. Its incidence among children in the Republic of Moldova is 56.5%. Rickets is a disease of the whole body, which manifests itself predominantly in the bone system, determined by a temporary mismatch between the calcium and phosphorus needs of the growing and developing body and the insufficiency of the systems that ensure their intake in children. As a result of the decrease in the absorption of calcium, phosphorus, magnesium, vegetative dysfunctions and motility disorders of the gastrointestinal tract are often estimated as a consequence of rickets. Failure to treat this pathology in childhood can have unfavorable repercussions on the growth and development processes, which can be maintained throughout the rest of life.

Keywords: rickets, adaptation, health, morbidity, solar radiation, vitamin D, calcium, phosphorus.

Introducere

Rahitismul este o boală metabolică provocată de hipovitaminoza D și caracterizată prin dereglarea metabolismului calciului și fosforului cu tulburarea funcțiilor organismului și mineralizării osoase [1, 2].

Încă din antichitate s-a observat că la unii copii apar în perioadele de creștere deformații ale oaselor, care se exteriorizează prin asimetrii ale capului, cocoșe, membre strâmbe, torace îngust, stern deformat, care dispar cu timpul sau lasă anumite urme. S-a stabilit că pentru buna funcționare a tuturor sistemelor și organelor, între sărurile de calciu și cele de fosfor din sânge și limfă, trebuie să existe un echilibru [3]. Echilibrul fosfo-calcic se menține printr-un mecanism complex la care participă mai multe organe și țesuturi cum ar fi: intestinul, rinichii, oasele, sistemul nervos, glandele paratiroide, precum și vitamina D, a cărei prezență în organism depinde de expunerea la lumină.

În lipsa vitaminei D tubul digestiv al copilului nu absoarbe calciul și fosforul necesare, iar rinichii nu filtrează în mod normal acești ioni. Din această cauză oasele își pierd capacitatea de a fixa aceste săruri ca urmare rămânând moi.

La sugar și la copilul mic este prezentă cea mai frecventă formă carențială prin hipovitaminoza D cu perturbarea consecutivă a metabolismului fosfo-calcic și a mineralizării normale a oaselor. La osul matur, prin lipsa de mineralizare, se produce osteomalacie, adică o cantitate crescută de țesut.

Carența endo- sau exogenă de vitamina D are ca efect scăderea absorbției calciului la nivelul intestinului

subțire și tendința la hipocalcemie. Calcemia este însă o constantă a homeostaziei organismului uman și este reglată pe cale endocrină prin intermediul glandelor paratiroide.

Paratiroidele sunt glande endocrine indispensabile vieții deoarece hormonii lor contribuie la controlul homeostaziei serice a calciului și fosforului. Activitatea paratiroidiană este condiționată de nivelul concentrației sanguine a calciului ionizat, care acționează direct asupra glandei, determinând printr-un mecanism de feed-back stimularea secreției când calcemia are tendința de scădere și inhibarea secreției când calcemia crește [4].

Calcitonina acționează în final hipercalcemia, determinând: scăderea permeabilității membranei osteocitelor pentru calciu, împiedicând astfel trecerea calciului în lichidul extracelular, inhibiția activității osteoclastelor și reducerea numărului lor, inducând scăderea procesului de resorbție osoasă, stimularea eliminărilor renale de calciu și magneziu și formării calcitriolului la nivel renal.

Ca efect al carenței în vitamina D și al hiperparatiroidismului reacțional, osul rahitic suferă următoarele modificări: insuficiența de mineralizare a matricei proteice, formarea exuberantă de țesut osteoid care nu se mai mineralizează, țesutul osos exuberant și matricea osoasă insuficient mineralizată nu conferă suficientă duritate și astfel oasele se îndoaie sub greutatea corpului. Osul își pierde rigiditatea, extremitățile distale se lățesc și pot apărea chiar fracturi în formele grave de boală.

Factorii determinanți ai rahitismului sunt [5]:

- predispoziție familială: rahitism familial;
- vârsta sugarului și copilului mic: fenomenele rahitismului sunt caracteristice organismului în perioada de creștere intensivă;
- prematuritate: imaturitatea multor procese implicate în metabolismul vitaminei D, astfel ca suplimentarea cu vitamina D nu soluționează integral starea carențială;
- anotimpul rece, perioade reduse de timp însorit, zone climaterice temperate (transformarea insuficientă a provitaminei D din piele în metabolit activ antirahitic);
- maladii ale sistemului gastrointestinal: maladii diareice trenante, diaree cronică, sindrom de malabsorbție (dereglarea absorbției vitaminei D, calciului, fosforului), disfuncții biliare cu reducerea eliminării sărurilor biliare (absorbția insuficientă a vitaminei D);
- afecțiuni renale (insuficiența renală cronică cu dereglări a proceselor de sinteză a metaboliților activi antirahitici);
- tulburări endocrine (tratamente cu corticosteroizi);
- tratament cu fenobarbital în perioada neonatală și a sugarului (demineralizare osoasă rahitică la aport normal de vitamina D, care este inactivat de fenobarbital);
- îngrijire defectuoasă.

Cauzele rahitismului sunt determinate și de condițiile de mediu: lipsa de aer și lumină în orașele cu clădiri înalte, atmosfera încărcată cu gaze, praf, fum, vapori de apă etc.

Rahitismul chiar dacă este avansat nu expune viața copilului, dar predispune la îmbolnăviri mai frecvente și mai grave. În această boală există o infecție cronică a țesutului limfatic, tulburări circulatorii și de ventilație pulmonară. În plus, la copiii rahitici imunitatea este diminuată din cauza suferințelor generale ale organismului.

La copiii fără infecții rahitismul evoluează în câteva luni spre vindecare. Alteori în evoluția lui se observă recăderi, boala menținându-și evoluția pe o perioadă de 2-3 ani. Deci, factorii primari care declanșează apariția rahitismului sunt: formarea insuficientă a colecalciferolului la nivel cutanat, dereglarea metabolismului fosfo-calcic la nivelul ficatului, rinichilor, intestinului; aportul insuficient al vitaminei D cu alimentele.

Reieșind din cele relatate, scopul studiului a fost: evaluarea unor indici antropometrici și fiziologici la copiii cu rahitism.

Obiective de referință:

- evaluarea factorilor de risc ai rahitismului;
- monitorizarea indicilor antropometrici și fiziologici la copiii cu rahitism;
- propunerea unor măsuri de profilaxie a rahitismului.

Material și metode de cercetare

Cercetarea s-a realizat în câteva etape, ce diferă din punctul de vedere a metodologiei și al profunzimii investigațiilor. La etapa preliminară s-a efectuat documentarea pe marginea problemei abordate în literatura de specialitate, trasarea obiectivelor, apoi acumularea datelor și evaluarea parametrilor fiziologici. Ca obiect de studiu au servit copiii cu vârsta cuprinsă între 0 – 1 ani. Investigațiile au fost efectuate în Centrul Medicilor de Familie Strășeni. În investigații au fost incluși 16 copii cu diferit grad de rahitism. În cadrul studiului efectuat s-au aplicat metode de investigare antropometrice, biochimice și clinice de laborator.

Rezultatele investigațiilor

Starea de sănătate a individului este determinată de un număr de factori, inclusiv predispoziția genetică, stilul de viață, alimentația, situația socio-economică, accesul la o îngrijire medicală adecvată și mediul. O permanentă disponibilitate a resurselor mediului – aer, apă, alimente și adăpost - ca și condițiile climatice și socio-economice potrivite sunt premise ale sănătății și supraviețuirii. Totuși condițiile de mediu nu sunt întotdeauna optime și populația poate fi expusă unei varietăți de factori de mediu care pot afecta în mod negativ starea lor de sănătate. Aceste amenințări din partea mediului pot apărea ca urmare a cauzelor naturale sau activității omului.

Grija față de copii, față de sănătatea și educația lor constituie preocuparea majoră a familiei și a societății. Oriunde copiii și tinerii, prin ponderea lor demografică, cât și prin particularitățile lor biologice și de morbiditate, sunt grupa cu multiple roluri în existența și viitorul societății. Copiii și tineretul reprezintă pe glob o pondere de 36% din întreaga populație. Acestea, alături de particularitățile activităților lor principale – „școlarizarea” – condiționează și starea sănătății lor. Multe maladii ale adulților își încep evoluția la vârsta școlară, deoarece studiile în școală sunt îndelungate și cuprind toată populația. După datele unor autori, numărul copiilor sănătoși nu depășește 4 - 9% . În general, avansează maladiile cronice, mintale, sporește numărul copiilor cu tulburări adaptive, scad indicii dezvoltării fizice, ca urmare a noilor condiții social-economice. Reforma școlară, noile programe, fără a se lua în considerație sănătatea elevilor, s-a transformat într-un factor distructiv al sănătății.

Asupra sănătății acestora influențează negativ și alimentația nesatisfăcătoare, iar cele mai frecvente afecțiuni întâlnite sunt, în ultimii ani, anemiile feriprive.

Dezvoltarea fizică a copiilor - indice pozitiv al sănătății se poate determina cantitativ, prin unele măsurări antropometrice și prin stabilirea unor raporturi între diferite elemente ale organismului. Comparând acest proces în mod individual cu datele obținute la copiii sănătoși, putem depista diferite abateri și astfel deschidem calea în stabilirea și cunoașterea factorilor cauzali pentru a interveni asupra lor. Un copil cu întârziere în dezvoltarea somatoponderală va face față mai greu cerințelor vieții cotidiene, adaptarea e mai dificilă și solicită un efort mai mare, frecvent ducând la apariția proceselor morbide. Tot în această perioadă, apar și primele forme ale unor tulburări neuropsihice, în special, sub forma unor nevroze de suprasolicitare sau a unor distonii neurovegetative. Ele se tratează ușor, dacă sunt diagnosticate la timp și dacă, în rezolvarea lor, sunt antrenați factorii medicali, familia și copilul bolnav însuși [6].

Cunoașterea capacității adaptative a copiilor este importantă, deoarece prin depistarea timpurie - în faza incipientă și reversibilă a stărilor dezadaptive, se evită tulburările de caracter și dificultăți școlare, cât și stările care mai târziu ar putea să aibă influență negativă asupra organismului în general (psihosomatic). Depistarea lor implică, în mod necesar o analiză aprofundată a personalității fiecărui caz în parte - a condițiilor de viață în familie, școală și societate.

Soluționarea problemei copilăriei dificile are o însemnătate socială considerabilă, deoarece, potrivit datelor criminologiei, criminalitatea a întinerit, în bună parte, criminalii fiind din contingentul copiilor dificili. Varietatea etiologică a devierilor de comportament este legată de un număr mare de factori care acționează foarte complex, unii dintre ei țin de persoana copilului și de strămoșii lui, alții de condițiile de mediu, o a treia categorie de devieri este condiționată atât de mediu, cât și de ereditate.

Rahitismul are la bază o carență de vitamina D, vitamina esențială a mineralizării țesutului osos. Iar boala se poate manifesta la toți copiii care locuiesc în zonele temperate sau nordice, mai puțin însoțite sau ca particularitate: cu rata mare de poluare. Desigur, vitamina D este foarte importantă pentru țesutul osos mai ales în formare în perioada creșterii.

Rahitismul apare și se poate diagnostica de la vârsta de 3 - 6 luni, evoluând până la vârsta de 2 ani. După vârsta de 2 ani se poate vorbi, în special, despre consecințele și sechelele rahitismului. Unul din factorii care declanșează tulburarea metabolismului fosfo-calcic în fragedă copilărie este alimentația nerațională a femeii gravide: deficit de proteine, calciu, fosfor, vitaminele D, B₁, B₂, B₆. De asemenea, rahitismul mai frecvent se întâlnește la acei copiii, mamele cărora în timpul sarcinii s-au aflat puțin la soare, puțin s-au mișcat, sufereau de boli extragenitale etc. [7, 8].

În ultimii ani a crescut rolul factorilor perinatali în dezvoltarea rahitismului. În cadrul copiilor cu forme ușoară și medie-grea incluși în investigații 18,75% dintre ei s-au născut în urma celei de-a 3-5 sarcini. Nașteri pe fond de stimulenți sau prin intermediul operației cezariene s-a vizat la 68,75%; iar 12,5% dintre mame la momentul sarcinii aveau diverse patologii (fig. 1).

Fig. 1. Distribuția copiilor cu rahitism conform factorilor perinatali.

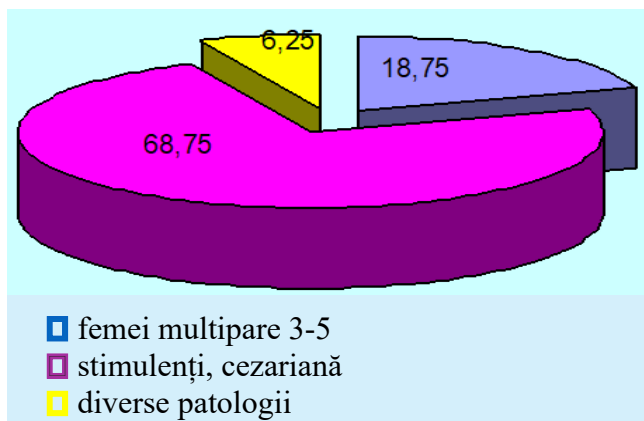
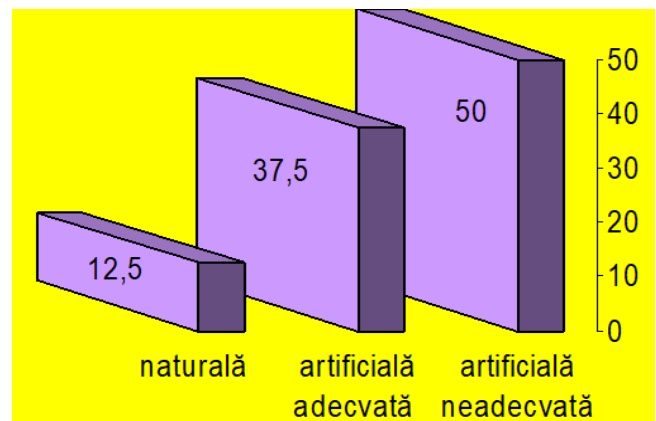


Fig. 2. Distribuția procentuală a copiilor conform modului de alimentație.



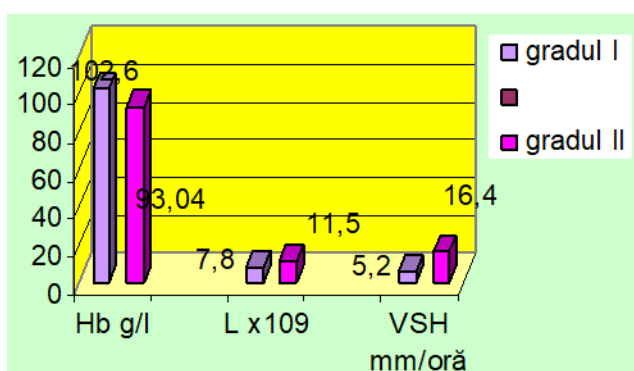
La momentul investigațiilor doar 12,5% din copii se aflau la alimentație naturală, ceilalți copii se aflau la alimentație artificială, dintre care 50% primeau lapte de vacă, chefir, produse de amestec lactat etc. (fig. 2).

Ținem să menționăm, că la toți copiii incluși în investigații cu rahitism și hipotrofie s-au estimat semne de encefalopatie perinatală, care se manifestă prin dereglări metabolice la nivelul creierului și se răsfrâng negativ asupra stării structural-funcționale a lui.

Rahitismul gradul I, cu perioada de debut a bolii de la 1 la 3-4 luni s-a constatat la 56,25% din copiii incluși în investigații. La ei s-a înregistrat sindromul de afectare a sistemului nervos central exprimat prin excitabilitate și hipertranspirații. Dintre simptome la marea majoritate din copii s-a vizat hipotonie musculară, paloare tegumentară, la 31,25% din ei s-a constatat alopecie occipitală.

Este cunoscut că pe lângă manifestările clinice au loc o serie de modificări și la nivelul indicilor sanguini periferici și biochimici. Astfel, la copiii cu rahitism gradul I (de debut) s-a constatat anemie feriprivă, vizată prin cantitatea de hemoglobină de $102,6 \pm 0,9$ g/l (fig. 3). Referitor la leucocite și viteza de sedimentare a hematiilor, indicii acestora s-au menținut în limitele normei (L - $7,8 \pm 0,4 \times 10^9$; VSH - $5,2 \pm 1,4$ mm/oră).

Fig. 3. Parametrii sângelui periferic.



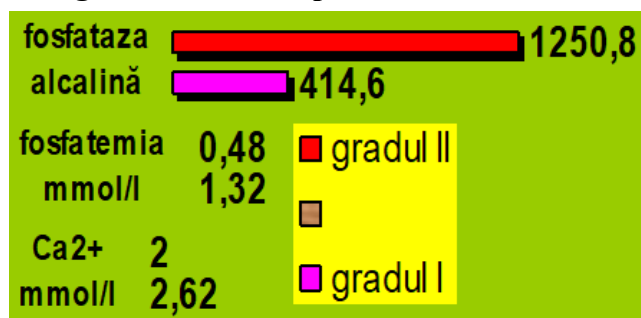
Fosfataza alcalină (ALP) este o enzimă ce face parte din clasa hidrolazelor (ortofosfomonoesterfosfohidrolaza) și este alcătuită, în principal, din trei forme izoenzimice (hepatobiliară, osoasă, intestinală), la care se adaugă în timpul sarcinii o formă tranzitorie (forma placentară). Această enzimă intervine în metabolismul calciului ceea ce ne-a determinat să evaluăm concentrația calciului, fosforului și fosfatazei alcaline la copii cu rahitism [9, 10].

Rezultatele analizelor biochimice au vizat valori

ușor sporite sau în limitele normei ale calciului 2,62-2,87 mmol/l (norma 2,37-2,62 mmol/l) și micșorarea nivelului de fosfor 1,32±0,34 mmol/l (norma 1,47-1,77 mmol/l) în plasma sanguină, iar nivelul fosfatazei alcaline este mărit de 414,6±34,22 UI, ceea ce vizează acidoză și denaturarea homeostazei la acești copii (fig. 4).

Gradul II și III (de stare) a rahitismului s-a estimat la 43,75% din copiii cu vârsta între 6 luni - 1,1 ani, la care s-au constatat dereglări neuro-musculare și vegetative. La copii, de asemenea, s-a observat hipodinamie, apatie, retard psihomotor, precum și modificări mai severe în tabloul clinic așa ca: craniotabes rahitic (osteomalacie) al oaselor craniene parieto-occipitale, flexibilitatea bordurilor fontanelei mari, deformări craniene, aplatizare occipitală, asimetria și proeminența boselor frontale, parietale, frunte „olimpiană”. La fel s-au estimat și unele modificări în regiunea trunchiului: torace rahitic manifestat prin deformarea cutiei toracice, cifoasă; la 1 din copii s-a depistat plămân rahitic ca consecință a deformării cutiei toracice; hipotonie musculară, întârzierea erupției dinților, întârziere staturo-ponderală. La 3 din copii s-au constatat modificări vădite în zonele de creștere a scheletului.

Figura 4. Variațiile parametrilor biochimici.



Evaluarea indiciilor sanguini periferici a determinat prezența anemiei feriprive (Hb - 93,04±1,22 g/l). Viteza de sedimentare a hematiilor a atins nivelul de - 16,4±2,5 mm/oră. La fel și numărul de leucocite s-a vizat sporit - 11,5±1,8x10⁹/l. Valorile sporite ale VSH și leucocitelor atestă rezistența redusă la infecțiile virale și bacteriene (reducerea fagocitozei). În rândul acestor copii 2 sufereau de boli bronhopulmonare repetate, 3 - de infecții ale sistemului urinar.

Analiza indicilor biochimici testați a constatat hipofosfatemie 0,48±0,03 mmol/l. Tot la acești copii s-a înregistrat hipocalcemie moderată 2,0±0,25 mmol/l și fosfataza alcalină sporită 1250,8±125,6 UI.

În ambele cazuri s-a înregistrat hipofosfatemie, numai că în forma de debut modificările sunt neînsemnate, perioada de hipofosfatemie având rol de reacție compensatorie, care determină dezintegrarea fosforului de la compușii organici. Acestea implică, în primul rând, fosfatidele membranei mielinice a nervilor, precum și acidul adenozin trifosforic (ATP) de la nivelul țesutului muscular. Demielinizarea determină predominarea proceselor de excitație, care mai apoi sunt înlocuite de inhibiție. Ca rezultat la nivelul țesutului muscular se dereglează metabolismul energetic și scade tonusul muscular; se micșorează sinteza proteinei ce leagă calciul și se reduce absorbția calciului la nivel intestinal, urmat de hipocalcemie și spălarea calciului din oase pentru menținerea normală a concentrației plasmatică.

La copiii cu rahitism de gradul II, III (de stare) s-au estimat modificări și ale indicilor antropometrici așa ca talia, masa corporală, perimetrul craniului și perimetrul cutiei toracice care vizează rămânerea în urmă a dezvoltării fizice vizualizate (figurile 5-6).

Despre semnele rahitismului ne atestă și dimensiunile fontanelei mari care la 1 an trebuie deja să fie închisă, însă la ei au variat în limitele 2,0 x 2,0 cm, iar la copiii cu rahitism gradul I dimensiunile fontanelor variaua între 1,0 x 1,0 cm.

Evident că toți copiii cu rahitism în dependență de gradul de severitate al bolii au urmat un tratament. Tratamentul curativ constă în administrarea de vitamina D în doze mult mai mari decât cele profilactice, eventual asociată cu administrarea de calciu. Tratamentul se efectuează individualizat, după patogenie și severitate. La fel parvin schimbări și în regimul de viață și alimentar. Se evită ridicarea precoce în poziția de șezut până la stabilirea bolii, ghete cu supinator plantar până la vârsta de 3 ani, iar deformările osoase după 3 ani necesită consultarea ortopedului. Formele ușoare și medii se tratează prin administrare de vitamina D 2000-4000 UI/zi, 6-8 săptămâni, cu revenire la dozele profilactice (în general 6 luni câte 1000 UI/zi). În formele severe cu hipocalcemie și malabsorbție se administrează câte 100 000 UI de vitamina D₂ sau D₃ în câte 3 doze la interval de 3 zile, apoi 200 000 UI după 30 zile. Dacă răspunsul este bun, după 30 de zile se trece la dozele profilactice: calciu 50-80 mg/kg/zi 3-4 săptămâni (forme comune), 6-8 săp-

tămâni (forme hipocalcemice). În hipocalcemii severe, după crize convulsive, calciul se administrează inițial în perfuzie endovenoasă, apoi Ca gluconic 10%/kg, zilnic, 6-8 săptămâni.

Figura 5. Variațiile indicilor antropometrici.

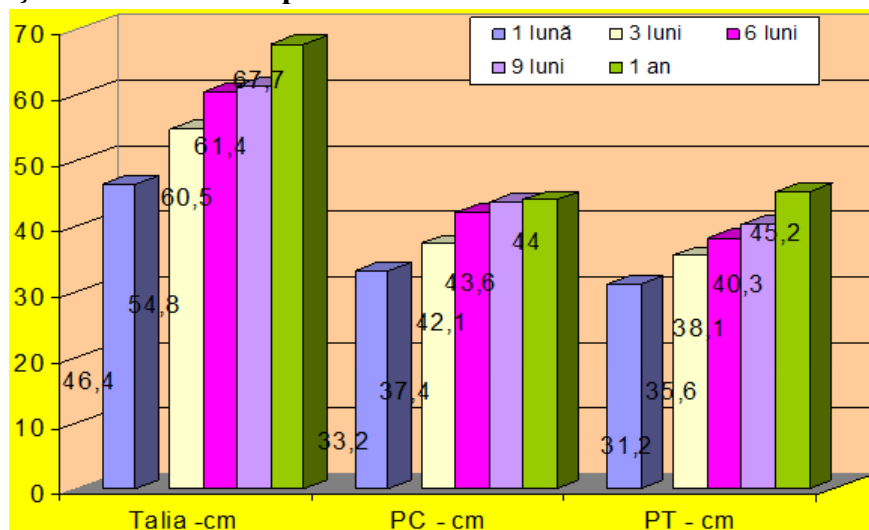
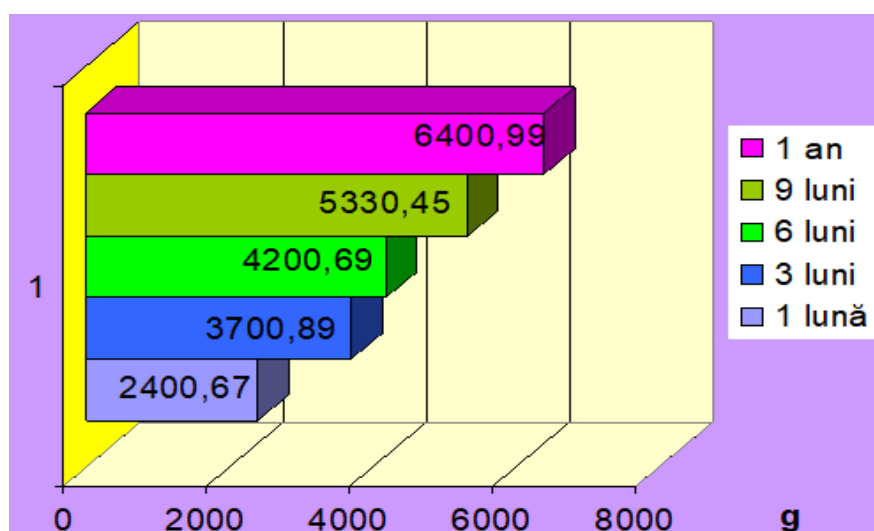


Figura 6. Variațiile masei corporale în dinamică la copiii cu rahitism grad II.



După aplicarea tratamentului în perioada de reconvenșență la toți copiii s-a observat o ameliorare a stării generale a organismului, dispariția dereglărilor neurovegetative: normalizarea somnului, dispariția sindromului sudoripar, normalizarea tonusului muscular, dar mai persistau modificările la nivelul oaselor. Tratamentul aplicat în perioada de stare este mai complex și perioada de reconvenșență e mai îndelungată. Astfel, au fost îmbunătățite funcțiile statice, se constată îmbunătățirea indicilor biochimici, s-au format noi reflexe, însă hipotrofia musculară și deformările scheletului se mai păstrează o perioadă îndelungată.

Măsurile profilactice în rahitism includ măsuri prenatale și postnatale. Măsurile profilactice prenatale prevăd [11, 12] că alimentația femeii gravide va fi variată și echilibrată cu toate principiile nutritive atât de origine animală, cât și vegetală.

Este cunoscut, că rația zilnică a femeii gravide trebuie să fie de 2300 și 3300 calorii. Această rație variază, bineînțeles, în dependență de activitate, factorii climaterici, starea de nutriție premergătoare sarcinii și vârsta femeii.

Când gravida are tendința la obezitate, reducerea alimentației nu se va face niciodată pe seama proteinelor, ci numai pe seama glucidelor și lipidelor. Iar pentru a exclude apariția rahitismului este important de a include în rația alimentară proteinele și sărurile minerale.

Tot pentru a asigura o dezvoltare normală copilului, inclusiv o bună osificare, viitoarea mamă trebuie să ducă o viață ordonată, liniștită cu muncă obișnuită. Îi sunt interzise muncile grele, obositoare, ridicarea greutăților, folosirea vehiculelor care zdruncină, trepidațiile, săriturile etc. care o pot expune la nașterea prematură ceea ce poate crește predispoziția copilul la rahitism [13]. Pentru că dezvoltarea copilului nu depinde doar de alimentație și ocupația mamei, ci și de starea ei de sănătate, viitoarea mamă trebuie să se prezinte regulat la controlul medical, să efectueze analizele prescrise și să urmeze întocmai sfaturile medicului specialist.

Profilaxia medicamentoasă la gravidă se poate efectua prin două metode:

- continuu din luna a 7-a, zilnic 500 UI/zi oral vitamina D, care se mărește până la 1.000 UI/zi când alimentația este necorespunzătoare, poluare, anotimp neînșorit etc.;
- discontinuu, câte 200 000 UI de vitamina D oral la începutul lunii a 7-a și în luna a 9-a la interval de minim 45 de zile.

Măsurile profilactice postnatale atestă, că nevoile fiziologice de vitamină D sunt de 400 UI/zi sub formă de vitamina D₂ – ergocalciferol, care este conținută în alimente ca laptele fortificat, ficat, untură de pește, gălbenuș de ou, sardine, scrumbii, morcov și vitamina D₃ – colecalciferol, care se formează din colesterol prin hidroxilare dublă în ficat și triplă în rinichi, sub acțiunea calciului din dietă și a parathormonului. La prematuri și la copii cu condiții de mediu neprielnice, nevoile cresc până la 1000 UI/zi.

Profilaxia postnatală începe din săptămâna a doua și continuă până la 1 an, administrându-se zilnic 500 UI oral, iar între 1 an și 2 ani doar în anotimpul rece. La copii cu risc sporit doza este între 500 și 1000 UI/zi.

Schema discontinuă prevede administrarea unei doze de 200 000 UI/zi în prima săptămână, la 2 luni, 4 luni, 6 luni injectabil, apoi pe cale orală la a 9-a, 12-a, 18-a și 24-a lună.

Se asociază calciu gluconic în serii de 10 fiole per os. Între 2 și 6 ani se administrează câte 200 000 UI în lunile reci. La școală se administrează anual una sau două doze a câte 200000 UI.

La naștere, copilul trece la condiții cu totul noi, care cer un efort de adaptare din partea întregului organism. Din această cauză el trebuie alimentat și acomodat cu grijă la noile condiții de viață. Aerul, lumina, mișcarea și alimentația în concordanță cu etapele dezvoltării sunt factorii indispensabili dezvoltării și bunei funcționari ai întregului organism. Aceștia fiind factorii cei mai importanți în combaterea rahitismului.

Se recomandă ca odaia să fie luminoasă, înșorită, ușor de aerisit, patul copilului se poziționează în colțul cel mai luminos al camerei. În sezonul rece camera trebuie încălzită moderat între 22^o - 24^o C. Foarte importante pentru a preveni rahitismul sunt plimbările în aer liber. Acestea vor fi cât mai prelungite mai ales în centrele aglomerate, sau în cazul spațiului locativ mic. Adaptarea copilului se face în felul următor:

- dacă copilul s-a născut primăvara sau vara, el va fi scos la două săptămâni după naștere și ținut afară 20-30 minute, prelungindu-se treptat în zilele următoare, iar în sezonul calduros, copilul poate petrece cea mai mare parte a zilei afară;

- dacă s-a născut iarna, copilul se scoate numai după 2-3 săptămâni de la naștere, în funcție de temperatura aerului, dar numai după ce a fost acomodat cu aerul rece;

- copilul se îmbracă adecvat, apoi se ține în fața geamului deschis 2-3 minute crescând progresiv până la 10-20 minute/zi. Nu se scoate copilul în zilele cu vânt, ploaie, ninsoare sau lapoviță, ger sub -10^o C.

Prin urmare, helioterapia este cel mai fiziologic mijloc de combatere a rahitismului [7, 11, 14].

Concluzii

- Factorii declanșatori ai rahitismului sunt: formarea insuficientă a colecalciferolului la nivel cutanat, dereglarea metabolismului fosfo-calcic la nivelul ficatului, rinichilor, intestinului și aportul insuficient al vitaminei D cu alimentele.

- În ultimii ani a crescut rolul factorilor perinatali în dezvoltarea rahitismului. Din copiii incluși în investigații 18,75% s-au născut la femei multipare (în urma celei de-a 3-5 sarcini); 68,75% - în urma nașterilor pe fond de stimulenți sau prin intermediul operației cezariene și 12,5% la care mamele la momentul sarcinii aveau diverse patologii.

- La copiii cu rahitism gradul I (de debut) s-a constatat anemie feriprivă, vizată prin reducerea nivelului de hemoglobină până la 102,6±0,9 g/l, iar leucocitele și viteza de sedimentare a hematiilor au rămas în limitele normei (L - 7,8±0,4x10⁹/l; VSH - 5,2±1,4 mm/oră).

- La copiii cu rahitism grad I s-au înregistrat valori ușor sporite sau în limitele normei ale calciului 2,62-2,87 mmol/l și micșorarea nivelului de fosfor 1,32±0,34 mmol/l în plasma sanguină. Fosfataza alcalină s-a constatat mărită 414,6±34,22 UI, ceea ce denotă acidoză și denaturarea homeostazei la acești copii.

- La copiii cu rahitism gradul II-III s-a estimat anemie feriprivă (Hb 93,04±1,22 g/l); viteza de sedimentare a hematiilor sporită - 16,4±2,5 mm/oră; numărul de leucocite mărit 11,5±1,8x10⁹/l, ceea ce atestă rezistența redusă la infecțiile virale și bacteriene.

- La copiii cu rahitism gradul II-III s-au constatat hipofosfatemie 0,48±0,03 mmol/l; hipocalcemie moderată 2,0±0,25 mmol/l și fosfataza alcalină sporită 1250,8±125,6 UI.

- La copiii cu rahitism de gradul I la un an de zile s-a determinat fontanela mare care la această vârstă trebuie deja să fie închisă, dimensiunile s-au constatat de 1,0 x 1,0 cm, iar la copiii cu rahitism gradul II - III dimensiunile fontanelei mari au fost de 2,0 x 2,0 cm.

- Profilaxia rahitismului include două forme: antenatală și postnatală. Profilaxia antenatală include măsuri nespecifice pentru toate femeile însărcinate: mod activ de viață, alimentație rațională, în ultimul trimestru de sarcină administrarea de vitamina D – 500 UI pe zi. Profilaxia postnatală include măsuri nespecifice: un regim echilibrat și măsuri specifice: administrarea de vitamina D – 500-700 UI/zi începând cu ziua a 7-a, a 10-a de viață a copilului, pe o durată de 24 luni.

Referințe:

1. МАЛЬЦЕВ С. В. *Клинические дискуссии о рахите. Журнал Педиатрия*, №4, 2008, с. 120-123.
2. BACALOV, Iu., BACALOV I. *Vitaminologie* (suport de curs). Chișinău: CEP USM, 2014, 110 p. ISBN 978-9975-71-565-2.
3. MOGOS V. *Alimentația în bolile de nutritive și metabolism*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 2002. p. 9-58.
4. ЩЕПЛЯГИНА Л. А., МОИСЕЕВА Т. Ю., БОГАТЫРЕВА А. О. и соавт. *Витаминноминеральная коррекция костного метаболизма детей. РПЖ*, №4., 2001, с. 43-46.
5. КРУТИКОВА Н. Ю., ЩЕПЛЯГИНА Л. А., КОЗЛОВА Л. В. *Особенности костного метаболизма новорожденных детей. РПЖ*, №3., 2006, с. 16–21.
6. HĂBĂȘESCU I. *Igiena copiilor și adolescenților*. Centrul Editorial-Poligrafic Medicina, Chișinău, 2009, 475 p.
7. MOGOREANU P. *Profilaxia și tratamentul bolilor nutriționale ale copiilor*. Chișinău, 2002, p. 9-58.
8. VOLOC A., ȚURCAN V., ROTARI A. *Particularități clinice de diagnostic și tratament a stărilor hipocalcemice la copii. Buletin de perinatologie*, №4, 2008, p. 38-44.
9. БАРАНОВ А. А. *Возрастные особенности изменения биохимических маркеров костного моделирования у детей. Российский педиатрический журнал*, 2002, с. 3-12.
10. БЫСТРИЦКАЯ Т. С., ВОЛКОВА Н. Н. *Некоторые показатели фосфорнокальциевого обмена при нормальной и осложненной гестозами беременности. Акушерство и гинекология*, №4, 1999, с. 20–21.
11. СТЕКНИКОВА О. В., ЛЕВЧУК Л. В. *Физиологическая роль Са и витамина Д. Вопросы современной педиатрии*, Т. 9, №2, 2010, с. 141-145.
12. ЩЕПЛЯГИНА Л. А., МОИСЕЕВА Т. Ю. *Кальций и развитие кости. РПЖ*, №2., 2002, с. 34–36.
13. COJOCARI L., CRIVOI A. *Fiziologia etativă*. Curs de lecții, Editura CEP USM, Chișinău, 2012, 228 p.
14. CIOFU E. *Pediatrie tratat*. – București, Editura Națională, 2001, 347 p.

Date despre autori:

Iurie BACALOV, doctor în științe biologice, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-1651-9056

E-mail: iurabacalov@mail.ru

Lidia COJOCARI, doctor în biologie, conferențiar universitar, Universitatea Pedagogică de Stat „Ion Creangă” din Chișinău.

ORCID: 0000-0001-8238-9627

E-mail: lidiac@mail.ru

Aurelia CRIVOI, doctor habilitat, profesor universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-1917-1278

E-mail: crivoi.aurelia@mail.ru

Elena CHIRIȚA, doctor în științe biologice, conferențiar cercetător, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-9717-8133.

E-mail: chiritaelena30@gmail.com

Adriana DRUȚA, master în științe biologice, cercetător științific, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5961-6518

E-mail: druta.adriana@yahoo.com

Prezentat la 04.03.2024

CZU: 633.88:[712.28:58](478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_07](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_07)

ASTERACEE MEDICINALE ALOHTONE INTRODUSE ȘI CERCETATE ÎN GRĂDINA BOTANICĂ NAȚIONALĂ (INSTITUT) „AL. CIUBOTARU”

Nina CIOCĂRLAN,

Universitatea de Stat din Moldova

Articolul prezintă date despre specii medicinale alohtone din familia Asteraceae introduse și cercetate în Grădina Botanică Națională (Institut) „Al. Ciubotaru”, USM (Colecția Plante Medicinale), dinamica de creștere a numărului de taxoni în ultimele două decenii. În perioada 2003-2023 colecția a fost îmbogățită cu 32 de taxoni noi din familia Asteraceae obținuți prin schimbul internațional de semințe (Index Seminum). Este prezentată lista speciilor cu denumirile științifice, arealul de răspândire, instituția și anul obținerii sursei de germoplasmă, informații despre utilizări și efecte terapeutice. Cel mai mare număr de taxoni investigați au un potențial înalt de adaptare la condițiile locale cu perspectivă de valorificare în sectorul economic.

Cuvinte-cheie: *Asteraceae, plante medicinale, colecții ex-situ, Index Seminum, mobilizare.*

ALLOTHONOUS MEDICINAL ASTERACEAE SPECIES INTRODUCED AND STUDIED IN THE NATIONAL BOTANICAL GARDEN (INSTITUTE) „AL. CIUBOTARU”

The article presents data on allochthonous medicinal species from the Asteraceae family introduced and studied in the National Botanical Garden (Institute) „Al. Ciubotaru”, USM (Collection of Medicinal Plants), the growth dynamics of the number of taxa in the last two decades. In the period 2003-2023 the collection was enriched with 32 new taxa from the Asteraceae family obtained through the international exchange of seeds (Index Seminum). The list of species with their scientific names, distribution area, institution and year of obtaining the germplasm source, information on uses and therapeutic effects is presented. The largest numbers of investigated taxa have a high adaptive potential to local conditions with a perspective of exploitation in the economic sector.

Keywords: *Asteraceae, medicinal plants, ex-situ collections, Index Seminum, mobilization.*

Introducere

Familia Asteraceae Bercht. & J. Presl (Compositae) este una dintre cele mai numeroase și diverse familii de angiosperme care include 1676 de genuri [1] și aproximativ 24.000 de specii distribuite în întreaga lume [2].

Familia Asteraceae include plante anuale sau perene, subarbuști sau arbuști, rareori arbori sau liane. Tulpini, de obicei, erecte, uneori prostrate până la ascendente. Frunze adesea situate în rozetă bazală; frunzele caulinare alterne, mai rar opuse sau spiralate, sesile sau pețiolate; limbul foliar întreg până la lobat sau sectat. Flori mici, bisexuate, situate în capitule terminale sau axilare, de obicei pedunculat, înconjurate de involuclu. Capitulele sunt solitare sau corimbiforme, mai rar în formă de racem. Fructe – achene [1, 3].

Majoritatea speciilor din familia Asteraceae au aplicații terapeutice fiind utilizate în medicina populară ca remedii curative de secole. Studii farmacologice demonstrează activitatea antioxidantă, hepatoprotectoare, antiinflamatoare, antidiabetică, hipoglicemiantă, gastroprotectoare, antitumorală, imunomodulatoare, antihelmintică, antimicrobiană, precum și proprietăți diuretice și de vindecare a rănilor [4-6]. Efectele terapeutice se atribuie unei game variate de compuși biologic activi, inclusiv uleiuri esențiale, lignane, saponine, steroli, polizaharide, polifenoli, acizi fenolici, flavonoizi, lactone sesquiterpenice, acetilene, triterpene etc. [4, 6]. Pe lângă proprietățile terapeutice incontestabile, unele dintre aceste specii și-au găsit aplicații în industria cosmetică și alimentară fiind surse valoroase de proteine, inulină, fibre, vitamine, micro- și macroelemente [4, 7, 8]. În pofida potențialului terapeutic și industrial al multor Asteraceae, un număr mare de specii rămân în continuare neexplorate și insuficient cercetate.

În Colecția de Plante Medicinale din cadrul Grădinii Botanice Naționale (Institut) „Al. Ciubotaru” (GBNI) a USM, familia Asteraceae este reprezentată de 61 specii cu proprietăți terapeutice, inclusiv plante cu valoare alimentară, tinctorială, meliferă [9].

Obiectivul acestui studiu a fost mobilizarea continuă a fondului genetic de plante noi cu proprietăți curative din familia Asteraceae, evaluarea mecanismelor de adaptare în condițiile pedoclimatice ale Republicii Moldova în vederea diversificării sortimentului de plante medicinale cultivate cu potențial de valorificare la nivel local.

Materiale și metode

Cercetările au fost realizate în perioada 2003-2023. Obiecte de studiu au servit 32 specii de plante cu proprietăți terapeutice din familia Asteraceae introduse în Colecția de Plante Medicinale din cadrul GBNI. Mobilizarea resurselor genetice ale plantelor medicinale din familia Asteraceae s-a realizat prin schimbul internațional de semințe (Index Seminum). La selectarea speciilor s-au luat în considerare informațiile despre acțiunea farmacologică a plantelor și spectrul de utilizări obținute în baza unui studiu amplu al literaturii de specialitate. Testarea capacității germinative a semințelor obținute prin schimbul internațional s-a realizat în laborator (Cești Petri) și în condiții de seră utilizând palete alveolare și diverse tipuri de substrat. Cercetările în vederea aclimatizării și introducerii taxonilor noi s-au efectuat în Sectorul Experimental al GBNI. Înființarea loturilor experimentale, studiul particularităților biologice și mecanismelor de adaptare ale plantelor în condiții ex situ s-au realizat conform metodologiei general acceptate în domeniu [10]. Nomenclatura taxonilor este dată conform lucrărilor floristice contemporane [11, 12] și rețele internaționale de date: Plants of the World Online [1], The World Flora Online [13], International Plant Names Index (IPNI) [14].

Rezultate și discuții

În perioada 2003-2023 în cadrul activităților de mobilizare a genofondului de plante utile, Colecția de Plante Medicinale din cadrul GBNI a fost completată cu 32 de taxoni alohtoni din familia Asteraceae cu apartenență la 19 genuri, ceea ce constituie 50% din numărul total de Asteraceae medicinale existente în colecție. Taxonii (specii, varietăți, forme, cultivaruri) noi provin din semințe obținute prin intermediul schimbului internațional (Index Seminum) cu 23 de Grădini Botanice și alte instituții științifice de profil din străinătate. În tabelul 1 este prezentată lista speciilor cu denumirile științifice, arealul nativ de răspândire, instituția și anul obținerii sursei de germoplasmă, precum și informații despre utilizări și efecte terapeutice.

Tabelul 1. Asteraceae medicinale introduse în Grădina Botanică Națională prin Sistemul Internațional Index Seminum (2003-2023).

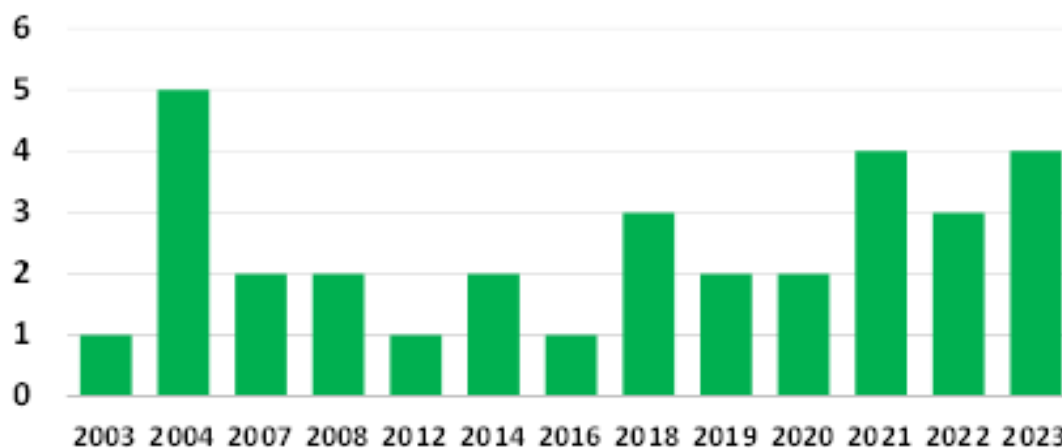
Nr. d/o	Denumirea științifică	Arealul de răspândire	Proveniența		Efecte terapeutice
			instituția științifică	anul	
1	<i>Achillea filipendulina</i> Lam.	Turcia, Asia Centrală, Pakistan	Grădina Botanică a Universității din Padova, Italia	2003	antiinflamator, antispasmodic, cicatrizant, antiseptic, antibacterian, antiviral, antifungic, (afecțiuni digestive, hemoroizi, dureri de cap, afecțiuni cardiovasculare) [15]
2	<i>Artemisia dracuncul</i> L.	Europa de Est, Asia, America de Nord	Grădina Botanică a Universității din Szeged, Ungaria	2004	antibacterian [15], aperitiv, antiscorbutic, emenagog, febrifug, antiinflamator, cicatrizant, restorativ, carminativ, sedativ, antispastic, diuretic, antihelmintic, tonic [16, 17]
3	<i>Silybum marianum</i> (L.) Gaertn.	regiunea mediteraneană, Asia Centrală, India, Etiopia	Grădina Botanică din Duisburg, Germania	2004	hepatoprotector, antioxidant, antiinflamator, imunomodulator, antitumoral, antiviral, antipiretic, carminativ, depurativ, diuretic, colagog, diaforetic, emetic, emenagog, stomachic, tonic [16, 17]

4	<i>Echinacea purpurea</i> (L.) Moench.	partea centrală și de est a Statelor Unite ale Americii	Grădina Botanică din Duisburg, Germania	2004	imunomodulator, antiinflamator, antibacterian, antiviral psihoactiv, antifungic, antioxidant [17, 18], tonic al sistemului limfatic, antitumoral, adaptogen, depurativ, digestiv, antiseptic, diaforetic [16, 17]
5	<i>Cynara scolymus</i> L.	Macaronezia, regiunea Mediteraneană	Grădina Botanică din Duisburg, Germania	2004	coleretic, hepatoprotector, diuretic, hipocolesterolemiant, antioxidant, antireumatic, colagog, digestiv, hipoglicemiant [16]
6	<i>Calendula officinalis</i> L.	vestul regiunii mediteraneene, Spania	Grădina Botanică din Duisburg, Germania	2004	antiinflamator, antiseptic, coleretic, antispastic, hipotensiv, sedativ [17]
7	<i>Helichrysum italicum</i> (Roth.) G. Don	partea centrală și de est a regiunii mediteraneene	Grădina Botanică Grugapark, Essen, Germania	2007	antioxidant, antiinflamator, anticancerigen, antiviral, antimicrobian, insecticid, antiparazitar [19]
8	<i>Echinacea tenesseeensis</i> (Beadle) Small	Tennessee	Grădina Botanică a Universității din Bratislava, Slovacia	2007	imunomodulator [20]
9	<i>Echinacea angustifolia</i> DC.	vestul Canadei, nordul și centrul SUA	Grădina Botanică a Universității din Poznan, Polonia	2008	adaptogen, alterativ, antiseptic, depurativ, digestiv, diaforetic [16]
10	<i>Grindelia robusta</i> Nutt.	America subarctică până la SUA	Grădina Botanică Hohenheim din Stuttgart, Germania	2008	antitusiv, antiastmatic, expectorant, sedativ [16, 21], antispastic, balsamic, demulcent, stomachic, tonic vascular [16]
11	<i>Stevia rebaudiana</i> (Bertoni) Bertoni	Brazilia, Paraguay	Centrul de Cercetare a Resurselor de Plante Medicinale Ibaraki, Japonia	2012	antimicrobian, antioxidant, antiinflamator [22], imunomodulator antihiper-glicemic, insulinotrop, edulcorant [23], tonic general, fortifiant [17].
12	<i>Chrysanthemum boreale</i> (Makino) Makino	China, Coreea de Sud, Japonia	Grădina Metropolitană de Plante Medicinale din Tokyo, Japonia	2014	antibacterian, antiinflamator, citotoxic, antiviral, antioxidant [24].
13	<i>Artemisia abrotanum</i> L.	Spania, Italia	Grădina Botanică a UMF, Târgu Mureș, România	2014	antibacterian, antifungic, antioxidant, anticancer, antialergic [25], tonic, antihelmintic, diuretic, hemostatic, diaforetic, restorativ [15]
14	<i>Echinacea purpurea Alba</i>	Partea centrală și de est a SUA	Grădina Botanică a Universității din Tübingen, Germania	2016	imunomodulator, antiinflamator, psihoactiv, antioxidant, antibacterian, antifungic, antiviral [18]
15	<i>Tanacetum parthenium</i> (L.) Sch. Bip.	sud-estul Europei până în Himalaya de Vest	Grădina Botanică Jurasica, Porrentruy, Elveția	2018	antiinflamator, stimulent uterin, vasodilatator, antireumatic, febrifug, digestiv amar, antihelmintic, antibacterian, cardio-tonic, antispastic, antitumoral [17, 26]

16	<i>Tanacetum parthenium</i> (L.) Sch. Bip. <i>Snow Crown</i>	sud-estul Europei până în Himalaya de Vest	GB „P. Covaci” a Universității „Vasile Goldiș”, Arad, România	2018	antiinflamator, cardi tonic, antispastic, antitumoral [17]
17	<i>Tanacetum balsamita</i> L.	estul Mediteranei, Crimeea, Iran	Grădina Botanică, Institutul din Ufa, Rusia	2018	hepatoprotector, antialergic, tonic, sedativ, cardi tonic, insecticid [27]
18	<i>Achillea odorata</i> L.	Franța, Spania, Maroc, Algeria	Grădina Botanică din München, Germania	2019	analgezic, antiinflamator, antioxidant [28]
19	<i>Chrysanthemum zawadzkii</i> Herbich	Europa de Est și Centrală, Asia temperată	Grădina Botanică, Institutul din Ufa, Rusia	2019	antipiretic, antiinflamator, hepatoprotector [29]
20	<i>Artemisia genipi</i> Weber ex Stechm.	Europa Centrală	Grădina Botanică Alpină din Rezia, Italia	2020	febră, oboseală, dispepsie și infecții respiratorii, vindecarea rănilor și vânătăilor [30], aromatic, pentru producerea de lichioruri care stimulează apetitul, favorizează digestia
21	<i>Echinops orientalis</i> Trautv.	Turcia, Iran	Grădina Botanică Alpină din Rezia, Italia	2020	antioxidant [31]
22	<i>Matricaria discoidea</i> DC.	America subarctică, SUA	Grădina Botanică a Universității din Caen, Franța	2021	astringent, antiinflamator, antiseptic [17]
23	<i>Helenium amarum</i> (Raf.) H. Rock	centrul și sudul SUA, Mexic, Caraibe	Grădina Botanică a Universității din Riga, Letonia	2021	antiinflamator, expectorant [16], analgezic [32]
24	<i>Achillea grandifolia</i> Friv.	Europa de Sud-Est, Turcia	Grădina Botanică a UMF, Targu Mures, Romania	2021	antioxidant, antimicrobian [33]
25	<i>Helenium aromaticum</i> (Hook.) L. H. Bailey	Chile, partea de Nord și Centrală	Grădina Botanică a Universității din Zurich, Elveția	2021	bactericid, de întărire a capilarelor, antitumoral
26	<i>Ageratina aromatica</i> (L.) Spach	estul Statelor Unite ale Americii	GB a Universității „Al. I. Cuza”, Iași, România	2022	antispastic, diaforetic, diuretic și expectorant [16]
27	<i>Helichrysum luteoalbum</i> (L.) Rchb	Eurasia	Grădina Botanică „Vasile Fati”, Jibou, România	2022	diuretic, hemostatic, antipiretic, pentru tratamentul tusei și ameliorarea durerii [34]
28	<i>Chamaemelum nobile</i> (L.) All.	Azore, Europa de Vest spre nord-vestul Africii.	Grădina Botanică a Universității din Wrocław, Polonia	2022	antibacterian, antifungic, insecticid, hipotensiv, antiinflamator, hipoglicemiant, antioxidant, nervos, citotoxic, brohodilatator, endocrin [35]

29	<i>Acmella oleracea</i> (L.) R. K. Jansen	Brazilia de Sud-Est	Grădina Botanică Bonn, Germania	2023	anticonvulsivant, antiinflamator, analgezic, diuretic, vasodilatator, antimalaric, antioxidant, afrodisiac, imunomodulator, insecticid [36]
30	<i>Ageratina altissima</i> (L.) R. M. King & H. Rob.	estul Canadei până în SUA	Grădina Botanică din Tübingen, Germania	2023	diaphoretic, diuretic, febrifug, stimulant, tonic [16]
31	<i>Urospermum dalechampii</i> (L.) F. W. Schmidt	partea de vest și centrală a regiunii mediteraneene	Grădina Botanică Montpellier, Franța	2023	antioxidant, antiinflamator, analgezic, antipiretic, antimicrobian, antibacterian [37]
32	<i>Anacyclus pyrethrum</i> (L.) LAG.	Spania, Maroc, Algeria.	Arboretul Humboldt, Berlin, Germania	2023	afrodisiac, imunostimulator, antidepresiv, antimicrobian, analgezic, cicatrizant, antiinflamator, anticonvulsivant, antioxidant, stimulator de memorie [38]

Fig. 1. Dinamica de creștere a numărului de taxoni (2003-2023).



Cel mai mare număr (20 de taxoni) îl constituie asteraceele erbacee perene, cele anuale și bienale numără 10 taxoni, constituind 31,2% din numărul total de taxoni introduși. Dinamica de creștere a numărului de taxoni pe ani este redată în figura 1. Inventarul speciilor introduse include, atât plante bine cunoscute utilizate pe larg în medicina populară și cea modernă: *S. marianum*, *H. amarum*, *E. purpurea*, *T. parthenium*, *C. scolymus* (Fig. 2), *C. officinalis*, *H. italicum*, *S. rebaudiana*, *T. balsamita*, *A. dracunculus*, *A. abrotanum*, cât și plante insuficient studiate, dar promițătoare din punct de vedere terapeutic: *Ch. zawadzki*, *A. grandifolia*, *H. aromaticum*, (Fig. 2), *E. tennesseensis*, *A. genipi*, *A. odorata*, *E. orientalis*, *A. aromatica*, *A. altissima*. Unele specii de Asteraceae (*S. marianum*, *C. officinalis*, *E. purpurea*, *H. italicum*, *S. rebaudiana*, *C. scolymus*) prezente în colecție sunt deja utilizate la scară industrială și au tehnologii de cultivare bine dezvoltate. Studiile asupra speciilor anuale și perene noi din familia Asteraceae au permis realizarea unei evaluări cuprinzătoare a potențialului biologic, ecologic și productiv al plantelor. Indicatorii stabilității plantelor în cultură și perspectivele acestora au fost prezența înfloririi și a fructificării periodice, capacitatea de propagare pe cale vegetativă și generativă, rezistența la temperaturi scăzute și secetă. Observațiile în teren au permis stabilirea ritmurilor sezoniere de creștere și dezvoltare, particularitățile înmulțirii vegetative și generative, rezistența plantelor la boli și dăunători, fapt ce a permis evaluarea succesului introducerii și a perspectivelor de cultivare a noilor specii medicinale din familia Asteraceae în condițiile Republicii Moldova. Au fost identificate specii de Asteraceae perene cu potențial adaptiv înalt la condițiile locale: *A. abrotanum*, *A. grandifolia*, *A. filipendulina*, *T. parthenium*, *C. nobile*, *A. altissima*. În condiții de cultură

experimentală plantele înregistrează valori ai parametrilor morfologici mai mari decât la plantele din habitate naturale. Plantele trec printr-un ciclu complet de vegetație, sunt rezistente la boli și dăunători, se înmulțesc cu succes, atât pe cale vegetativă, cât și generativă. La unele dintre speciile introduse a fost observat procesul de reînnoire a culturii din seminț, fapt care demonstrează că conservarea lor în condiții ex-situ este stabilă și de perspectivă.

Plantele anuale și bienale (*H. aromaticum*, *H. amarum*, *S. marianum*, *G. robusta*, *M. discoidea*, *H. luteoalbum*, *A. oleracea*) reușesc să realizeze complet etapele ciclului de viață cu formarea semințelor viabile cu rată înaltă de germinare. Valorile indicatorilor de creștere și dezvoltare în condiții ex situ sunt încurajatoare, demonstrând perspectiva de cultivare pe scară largă.

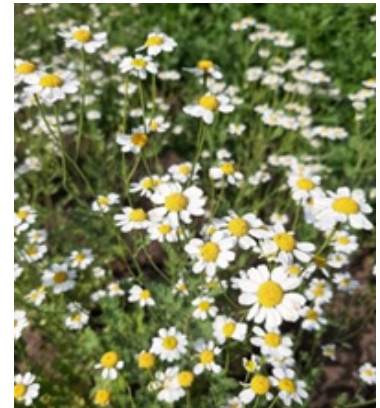
Fig. 2. Asteracee medicinale din colecțiile Grădinii Botanice Naționale.



Cynara scolymus



Helenum amarum



Tanacetum parthenium



Achillea grandifolia



Helenum aromaticum



Ehinacea purpurea



Grindelia robusta



Silybum marianum



Chrysanthemum zawadzki

Speciile *A. dracunculus*, *A. odorata*, *T. balsamita*, *E. orientalis*, *E. angustifolia* au fost evaluate ca specii cu un grad mediu de adaptabilitate din mai multe motive: reproducere generativă nesatisfăcătoare (*A. odorata*, *U. dalechampii*), valori mici ai parametrilor morfologici (*E. angustifolia*), starea generală a plantelor și rezistență scăzută la boli și dăunători care provoacă pierderi semnificative de biomasă și deteriorarea calității acestora cum este în cazul speciilor *A. dracunculus*, *A. odorata*, *T. balsamita*.

Unele dintre asteraceele introduse în colecție (*Ch. boreale*, *Ch. zavadzki*, *A. genipi*, *E. tennesseensis*) aparțin grupului cu grad scăzut de adaptabilitate la condițiile pedoclimatice locale. Se caracterizează prin înflorire și fructificare neperiodică, plantele nu tolerează temperaturile scăzute, iar în anii cu perioade de secetă îndelungată nu ating faza de maturitate deplină a semințelor.

În baza rezultatelor cercetărilor de introducere realizate în decursul mai multor perioade de vegetație, cel mai mare număr de taxoni investigați se estimează a fi de perspectivă și stabili în cultură. Capacitatea de creștere și dezvoltare în condiții noi, realizarea fazei generative, capacitatea de reproducere și reînnoire prin semințis indică perspectiva de cultivare pe arii extinse și potențialul de valorificare al acestora la nivel local. Numărul mare de Asteraceae noi cu potențial înalt de adaptare la condițiile pedoclimatice ale Republicii Moldova vine să diversifice sortimentul de plante medicinale cultivate, reprezentând surse importante de materii prime pentru sectorul de producere a preparatelor farmaceutice. De rând cu valoarea terapeutică, unele dintre Asteraceele cercetate (*E. purpurea*, *T. parthenium*, *T. parthenium* Snow Crown, *Ch. zavadzki*, *A. aromatica*) au un grad ridicat de decorativitate și pot fi cu succes utilizate în arhitectura peisajeră la amenajarea spațiilor verzi.

Concluzii

Prin intermediul schimbului internațional de semințe (Index Seminum) în perioada 2003-2023 Colecția de Plante Medicinale a GBNI a fost completată cu 32 taxoni noi din familia Asteraceae obținuți din 23 de Grădini Botanice și alte instituții științifice de profil din străinătate. În condițiile Republicii Moldova cel mai mare număr de taxoni investigați se estimează a fi de perspectivă și stabili în cultură. Capacitatea lor de creștere și dezvoltare, realizarea fazei generative și capacitatea de reproducere și reînnoire prin semințis indică perspectivele de cultivare pe arii extinse și utilizării acestora la nivel local. Speciile noi introduse (*Acmella oleracea*, *Anacyclus pyrethrum*, *Helenium amarum*, *Achillea grandifolia*, *Matricaria discoidea*, *Chamaemelum nobile*) prezintă obiecte de studiu importante pentru cercetări ulterioare de introducere și activități de ameliorare în scopul îmbogățirii florei cultivate cu plante valoroase, de perspectivă pentru sectorul economic.

Referințe:

1. *Plants of the World Online: Asteraceae Berchtold & J. Presl*. Papadakis Publisher, © 2019. <https://powo.science.kew.org>
2. BARKLEY, T. M., BROUILLET, L., STROTHER, J. L. *Asteraceae Berchtold & J. Presl*. In: *Flora of China*. Vol. 20-21. http://www.efloras.org/florataxon.aspx?flora_id=1&taxon_id=10074
3. MOORE, D. M., TUTIN, T. G., WALTERS, S. M. *Compositae*. In: Tutin, T. G., Heywood, V. H. et al. (Eds.), *Flora Europaea*. Cambridge University Press, Cambridge, 1976, vol. 4, p. 103-410.
4. ROLNIK, A., OLAS, B. *The Plants of the Asteraceae Family as Agents in the Protection of Human Health*. In: *International Journal of Molecular Sciences*, 2021, nr. 22(6), p. 3009.
5. BESSADA, S. M. F., BARREIRA, J. C. M., OLIVEIRA, M. B. *Asteraceae species with most prominent bioactivity and their potential applications: A review*. In: *Ind. Crops Prod.* 2015, nr. 76, p. 604-615.
6. ANVARI, D., JAMEI, R. *Evaluation of Antioxidant Capacity and Phenolic Content in Ethanolic Extracts of Leaves and Flowers of Some Asteraceae Species*. In: *Recent Pat Food Nutr Agric.* 2018, nr. 9(1), p. 42-49.
7. GARCIA-OLIVEIRA, P., BARRAL, M., CARPENA, M. et al. *Traditional plants from Asteraceae family as potential candidates for functional food industry*. In: *Food Funct.*, 2021, 12(7) p. 2850-2873.
8. CHARLES DORNI, A. I., AMALRAJ, A., GOPI, S. et. al. *Novel cosmeceuticals from plants - An industry guided review*. In: *J of Applied Res on Medicinal and Aromatic Plants*, 2017, nr. 7, p. 1-26.
9. CIOCĂRLAN, N. *Diversitatea taxonomică a colecției de plante medicinale din Grădina Botanică Națională (Institut) „Al. Ciubotaru”*. În: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe Reale și ale Naturii)*, 2023, nr. 1(171), pp. 29-36.

10. МАЙСУРАДЗЕ, Н. И., ЧЕРКАСОВ, О. А., ТИХОНОВА, В. Л. *Методика исследований при интродукции лекарственных растений. ЦБНТИ. В: Сер. Лекарств. раст.* 1984. nr. 3, 33 стр.
11. NEGRU, A. *Determinator de plante din flora Republicii Moldova.* Chișinău: Universul, 2007, 391 p.
12. *Flora Basarabiei: (Plantele superioare spontane): în 6 volume / A. Negru, Valentina Cantemir, V. Ghendov et al.; sub redacția Andrei Negru.* Chișinău: Universul, 2022. ISBN 978-9975-47-057-5.
13. *World Flora Online: Asteraceae Giseke.* Published on the Internet, 2024. <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-7000000146>.
14. *The International Plant Names Index and World Checklist of Selected Plant Families,* 2021. <http://www.ipni.org> and <http://apps.kew.org/wcsp/>
15. *Дикорастущие полезные растения России /Отв. ред. Буданцев А. Л., Лесиовская Е. Е. СПб.: Издательство СПХФА, 2001, стр. 351-353.*
16. *Plants For A Future.* Database. <https://pfaf.org/user/plantsearch.aspx>
17. *Энциклопедия лекарственных растений.* <https://lektrava.ru/>
18. MANAYI, A, VAZIRIAN M., SAEIDNIA, S. *Echinacea purpurea: Pharmacology, phytochemistry and analysis methods.* In: *Pharmacognosy Rev.* 2015, nr. 9(17), p. 63-72.
19. FURLAN, V., BREN, U. *Helichrysum italicum: From Extraction, Distillation, and Encapsulation Techniques to Beneficial Health Effects.* In: *Foods,* 2023. nr. 12(4), p. 802.
20. SENCHINA, D. S., MCCANN, D. A., FLINN, G. N. *Echinacea tennesseensis ethanol tinctures harbour cytokine- and proliferation-enhancing capacities.* In: *Cytokine,* 2009, nr. 46(2), p. 267-272.
21. FRATERNALE, D., GIAMPERI, L., BUCCHINI, A., RICCI D. *Essential oil composition and antioxidant activity of aerial parts of Grindelia robusta from Central Italy.* In: *Fitoterapia,* 2007, nr. 78(6), p. 443-445.
22. LEMUS-MONDACA, R. et al. *Antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory potential of Stevia rebaudiana leaves: effect of different drying methods.* In: *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants,* 2018, nr. 11, p. 37-46.
23. URVASHI, A., ARCHANA, T. A. *Comprehensive Review on Uses of Stevia rebaudiana Plant.* In: *European Journal of Molecular & Clinical Medicine,* 2020, nr. 7(7), p. 4478-4483.
24. KIM, K. J., KIM, Y. H., YU, H. H. et al. *Antibacterial activity and chemical composition of essential oil of Chrysanthemum boreale.* In: *Planta Med.* 2003, nr. 69(3), p. 274-277.
25. EKIERT, H., KNUT, E., ŚWIĄTKOWSKA, J. et al. *Artemisia abrotanum L. (Southern Wormwood)-History, Current Knowledge on the Chemistry, Biological Activity, Traditional Use and Possible New Pharmaceutical and Cosmetological Applications.* In: *Molecules,* 2021, nr. 26:2503.
26. PAREEK, A., SUTHAR, M., RATHORE, G. S., BANSAL, V. *Feverfew (Tanacetum parthenium L.): A systematic review.* In: *Pharmacognosy reviews,* 2011, nr. 5(9), p. 103-110.
27. HASSANPOURAGHDAM, M. B., TABATABAIE, S. J., NAZEMIYEH, H. et al. *Chrysanthemum balsamita (L.) Baill.: A forgotten medicinal plant.* In: *Facta Universitatis Series: Medicine and Biology,* 2008, nr. 15(3), p. 119-124.
28. BOUTENNOUN, H., BOUSSOUF, L., KEBIECHE, M. et al. *In vivo analgesic, anti-inflammatory and antioxidant potentials of Achillea odorata from north Algeria, South African.* In: *Journal of Botany,* 2017, vol. 112, p. 307-313.
29. KIM, Y. Y., LEE, S. Y., YIM, D. S. *Biological activities of linarin from Chrysanthemum zawadzki var. latilobum K.* In: *Yakhak Heoji,* 2001, nr. 45, p. 604-610.
30. VOUILLAMOZ, J. F., CARLEN, CH., TAGLIALATELA-SCAFATI, O. et al. *The gènepi Artemisia species. Ethnopharmacology, cultivation, phytochemistry, and bioactivity.* In: *Fitoterapia,* 2015, nr. 106, p. 231-241.
31. ERENLER, R., YILMAZ, S., AKSIT, H. *Antioxidant Activities of Chemical Constituents Isolated from Echinops orientalis Trauv.* In: *Rec. Nat. Prod.* 2014, nr. 8(1), p. 32-36.
32. LUCAS, R. A., ROVINSKI, S., KIESEL, R. J. et al. *A New Sesquiterpene Lactone with Analgesic Activity from Helenium amarum (Raf.) H. Rock.* In: *J. Org. Chem.* 1964. nr. 29(6), p. 1549-1554.
33. OZEK, G. *Phytochemical Characterization of Achillea grandifolia Friv. Essential Oil and Its Potent Against Oxidative Damage, Acetylcholinesterase and α -Amylase.* In: *Applied Sciences and Engineering,* 2018. nr. 19 (3), p. 671-684.

34. TANAKA, Y., VAN KE, N. *Edible Wild Plants of Vietnam: The Bountiful Garden*, 2007. Thailand: Orchid Press, p. 47.
35. AL-SNAFI, A.E. *Medical importance of Anthemis nobilis (Chamaemelum nobile) - a review*. In: *Asian Journal of Pharmaceutical Science & Technology*, 2016, nr. 6(2), p. 89-95.
36. PRITI, B. S., KAREPPA, M. S. *A Systematic and Scientific Review on the Acmella oleracea and its Traditional Medical and Pharmacological uses*. In: *Asian J of Pharm Research*, 2022, nr. 12(1), p. 71-75.
37. Wafa, B., MOULOUD, Y., NAIMA, B. et al. *Antioxidant, Anti-inflammatory, Analgesic, and Antipyretic Effects of Urospermum dalechampii (L.) Scop. ex F.W. Schmidt*. In: *Current Bioactive Compounds*, 2018, nr. 14 (3), p.14-21.
38. JAWHARI, F. Z., EL MOUSSAOUI, A., BOURHIA, M. et al. *Anacyclus pyrethrum (L): Chemical Composition, Analgesic, Anti-Inflammatory, and Wound Healing Properties*. In: *Molecules*, 2020, nr. 25(22), p. 5469.

Date despre autor:

Nina CIOCĂRLAN, doctor în biologie, cercetător științific coordonator, Grădina Botanică Națională (Institut) „Al. Ciobotaru”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-9477-5848

E-mail: nina.ciocarlan@yahoo.com

Prezentat la 22.02.2024

CZU: 582.632.2:581.4

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_08](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_08)

EVALUAREA DISTRIBUȚIEI ÎNĂLȚIMEA-DIAMETRUL COROANELOR LA STEJARUL PEDUNCULAT (*QUERCUS ROBUR*) ȘI A PERFORMANȚEI MODELELOR DE REGRESIE

Petru CUZA,*Universitatea de Stat din Moldova*

În arboretele de stejar pedunculat (*Quercus robur*) situate în nordul, centrul și sudul Republicii Moldova, s-a desfășurat un studiu axat pe relația dintre înălțimea și diametrul coroanei. Analiza distribuției înălțimea-diametrul arborilor a evidențiat o sporire a complexității structurii arboretelor de-a lungul gradientului ecologic nord-sud. Totodată, în cadrul distribuțiilor, s-a remarcat variabilitatea fenotipică în caracteristica înălțimea-diametrul coroanelor arborilor. A fost evaluată potrivirea statistică în relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor, analizând 25 de modele de regresie și selectând acele care au demonstrat o performanță bună pentru datele ce descriu relația respectivă. O ajustare mai precisă a datelor s-a identificat în funcție de creșterea complexității în distribuția caracteristicii investigate. Cele mai bune rezultate în acest context au fost obținute pentru datele experimentale privind relația înălțimea și diametrul coroanei arborilor din zona de sud, în Ocolul Silvic Baimaclia, comparativ cu celelalte zone.

Cuvinte-cheie: *Quercus robur*, înălțimea coroanei, diametrul coroanei, distribuție, modele de regresie.

ASSESSMENT OF CROWN HEIGHT-DIAMETER DISTRIBUTION IN PEDUNCULATE OAK (*QUERCUS ROBUR*) AND THE PERFORMANCE OF REGRESSION MODELS

In the stands of pedunculate oak (*Quercus robur*) located in the north, center, and south of the Republic of Moldova, a study focusing on the relationship between crown height and diameter was conducted. The analysis of the trees height-diameter crown distribution revealed an increase in the complexity of the stand structure along the north-south ecological gradient. Simultaneously, within these distributions, phenotypic variability in the height-diameter characteristic of tree crowns was observed. The statistical fit of the relationship between tree crown height and diameter was assessed by analyzing 25 regression models and selecting those that demonstrated good performance for the data describing the relationship. A more precise adjustment of the data was identified as a function of increasing complexity in the distribution of the investigated feature. The best results in this context were obtained for the experimental data regarding the relationship between the height and crown diameter of the trees in the southern area, in the Baimaclia Forest District, compared to the other areas.

Keywords: *Quercus robur*, crown height, crown diameter, distribution, regression models.

Introducere

Procesele de încălzire a climei, manifestate prin temperaturi caniculare și secete prelungite, exercită un impact semnificativ asupra stării și productivității pădurilor [1]. Deși aceste fenomene afectează întregul ecosistem forestier, stratul arborilor care constituie 90% din biomasa lui și, având un rol esențial în structura și funcțiile acestora, reprezintă o componentă deosebit de vulnerabilă.

Caracteristicile esențiale ale arborilor, cum ar fi diametrul de bază (măsurat la înălțimea de 1,3 metri), înălțimea și diametrul coroanei, sunt relevante, deoarece definesc productivitatea arboretelor în condiții de mediu specifice [2, 3]. Modificările semnificative ale mediului, cauzate de intensificarea factorilor climatici, au un impact negativ asupra productivității arboretelor.

Diametrul de bază este o caracteristică care poate fi măsurată cu instrumente dendrometrice simple, utilizate pe larg în inventarele forestiere. Cu toate acestea, cercetările au evidențiat că există și alte variabile relevante ale arborilor, care, deși nu sunt la fel de ușor de obținut, pot servi ca predictorii importanți pentru dinamica pădurilor și pot îmbunătăți precizia unor studii precum modelele de creștere și randament. Un

exemplu notabil este diametrul coroanei, care a atras atenția cercetătorilor, fiind considerat un mijloc eficient de estimare a creșterii arborilor [4].

Coroana arborelui, în care se găsește frunzișul, servește activității fiziologice, în special schimbul de gaze, care stimulează creșterea și dezvoltarea. De asemenea, frunzișul coroanei îndeplinește funcția de fotosinteză, prin procesele fiziologice și biochimice ale cărora se sintetizează carbohidrații necesari pentru creșterea și dezvoltarea arborelui [5]. Diametrul coroanei poate fi, de asemenea, folosit pentru a calcula gradul de închidere al arboretului, aspect important în evaluarea habitatului faunei sălbatice, riscului de incendiu și competiției arborilor pentru regenerare [6]. Atunci când stresurile abiotice sau antropice afectează o pădure, primele semne de deteriorare pot fi observate în coroanele arborilor care interacționează mai intens cu factorii stresanți.

Dată fiind importanța diametrului coroanei, care servește în calitate de structură a arborelui în care au loc diverse procese fiziologice, evaluarea acestei însușiri rămâne o sarcină dificilă în domeniul silviculturii. Utilitatea de a face predicții privind diametrul coroanei în baza înălțimii coroanei reprezintă, de asemenea, o sarcină care se confruntă cu dificultăți metodologice în contextul științific.

Este important din perspectivă practică să dezvoltăm modele utilizând diametrul coroanei în corelație cu alte caracteristici ale acesteia. Dezvoltarea unor astfel de modele, având la bază diametrul coroanei arborilor, ar asigura predicții cu implicații extinse, inclusiv în ceea ce privește evaluarea suprafeței și volumului coroanei pentru determinarea stării de sănătate a pădurilor [7], aprofundarea în profilurile orizontale ale coroanei arborilor și a arhitecturii acestora (Marshall și colaboratorii, 2003), precum și determinarea gradului de acoperire a arboretului [8].

În cadrul prezentului studiu, ne-am propus să evaluăm specificul distribuției arborilor de stejar pedunculat în funcție de înălțimea-diametrul coroanei și să estimăm adecvarea statistică a modelelor de regresie în relație cu caracteristicile înălțimea și diametrul arborilor.

Material și metode

În cadrul fiecărui dintre Ocoalele silvice Briceni (zona de nord), Seliște (zona de centru) și Baimaclia, s-a amenajat câte o suprafață experimentală sub formă de pătrat, cu o suprafață de 0,25 hectare, în care se dezvoltă arbori de stejar pedunculat (*Quercus robur*) în vârstă de 90 de ani. În interiorul acestor suprafețe, toți arborii au fost inventariați, măsurându-li-se parametrii dendrometrici ai trunchiurilor și coroanelor de stejar. În cadrul studiului nostru, am utilizat următorii parametri: înălțimea și diametrul coroanei.

Înălțimea coroanei a fost măsurată cu un dendrometru, cu o precizie de ± 10 mm. Diametrul coroanei a fost măsurat după suprafața de proiecție a coroanei arborilor la suprafața solului. Inițial, măsurătorile proiecției coroanei au fost realizate în direcția nord-sud și apoi est-vest, urmând să se calculeze valoarea medie.

Analiza distribuției valorii înălțimea-diametrul coroanei arborilor a fost efectuată folosind procedura statistică de comparare a perechilor de valori (*Paired-sample comparison*). Într-un prim pas, s-au obținut valorile diferenței dintre înălțimea și diametrul coroanei arborilor de stejar pedunculat, urmând să se calculeze frecvențele absolute și relative ale distribuției acestor diferențe.

Au fost calculate indicii statistici ai distribuției experimentale, incluzând valoarea medie, abaterea standard, coeficientul de variație, valorile minimă și maximă, precum și indicii de asimetrie și exces. În vederea evaluării semnificației diferențelor dintre arbori în funcție de relația înălțimea-diametrul coroanelor, s-a utilizat testul *t* statistic.

Pentru a asigura modele de regresie cu o potrivire statistică mai bună, datele privind înălțimea și diametrul coroanei arborilor au fost supuse unei transformări logaritmice, având ca scop stabilizarea varianței. Transformarea logaritmă a permis reducerea impactului datelor extreme și, în același timp, a ridicat valorile mai mici. Această abordare este susținută de proprietatea logaritmului, conform căreia creșterea valorii datelor determină o creștere graduală a logaritmului lor. Prin urmare, transformarea logaritmă a contribuit la o distribuție mai echilibrată a datelor, facilitând astfel obținerea unor modele de regresie mai robuste și mai reprezentative pentru relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat.

Apoi, am utilizat 25 de modele de regresie pentru a selecta două care prezintă ajustări semnificative la datele privind înălțimea și diametrul coroanei arborilor de stejar pedunculat localizați în Ocoalele Briceni, Seliște și Baimaclia.

Cele mai potrivite modele pentru datele referitoare la înălțimea și diametrul coroanei arborilor din Ocolul Silvic Briceni au fost următoarele:

$$\text{Dublu reciproc: } Y = \frac{1}{a + \frac{b}{x}}, \quad \text{Multiplicativ: } Y = a * X^b.$$

În ce privește înălțimea și diametrul coroanei arborilor din Ocolul Silvic Seliște, modelele de potrivire sunt prezentate astfel:

$$\text{Logaritmic Y pătrat X: } \log(Y) = a + b * X^2, \quad \text{Rădăcină pătrată Y pătrat X: } Y = (a + b) * X^2)^2.$$

În mod similar, pentru înălțimea și diametrul coroanei arborilor din Ocolul Silvic Baimaclia, modelele care s-au potrivit cel mai bine au fost:

$$\text{Logaritmic X: } Y = a + b * \ln(X), \quad \text{Y pătrat logaritmic X: } Y = \sqrt{a + b * \ln(X)}$$

Pentru a verifica adecvarea modelelor față de setul de date observate, au fost utilizați indicatori statistici:

Coeficientul de determinare (R^2): Indică proporția din variația variabilelor dependente care poate fi explicată de modelul utilizat.

Eroarea medie absolută (MAE): Este o măsură a deviației medii dintre valorile observate și valorile prevăzute de model.

Eroarea standard de estimare (ESE): Este o măsură a dispersiei reziduurilor, adică a diferențelor dintre valorile observate și cele prezise de model.

Testul Durbin-Watson (DW): Este un test statistic utilizat pentru a detecta prezența autocorelației în reziduurile unui model de regresie.

Autocorelația reziduală Lag 1 (AZL): Se referă la dependența dintre reziduurile consecutive într-un model de regresie.

Rezultate și discuții

1. Asocierea înălțimii și diametrului la arborii de stejar pedunculat redată cu procedura statistică de comparare a perechilor de valori

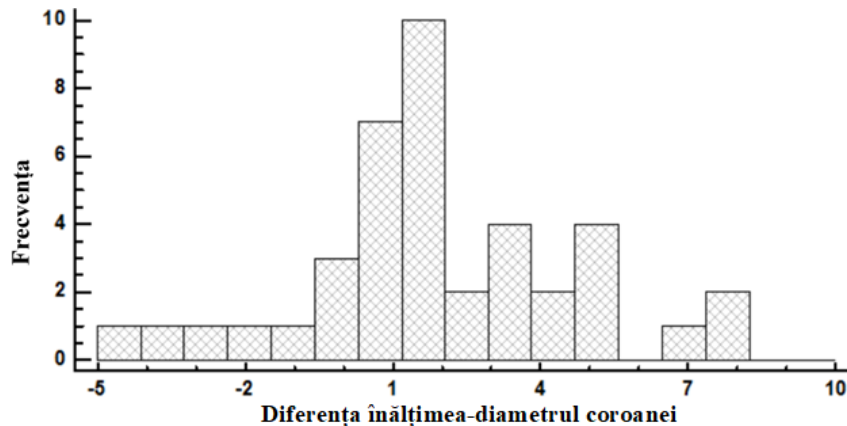
Studiul a prevăzut evaluarea relației dintre înălțimea și diametrul coroanelor la arborii de stejar pedunculat, prin aplicarea procedurii statistice de comparare a perechilor de valori, aceștia crescând în zone ecologice diferite ale Republicii Moldova. Datele statistice generalizatoare a acestor arborele se prezintă în tabelul 1.

Tabelul 1. Indicii statistici ai distribuției experimentale a valorilor înălțimea-diametrul coroanei arborilor de stejar pedunculat obținute prin procedura de comparare a perechilor de date.

Specificația	Ocolul Silvic		
	Briceni	Seliște	Baimaclia
Valoarea medie	1,97	3,33	4,91
Abaterea standard	2,68	2,50	2,40
Coeficientul de variație	136,1	75,2	48,8
Valoarea minimă	-4,2	-3,0	0,5
Valoarea maximă	8,0	8,5	9,5
Indice de asimetrie	0,14	-0,43	0,29
Indice de exces	0,47	-0,18	-1,05

Analizând datele incluse în histograma din figura 1 și statisticele sumare (tab. 1) din Ocolul Silvic Briceni, observăm că majoritatea observațiilor au o repartizare în jurul mediei înălțimea-diametrul coroanelor de stejar pedunculat, care are valoarea $\bar{x} = 1,97$ metri. Valorile prezentate pe histogramă au o deviație standard de $\sigma = 2,68$ metri față de valoarea medie.

Fig. 1. Histograma privind distribuția experimentală a valorilor înălțimea-diametrul coroanei a arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Briceni.



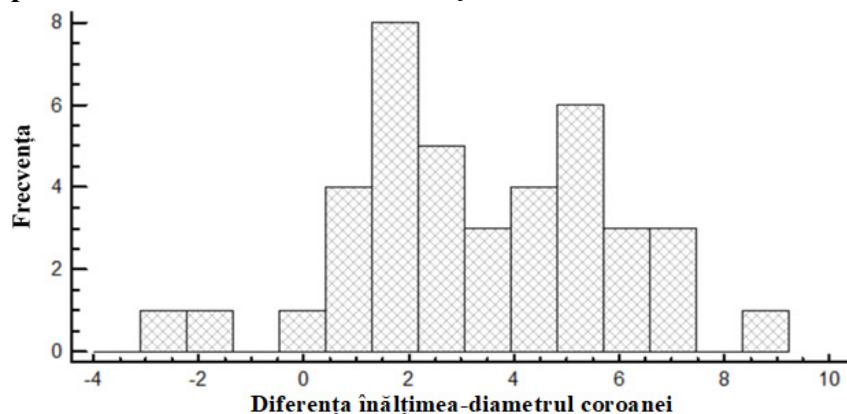
Împrăștierea variației față de media datelor este semnificativă, confirmată de coeficientul de variație de $CV=136,1\%$, sugerând diferențe semnificative între mărimea coroanelor arborilor de stejar pedunculat. Indicele de asimetrie ($A = 0,14$) indică o distribuție relativ simetrică a datelor în jurul valorii medii. În același timp, indicele de exces ($E = 0,47$) sugerează o formă leptokurtică, indicând o ușoară deviere de la distribuția normală.

O analiză atentă a histogramei relevă o scădere bruscă a numărului de observații în clasa imediat următoare pe dreapta față de cea mai apropiată de medie, menținându-se la același nivel în următoarele clase. Aceasta indică o diminuare a arborilor cu coroane de dimensiuni mari. Totodată, clasele inferioare față de valoarea medie au o scădere mai lentă în numărul de observații, sugestiv pentru un număr ridicat de arbori cu coroane mai mici, dar apropiate de media datelor.

Se poate presupune că un număr mai mic de arbori cu coroane mai mari, situați în plafonul superior al arboretului, influențează un număr mai mare de arbori cu înălțimi și coroane mai mici, sugerând posibile interacțiuni ecologice. Acest rezultat este important pentru înțelegerea dinamicii arboretului și relațiilor dintre arbori în funcție de dimensiunile coroanelor lor.

În urma analizei histogramei arboretului situat în Ocolul Silvic Seliște (fig. 2), privind înălțimea-diametrul coroanelor de stejar pedunculat, rezultatele indică o distribuție neuniformă a datelor, evidențind două vârfuri distincte în această repartizare. Arborii examinați pot fi grupați în două subcategorii distincte, conform procedurii de comparare a perechilor de valori, pentru înălțimea-diametrul coroanelor la stejar.

Fig. 2. Histograma privind distribuția experimentală a valorilor înălțimea-diametrul coroanei a arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Seliște.



Primul vârf, cu opt observații, se află la stânga valorii medii $\bar{x} = 3,33$ metri și reprezintă arbori la care diferența dintre înălțimea și diametrul coroanei este mai mică față de aceasta. Al doilea vârf, cu șase observații, este poziționat mai spre dreapta decât valoarea medie și caracterizează arbori la care diferența dintre înălțime și diametrul coroanei este mai mare comparativ cu valoarea medie.

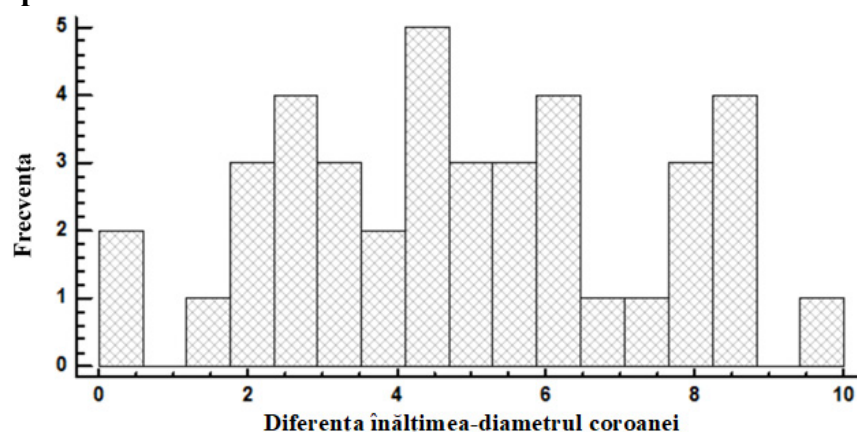
Indicele de asimetrie negativ ($A = -0,43$) indică direcția cozii distribuției spre stânga, semnificând că în partea stângă a distribuției se regăsesc valori ale diferenței dintre înălțimea și diametrul coroanei cu semn negativ. Aceasta înseamnă că un anumit număr de arbori au înălțimi mai mici decât diametrele coroanelor lor. Acești arbori sunt repartizați în extrema stângă a distribuției, contribuind la valoarea negativă a indicelui de asimetrie. Indicele de exces ($E = -0,18$), având o valoare negativă, indică o distribuție platikurtică în comparație cu distribuția normală (tab. 1).

Analiza datelor relevă existența a două grupuri distincte de arbori, caracterizate prin diferențe semnificative în distribuția raportului înălțimea-diametrul coroanei. Grupul plasat mai spre dreapta pe histogramă prezintă arbori cu înălțimea coroanei semnificativ mai mare decât diametrul acesteia, în special stejarii, ale căror coroane adoptă forma unei schele. Cel de-al doilea grup, situat mai spre stânga pe histogramă, evidențiază valori ale diametrului coroanei apropiate de cele ale înălțimii corespunzătoare, rezultând coroane cu forma rămuros împrăștiată. Prin urmare, în funcție de densitatea creșterii diferitelor grupuri de arbori, aceștia pot manifesta diverse forme morfologice în structura arboretului.

Datele privind distribuția valorilor înălțimea-diametrul coroanei arborilor în Ocolul Silvic Baimaclia, incluse în figura 3, arată că în eșantionul format din 40 de arbori de stejar pedunculat, înălțimea coroanei este mai mare decât diametrul său. Distribuția este eterogenă și include patru vârfuri, ceea ce înseamnă că există patru inter-valuri distincte sau grupuri în care observațiile ating valori maxime locale.

Această distribuție specifică evidențiază o varietate semnificativă în dimensiunile coroanelor arborilor din această zonă. Prezența a patru vârfuri indică absența unei tendințe uniforme în relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor. În schimb, observăm variații privind alcătuirea morfologică a coroanelor între diferite subgrupuri, sugestive pentru influențele genetice asupra acestei variabilități. Identificarea a patru grupuri distincte de arbori poate fi corelată cu structura specifică a arboretului și pare să fie în concordanță cu condițiile ecologice aride din sudul țării.

Fig. 3. Histograma privind distribuția experimentală a valorilor înălțimea-diametrul coroanei a arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Baimaclia.



Grupurile de arbori nu formează un polog continuu, ci alternează cu poiene mici de vegetație de stepă, ceea ce determină forma specifică a coroanelor arborilor în această zonă de silvostepă. Analiza efectuată, completată cu examinarea altor indici ai arborilor în aceste subgrupuri, ar putea furniza informații relevante despre adaptarea speciilor de arbori la condițiile specifice de mediu, evidențiind astfel influențele ecologice asupra caracteristicilor morfologice ale coroanelor arborilor de stejar pedunculat.

Distribuția înălțime-diametru a coroanei la arbori este caracterizată de un indice de asimetrie $A = 0,29$ (tab. 1), indicând o asimetrie pozitivă, de stânga a datelor incluse în histograma prezentată în figura 3. Aceasta relevă o concentrare sporită a arborilor cu valori mai mari ale indicelui înălțimea-diametrul co-

roanei în comparație cu cei cu valori mai mici ale acestei caracteristici. Indicele de exces, cu valoarea $E = -1,05$, indică că distribuția este mai platikurtică decât o distribuție normală, cu mențiunea că această diferență este semnificativă.

Prin urmare, analiza acestor indici arată că distribuția înălțimii-diametrului coroanei la stejarul pedunculat manifestă o repartizare semnificativă spre dreapta, iar vârfurile distribuției apropiate de valoarea medie sunt ușor mai aplatizate decât cele așteptate în cazul unei distribuții normale, dar fără a devia în mod excesiv de la aceasta. Aceste rezultate contribuie la o mai bună înțelegere a caracteristicilor morfologice ale coroanelor arborilor în contextul specific al acestei populații.

Pentru a evalua dacă există diferențe semnificative între arborii de stejar pedunculat după însușirea înălțimea-diametrul coroanei, am utilizat testul t (tab. 2). Rezultatele acestui test indică că au fost identificate diferențe semnificative între arborii de stejar pedunculat pe fiecare suprafață experimentală, localizată în Briceni, Seliște și Baimaclia. Aceste diferențe au fost confirmate statistic la un nivel de semnificație de $p < 0,05$ pentru fiecare dintre aceste suprafețe experimentale. Constatarea denotă prezența unei variabilități semnificative în ceea ce privește însușirea înălțimea-diametrul coroanelor în rândul arborilor din fiecare eșantion examinat.

Tabelul 2. Rezultatele analizei testului t privind deosebirile între arborii de stejar pedunculat după însușirea înălțimea-diametrul coroanei

Specificație	Ocoale silvice		
	Briceni	Seliște	Baimaclia
Statistica t calculată	4,645	8,414	12,96
Valoarea P	0,000038	2,67588E-10	0
Concluzie	Respinge HO	Respinge HO	Respinge HO

Cele expuse anterior indică o tendință crescândă a complexității structurale a arboretelor de stejar pedunculat de-a lungul gradientului ecologic nord-sud. Arboretul localizat în zona de nord, Ocolul silvic Briceni, se remarcă printr-o distribuție simetrică cu un vârf, având o dispunere apropiată de distribuția normală a coroanelor arborilor. Structura stejăretului din zona de centru conform caracteristicilor distribuției arborilor, prezintă două vârfuri de aglomerare, indicând aparent prezența a două subgrupuri distincte în funcție de variația dimensiunilor înălțimea-diametrul coroanelor. În zona de sud, se observă o creștere a structurii arboretului, probabil asociată cu mozaicul de micro-habitaturi care disting patru vârfuri în distribuția înălțime-diametru a coroanelor arborilor. Acest aspect sugerează o complexitate sporită în variația structurală a arboretului în ceea ce privește forma și însușirile coroanei la stejari.

În plus, diferențele semnificative identificate între arborii de stejar pedunculat subliniază o varietate fenotipică semnificativă în ceea ce privește însușirea înălțimea-diametrul coroanelor. Această diversitate fenotipică se manifestă într-o manieră complexă în structura arboretelor investigate, indicând o adaptabilitate și variabilitate semnificativă în cadrul populațiilor de arbori de stejar pedunculat din Ocoalele silvice analizate.

2. Modele de regresie care stabilesc relația între înălțimea și diametrul coroanei la stejarul pedunculat

Au fost alese diverse modele de regresie pentru a realiza o evaluare a potrivirii optime a modelului cu setul de date care reflectă relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat în suprafața experimentală a Ocolului Silvic Baimaclia. Alegerea acestui Ocol a fost fundamentată de complexitatea înaltă a structurii arboretului, care a fost evidențiată printr-o distribuție distinctă a înălțimii în raport cu diametrul coroanei (analizată în paragraful anterior), distribuție particulară determinată în urma aplicării procedurii statistice de comparare a perechilor de valori. Rezultatele obținute pentru arborii de stejar pedunculat din Ocolul Silvic respectiv sunt prezentate în tabelul 3 pentru 8 cele mai bune modele, selectate dintre cele 25 analizate, în funcție de potrivirea statistică.

Tabelul 3. Estimarea coeficienților de corelație și de determinare (%) pentru evaluarea statistică a modelelor de regresie aplicate în analiza înălțimii și diametrului coroanelor arborilor de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Baimaclia.

Modelul analizat	Coeficientul de corelație, R	Coeficientul de determinare, R ²
Reciproc X	-0,62	38,9
Logaritmic X	0,62	38,5
Rădăcină pătrată Y reciprocă X	-0,62	38,4
Rădăcină pătrată X	0,62	38,1
Rădăcină pătrată Y logaritmică X	0,62	37,9
Pătrat Y reciproc X	-0,62	37,8
Y pătrat logaritmic X	0,61	37,6
Liniar	0,61	37,6

Din cele opt modele analizate în tabelul 3, rezultă că, în urma evaluării bazate pe valorile coeficienților de corelație și de determinare, modelele de regresie „logaritmic X” și „Y pătrat logaritmic X” se evidențiază ca fiind cele mai performante în potrivirea cu setul de date analizate, privind înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat.

Pentru a obține o înțelegere mai profundă a relației datelor între înălțimea și diametrul coroanelor la arborii de stejar pedunculat din Ocolul Silvic Baimaclia, în comparație cu datele colectate din Ocoalele Silvice Briceni și Seliște (unde s-au observat complexități mai scăzute în distribuția datelor înălțimea-diametrul coroanelor la stejari, vezi figurile 1 și 2), am calculat valorile parametrilor și statisticilor de potrivire pentru cele două modele matematice selectate în baza datelor din Ocolul Silvic Baimaclia. De asemenea, am determinat valorile parametrilor și statisticilor de potrivire pentru modelele matematice cu cele mai bune rezultate, selectate din cele 25 modele analizate, pentru datele colectate din Ocoalele Silvice Briceni și Seliște (tab. 4).

Tabelul 4. Estimarea parametrilor și statisticile de potrivire a modelelor aplicate arborilor de stejar pedunculat.

Model	Parametrii de simulare		Coeficient de determinare, (R ²)	Eroarea medie absolută, (MAE)	Eroarea standard de estimare, (ESE)	Testul Durbin-Watson, (DW)	Autocorelația reziduală Lag 1, (AZL)
	a	b					
Ocolul Silvic Baimaclia							
Logaritmic X	0,708	0,795	38,5	0,105	0,134	1,934	0,021
Y pătrat logaritmic X	0,527	0,987	37,6	0,138	0,169	1,892	0,038
Ocolul Silvic Seliște							
Logaritmic Y pătrat X	-0,287	0,193	24,6	0,059	0,078	1,630	0,135
Rădăcină pătrată Y pătrat X	0,861	0,094	24,6	0,029	0,038	1,638	0,139
Ocolul Silvic Briceni							
Dublu reciproc	0,499	0,577	17,8	0,093	0,115	1,903	0,042
Multiplicativ	-0,067	0,487	15,5	0,086	0,107	1,962	0,014

Din datele incluse în tabelul 4, se poate observa că indicatorii furnizează informații relevante cu privire la potrivirea și performanța modelelor de regresie pentru înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de

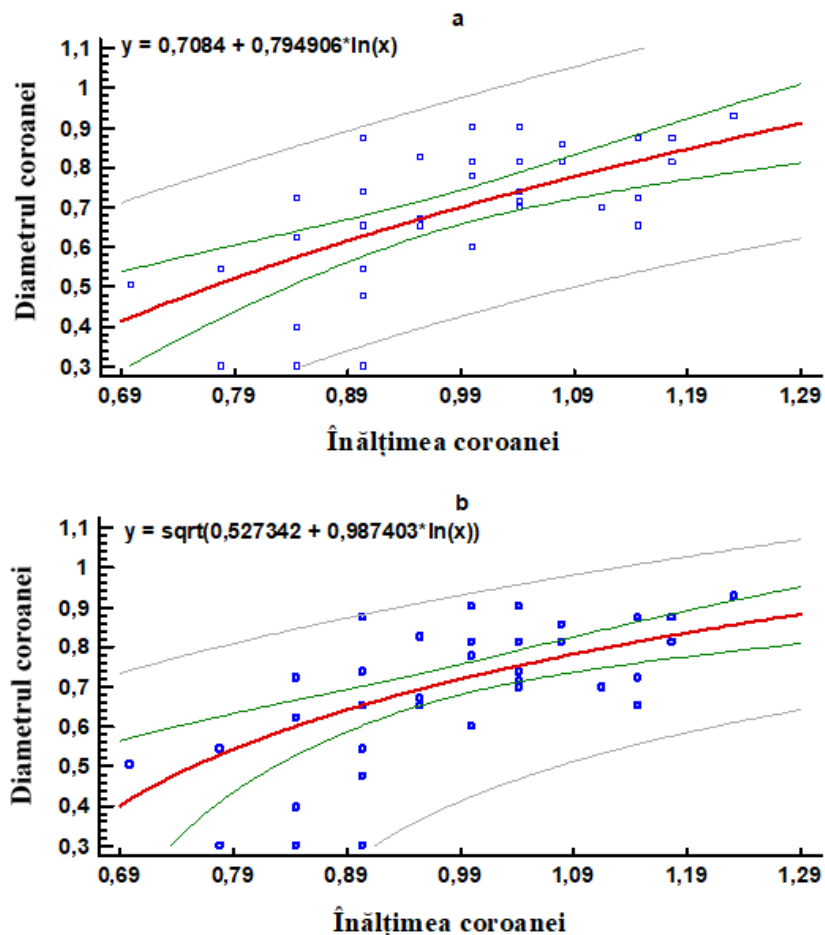
stejar pedunculat din suprafețele experimentale situate în Ocoalele Silvice Baimaclia, Seliște și Briceni și prezintă valori suficient de mici și apropiate pentru indicatorii: eroarea medie absolută, eroarea standard de estimare și autocorelația reziduală Lag. 1.

În ceea ce privește valorile testului Durbin-Watson, acestea sunt foarte asemănătoare. De exemplu, pentru modelul logaritmic X, valoarea este de 1,934, iar pentru Y pătrat logaritmic X, este de 1,892, apropiindu-se de valoarea 2, ceea ce indică lipsa de autocorelații ale datelor analizate.

De asemenea, coeficientul de determinare, care indică în ce măsură variația diametrului coroanei poate fi explicată de variația înălțimii coroanei, prezintă valori semnificativ mai mari pentru modelele aplicate pe datele arborilor din Ocolul Silvic Baimaclia (între 38,5 și 37,6), comparativ cu cele obținute pentru caracteristicile coroanei la arborii din Ocolul Silvic Briceni (între 17,8 și 15,5). Aceste date indică o performanță de potrivire mai adecvată a modelelor de regresie privind caracteristicile coroanei la arborii situați în Ocolul Silvic Baimaclia, oferind astfel o evaluare comprehensivă a calității ajustărilor în raport cu datele observate.

În figura 4, se prezintă curbele de regresie asociate modelelor logaritmic X și Y pătrat logaritmic X pentru înălțimea și diametrul coroanelor arborilor, care s-au evidențiat ca oferind cele mai bune rezultate în potrivirea la datele observate.

Fig. 4. Relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat redată conform modelelor: a – logaritmic X, b – Y pătrat logaritmic X în Ocolul Silvic Baimaclia.



Aceste modele au fost aplicate în contextul studiului nostru pentru a evalua și descrie relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat. Rezultatele obținute au evidențiat faptul că curbele de regresie asociate cu modelul logaritmic X și Y pătrat logaritmic X au prezentat o formă liniară, asemănătoare cu cea a unei linii puțin curbate, indicând astfel corespondența dintre modelele aplicate și datele observate în cadrul acestui studiu. Această constatare susține valabilitatea și relevanța acestor modele în contextul relației dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor de stejar pedunculat în Ocolul Silvic Baimaclia.

Din analiza rezultatelor obținute, reiese că modelele de regresie univariate utilizate pentru evaluarea acurateții prognozei în ceea ce privește relația dintre înălțimea și diametrul coroanei la arborii de stejar pedunculat manifestă o performanță bună de ajustare a datelor experimentale la modelare în cazul când complexitatea structurii distribuției înălțimea-diametrul coroanei înregistrează o creștere. Deși estimările privind precizia și gradul de ajustare ale modelelor de regresie selectate, fundamentate pe eroarea medie absolută, eroarea standard de estimare și autocorelația reziduală, au indicat valori mici și similare, corespunzătoare modelelor aplicate, un indicator important este reprezentat de coeficientul de determinare. Acesta prezintă o tendință de creștere odată cu complexitatea structurii arboretului în ceea ce privește distribuția înălțimea-diametrul coroanei la arborii de stejar pedunculat. Se pare că coeficientul de determinare poate servi ca un indicator fiabil pentru evaluarea eficienței modelelor în contextul pădurilor de stejar pedunculat.

Mai multe studii au demonstrat legătura între diametrul coroanei arborilor și parametrii trunchiului, deoarece aplicarea modelelor pentru aceste caracteristici este importantă în contextul sporirii productivității pădurilor. Pentru diverse specii lemnoase s-au identificat dependențe semnificative între diametrul coroanei și diametrul de bază (la înălțimea de 1,3 metri), fiind caracterizate prin modele rectilinii [9, 10, 11]. Cercetările lui K. Kaźmierczak et al. [12] explorează relația dintre diametrul coroanei și diametrul de bază al arborilor de *Quercus robur*, furnizând ecuații de regresie pentru a estima diametrul coroanei în funcție de vârstă, înălțimea și diametrul trunchiului. Analizele bazate pe regresie au indicat o strânsă dependență între diametrul coroanei și înălțimea, precum și diametrul trunchiului. Autorii au identificat că înălțimea și diametrul trunchiului reprezintă cei mai buni predictorii în modelarea acestei relații. Aceste rezultate, în concordanță cu cele obținute de noi, subliniază importanța înțelegerii corecte a relației dintre caracteristicile coroanei și cele ale trunchiului pentru o gestionare eficientă a pădurilor și optimizarea productivității acestora.

Concluzii

Lucrarea prezintă rezultatele unui studiu referitor la relația dintre înălțimea și diametrul coroanei la arborii de stejar pedunculat care cresc în partea de nord, centru și sud a Republicii Moldova. În acest scop, a fost analizată relația înălțimea-diametrul coroanelor arborilor, utilizând o procedură statistică pentru compararea perechilor de valori. Rezultatele au demonstrat că pe gradientul ecologic nord-sud, complexitatea structurii arboretelor a crescut, reflectată prin distribuția înălțimea-diametrul coroanelor la stejari. Au fost identificate diferențe semnificative între arborii de stejar pedunculat în cadrul distribuțiilor analizate, indicând manifestarea variabilității fenotipice în însușirea înălțimea-diametrul coroanelor. De asemenea, au fost dezvoltate modele de regresie pentru a estima relația dintre înălțimea și diametrul coroanelor arborilor. În fiecare dintre cele trei zone ecologice, modele diferite au arătat o potrivire bună pentru relația dintre înălțime și diametru a coroanelor, însă ajustarea performanței acestora a depins de creșterea complexității în distribuția caracteristicii investigate. Astfel, în arboretul din zona de sud, situat în Ocolul Silvic Baimailia, s-au obținut cele mai bune rezultate de potrivire statistică a datelor experimentale, comparativ cu celelalte zone.

Referințe:

1. ROMAGNOLI M., MORONI S., RECANATESI F., SALVATI R., MUGNOZZA G. S. *Climate factors and oak decline based on tree-ring analysis. A case study of peri-urban forest in the Mediterranean area*. In: *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, vol.34, p.17-28.
2. SKOVSGAARD J. P., VANCLAY J. K. *Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands*. In: *Forestry*, 2008, vol.81, p.12-31.
3. JIANG H., RADTKE P. J., WEISKITTEL A. R., COULSTON J. W., GUERTIN P. J. *Climate- and soil-based models of site productivity in eastern US tree species*. In: *Can. J. For. Res.*, 2015, vol.45, p.325-342.
4. BRAGG D. C. *A Local Basal Area Adjustment for Crown Width Prediction*. In: *Northern Journal of Applied Forestry*, 2001, vol. 18, p. 22-28.
5. LEITES L. P., ROBINSON A. P. *Improving Taper Equations of Loblolly Pine with Crown Dimensions in Mixed-effects Modelling Framework*. In: *Forest Science*, 2004, vol. 50, p. 204-212.
6. CROOKSTON N. L., STAGE A. R. *Percept Canopy Cover and Stand Structure Statistics from the Forest Vegetation Simulator. General Technical Report RMRS-GTR-24*, 1999, 34 p.

7. ZARNOCH S. J., BECHTOLD W. A., STOLKE K. W. *Using Crown Condition Variables as an Indicator of Forest Health*. In: *Canadian Journal of Forestry Resource*, 2004, vol. 34, p. 1057-1070.
8. GILL S. J., BIGING G. S., MURPHY E. C. *Modelling Conifer Tree Crown Radius and Estimating Canopy Cover*. In: *Forest Ecology and Management*, 2000, vol. 126, p. 405- 416.
9. CAÑADAS N. *Pinus pinea L. en el Sistema Central (Valles del Tiétar y del Albrechte): desarrollo de un modelo de crecimiento y producción de piña*. Ph. D. Thesis, E.T.S.I. de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, 2000, 69 p.
10. PAULO M. J., STEIN A., TOMÉ M. *A spatial statistical analysis of cork oak competition in two Portuguese silvopastoral systems*. In: *Can. J. For. Res.*, 2002, vol. 32, p. 1893-1903.
11. BENÍTEZ J. Y., RIVERO M., VIDAL A., RODRÍGUEZ J., ÁLVAREZ R. C. *Estimación del diámetro de copa a partir del diámetro normal (d1,3) en plantaciones de Casuarina equisetifolia*. In: *Forst. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.*, 2003, vol. 12(2), p. 37-41.
12. KAŻMIERCZAK K., PAZDROWSKI W., JEĐRASZAK A., SZYMAŃSKI M., NAWROT M. *Crown width of a tree and its relationships with age, height and diameter at breast height based on common oak (Quercus robur L.)*. In: *Colloquium Biometricum*, 2011, vol. 41, p. 221-228.

Date despre autor:

Petru CUZA, profesor universitar, Departamentul de Geoștiințe și Silvicultură, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-0192-4427

E-mail: petrucuza@mail.ru

Prezentat la 05.02.2024

CZU: 612.39:577.152.34

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_09](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_09)

INFLUENȚA RAȚIILOR ALIMENTARE ÎN RAPORT CU TIPUL HIPERSTENIC DE CONSTITUȚIE ASUPRA ACTIVITĂȚII ENZIMELOR PROTEOLITICE ȘI AMILOLITICE

Anastasia BABILEVA, Tudor STRUTINSCHI, Ion MEREUȚĂ,

Universitatea de Stat din Moldova

Viitoarea medicină personalizată se va concentra pe dezvoltarea sistemelor de nutriție personalizate. Pentru individualizare, lucrarea prezintă principiile fundamentale ale nutriției sanogenice în funcție de tipul de constituție. Pentru constituția de tip hiperstenic, au fost create patru variante de rații alimentare cu diferit procentaj caloric. În cadrul cercetărilor efectuate, au fost identificate caracteristicile activității enzimelor amilolitice, proteolitice ale intestinului subțire, ale pancreasului și ale peptidazelor stomacului la animalele cu constituție hiperstenică, atunci când sunt influențați factorii nutritivi. Datele colectate au arătat că la animalele cu un nivel scăzut de stresoreactivitate, activitatea enzimelor digestive depinde de macronutrienții compoziției rației alimentare și de structura calorică a rației alimentare. Totodată s-a remarcat că, în comparație cu reprezentanții altor tipuri de constituție, sistemele enzimatice ale organelor digestive sunt mai rezistente la modificările structurii calorice a rației alimentare la reprezentanții tipului hiperstenic de constituție.

Cuvinte-cheie: *enzime, tip de constituție hiperstenic, sisteme nutriționale, proteine.*

THE INFLUENCE OF NUTRIENTS IN RELATION TO THE HYPERSTHENIC TYPE OF CONSTITUTION ON THE ACTIVITY OF PROTEOLITIC AND AMYLOLYTIC ENZYMES

Personalized nutrition systems development will be the main focus of personalized medicine in the future. For individualization, the paper outlines the fundamental principles of sanogenic nutrition according to the type of constitution. For the hypersthenic constitution, four variants of food rations with different caloric percentages were created. In the research carried out, the characteristics of the activity of amylolytic enzymes, proteolytic enzymes of the small intestine, pancreas and stomach peptidases were identified in animals with hypersthenic constitution, when nutritional factors are influenced. The collected data show that in animals with a low level of stress reactivity, the activity of digestive enzymes depends on the macronutrients of the food ration composition and the caloric structure of the food ration. It should also be noted that, compared to representatives of other types of constitution, the enzyme systems of the digestive organs are more resistant to changes in the caloric structure of the food ration in representatives of the hypersthenic type of constitution.

Keywords: *enzymes, hypersthenic type of constitution, nutrition systems, proteins.*

Introducere

Unul dintre factorii care are o influență semnificativă asupra menținerii, consolidării și modelării sănătății este alimentația. Utilizarea unui sistem de alimentație echilibrată, care în prezent este considerat mult mai desăvârșit din punct de vedere științific, a arătat că doar 26% din populație își poate îndeplini nevoile. Sistemele actuale de alimentație nu corespund nevoilor individuale ale majorității populației, ceea ce este cauza situației create. Astfel, este clar că singurul mijloc de a menține organismul sănătos este un sistem de alimentație care acordă cea mai mare atenție satisfacerii nevoilor individuale.

Dezvoltarea sistemelor de nutriție individualizate este relevantă pentru medicina personalizată a viitorului. Lucrarea dată prezintă principiile fundamentale ale nutriției sanogenice în funcție de tipul de constituție (tipul hiperstenic al constituției), care a fost folosit ca criteriu de individualizare. Persoanele tipului hiperstenic se caracterizează în primul rând printr-o tendință de acumulare de țesut adipos de tipul corporal. Acest individ nu are nevoie de diete de slăbire, dar are nevoie de sisteme nutriționale, deoarece o cantitate mică de calorii din alimente (mai ales sub formă de carbohidrați ușor digerabili) este suficientă pentru a începe să crească.

Metode și materiale

Experimentele au fost efectuate pe animalele de laborator (șobolani albi linia Wistar) selectate pe baza tipului reactiv al organismului (analog tipului hiperstenic). Pentru a determina tipul de constituție hiperstenică a animalelor experimentale, s-au folosit modele precum „înotul forțat”, „insula de apă” și „labirintul ridicat în formă de cruce” [1, 2, 3]. Aceste modele sunt cele mai simple și adecvate pentru a oferi o evaluare obiectivă.

Pentru determinarea activității enzimelor a organelor digestive (stomac, intestin subțire, pancreas), sângelei și a vitezei hidrolizei membranice a dizaharidelor în intestinul subțire s-au utilizat următoarele metode chirurgicale, fiziologice și biochimice: determinarea activității proteolitice a sucului gastric prin metoda perfuziei stomacului izolat în experimente acute in situ [4], izolarea segmentului intestinului subțire în experimentele in vivo și in situ [5, 6], determinarea enzimelor intestinului subțire și pancreasului in vitro în omogenatele tisulare [6, 7].

Din animalele cu tipul reactiv al organismului hiperstenic s-au format, conform principiului analogic (masă corporală (masa medie de 242,0-242,8 g), vârsta (4 – 6 luni), sexul), 4 grupe experimentale a câte 5 indivizi în fiecare, care au fost menținute în aceleași condiții cu un regim alimentar analog. Diferența a constat în faptul că, fiecare grupă de animale a primit rația alimentară care se deosebește după structura calorică. Structura calorică a rațiilor alimentare pentru tipul hiperstenic este reprezentată în tabel 1.

Tabelul 1. Structura calorică a rațiilor alimentare pentru tipul hiperstenic conform grupelor experimentale (%).

Indicii	Grupele experimentale			
	I (control)	II	III	IV
Proteine, %	20	22	25	30
Lipide, %	25	23	22	21
Glucide, %	55	55	53	49

Durata experimentului – 2 luni.

Rezultate și discuții

La studierea activității enzimei în mucoasa intestinală a animalelor cu tipul de constituție hiperstenic (cu nivel scăzut de stresoreactivitate) s-a constatat că activitatea enzimelor amilolitice ale mucoasei intestinului subțire (activitatea totală a alfa - amilazei pancreatice adsorbită, glucoamilazei (CE 3.2.1.3), zaharazei (CE 3.2.1.48), lactazei (CE 3.2.1.23), trehalozei (CE 3.2.1.28), g-maltazei (CE 3.2.1.20), izomaltozei (CE 3.2.1.10)) se modifică nesemnificativ în grupele de animale experimentale cu constituție hiperstenică în funcție de compoziția rației. La creșterea conținutului de proteine în structura calorică a rației de la 20 la 25 % (grupele I, II și III) nu se observă o scădere autentică activității carbohidrazelor intestinului subțire. Creșterea continuă a proporției de proteine în rația alimentară până la 30 % duce la scăderea activității enzimelor amilolitice de la $58,25 \pm 6,28 \mu\text{mol/g}\cdot\text{min}$ (grupa III) până la $38,17 \pm 2,16 \mu\text{mol/g}\cdot\text{min}$ (grupa IV) ($p < 0,05$) (fig. 1).

S-a identificat diferența semnificativă în activitatea enzimelor mucoasei intestinului subțire între animalele din IV-a și celelalte grupe experimentale ($p < 0,05$). În raport cu grupa de control ($45,78 \pm 5,16 \mu\text{mol/g}\cdot\text{min}$), o activitate veridică mai mare a enzimelor amilolitice a fost fixată numai la animalele din a III-a grupă ($p < 0,05$). Pentru animalele cu tip de constituție hiperstenică, activitatea carbohidrazelor mucoasei intestinului subțire este în general mai mare decât la animalele cu tip constituție astenică și puțin mai mică decât la animalele cu tip constituție normostenică.

Conform datelor obținute, activitatea enzimelor proteolitice ale mucoasei intestinului subțire (activitatea totală a enzimelor absorbite de pancreas - tripsina, chemotripsina, elastaza, carboxipeptidaza A și B, enzimele intestinului subțire – enteropeptidazele (enterochinaze, CE 3.4.21.9) aminopeptidazele M (CE 3.4.11.2), aminopeptidazele A (CE 3.4.11.7), endopeptidazele 24.11 (CE 3.4.24.11), grupele de dipeptidaze) este semnificativ mai mare la animalele din a IV-a grupă ($11,76 \pm 0,62 \mu\text{mol/g}\cdot\text{min}$) ($p < 0,05$), care primeau concomitent cu rația o cantitate maximă de proteine, comparativ cu animalele din alte grupuri (fig. 2), ceea ce demonstrează rolul important al substratului alimentar în reglarea activității enzimelor intestinului subțire implicate în clivarea lui.

Fig. 1. Activitatea carbohidrazelor mucoasei intestinului subțire la animalele întreținute cu rație alimentară cu diferită structură calorică pentru tipul hiperstenic.

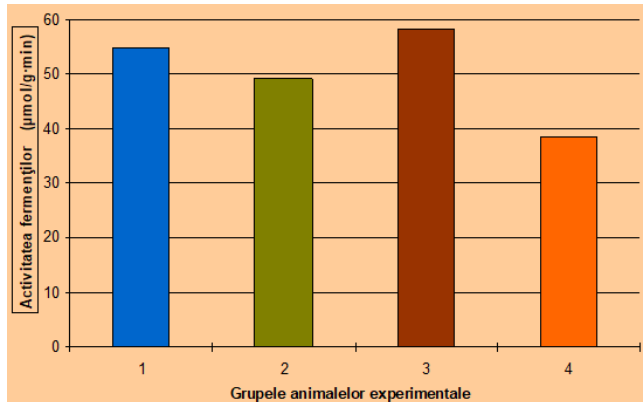
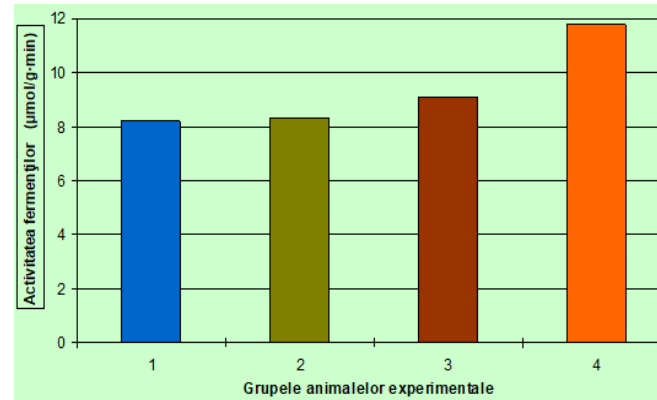


Fig. 2. Activitatea proteazelor mucoasei intestinului subțire la animalele întreținute cu rație alimentară cu diferită structură calorică pentru tipul hiperstenic.



În comparație cu animalele din grupa de control, reprezentanții din grupa experimentală de tipul constituției hiperstenice au demonstrat niveluri semnificativ mai mari ale enzimelor proteolitice ($4,87 \pm 0,53 \mu\text{mol/g}\cdot\text{min}$) ($p < 0,05-0,01$). Compararea cu datele experimentelor la animale cu tipul constituției normostenice și astenice arată că, în general, activitatea proteazelor mucoasei intestinului subțire este veridic mai mare la animalele cu tipul constituției hiperstenice comparativ cu cea normostenică și, în special, astenică.

Conform rezultatelor obținute, activitatea amilazei pancreatice nu diferă semnificativ între animalele din grupele experimentale I, II și IV. Există numai o tendință de scădere a ei la animalele din grupele II și IV în comparație cu animalele din prima grupă. La animalele din grupa a III-a, activitatea amilazei pancreatice este semnificativ mai sporită, decât la animalele din grupele experimentale a II-a și a IV-a ($P < 0,05$) (fig. 3).

Conform datelor obținute, activitatea enzimelor proteolitice ale pancreasului (activitatea totală a tripsinogenului, chimotripsinogenului, elastazei, carboxipeptidazelor A și B) nu se modifică odată cu creșterea fracției de proteine în structura calorică a rației alimentare de la 20 până la 22 %, dar sporește semnificativ odată cu creșterea proporției de proteine de până la 25 - 30 % (grupele a III-a și a IV-a). S-a atestat diferența semnificativă ale activității proteazei la animalele din grupa a IV-a și, în special, a III-a, comparativ cu animalele din grupele experimentale I-a și a II-a ($P < 0,05$), cu toate acestea, diferențele dintre animalele din grupa a III-a și a IV-a nu sunt veridice (fig. 4). Trebuie remarcat faptul că, potrivit datelor obținute anterior, la animalele cu constituție hiperstenică activitatea enzimelor proteolitice pancreatice, în general, este mult mai sporită, decât la animalele cu constituție normostenică și, mai ales, astenică.

Fig. 4. Activitatea proteazelor pancreasului la animalele întreținute cu rație alimentară cu diferită structură calorică pentru tipul hiperstenic.

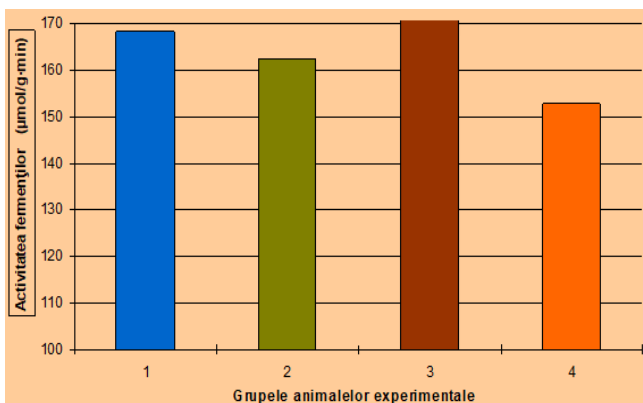
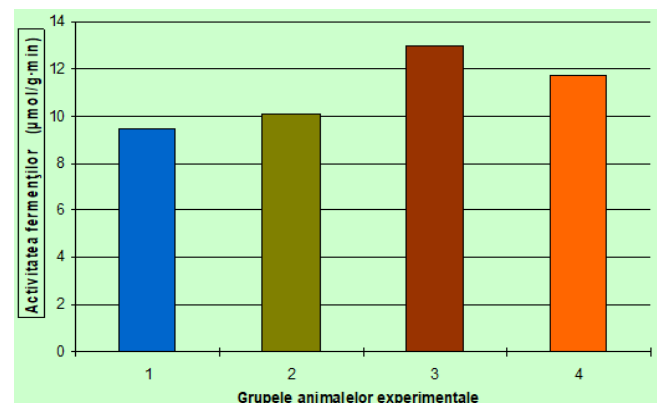
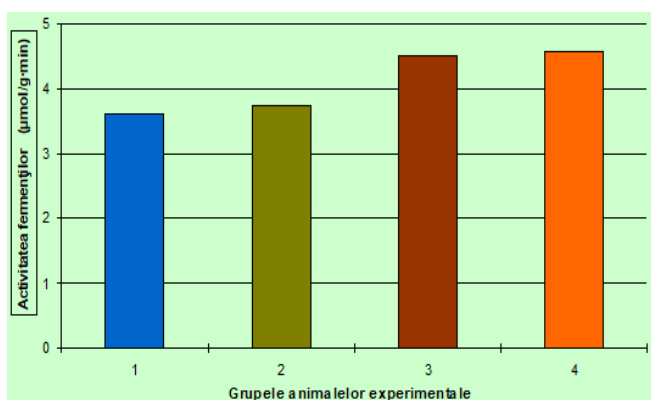


Fig. 3. Activitatea α-amilazei pancreatice la animalele întreținute cu rație alimentară cu diferită structură calorică pentru tipul hiperstenic.



Cercetarea influenței rațiilor asupra activității totale a proteazelor (pepsina A, pepsina B (gelatinaza), gastricsin, chimozină) chimului stomacului șobolanilor albi cu tipul de constituție hiperstenic, a arătat că activitatea enzimelor proteolitice al sucului gastric crește la animalele din grupele a III-a și a IV-a, care au fost alimentate cu rații cu conținut mai sporit de proteine (la animalele din grupa a III-a experimentală - neveridic) (fig. 5).

Fig. 5. Activitatea proteazelor în chimul stomacului la animalele întreținute cu rație alimentară cu diferită structură calorică pentru tipul hiperstenic.



La animalele din grupele experimentale a III-a și a IV-a activitatea peptidazelor sucului gastric este semnificativ mai sporită, decât la animalele din grupa de control ($P < 0,05$). Conform datelor obținute anterior, la animalele cu constituție hiperstenică activitatea enzimelor proteolitice din sucul gastric este, în general, mai scăzută, decât la animalele cu constituție normostenică, cu toate acestea, este semnificativ mai mare, decât la animalele cu constituție astenică.

Prin urmare, cercetările au demonstrat modul în care factorii nutritivi afectează enzimele amilolitice, proteolitice ale intestinului subțire, ale pancreasului și peptidazele stomacului la animale cu constituție hiperstenică. Datele colectate arată că la animalele cu un nivel scăzut de stresoreactivitate (tip de constituție hiperstenică), activitatea enzimelor digestive depinde

de macronutrienții compoziției rației alimentare și de structura calorică a rației alimentare. Trebuie remarcat, de asemenea, că, în comparație cu reprezentanții altor tipuri de constituție, sistemele enzimatice ale organelor digestive sunt mai rezistente la modificările structurii calorice a rației alimentare la reprezentanții tipului hiperstenic de constituție. De exemplu, o schimbare semnificativă în activitatea carbohidrazelor și proteazelor intestinului subțire, peptidazelor chimusului gastric s-a observat numai în cazul oscilație maxime a structurii calorice utilizate în aceste serii de experimente, iar o schimbare semnificativă a activității alfa-amilazei pancreatice pe fondalul dietelor experimentale a fost observată numai la animalele din grupa a III-a experimentală. Ca urmare, tipul de constituție hiperstenică indică faptul că sistemul enzimatic al organelor digestive este mai sensibil la schimbările în compoziția dietei. Acest lucru demonstrează rolul crucial al stării metabolismului în reglarea enzimelor digestive.

O analiză a datelor privind activitatea enzimelor digestive la animale cu constituții astenice și normostenice, precum și a rezultatelor cercetărilor anterioare, arată cât de important este tipul de constituție (nivelul de stresoreactivitate) pentru funcționarea sistemelor enzimatice ale sistemului digestiv. Acest lucru indică faptul că procesele de monitorizare a activității enzimelor digestive atât la nivel celular, cât și sistemic sunt legate de starea metabolismului și sunt axate pe menținerea acestuia în parametrii optimi. Caracteristicile metabolice ale fiecărui tip de constituție se manifestă și în particularitățile funcționale ale sistemului digestiv, că până în prezent este încă foarte puțin cercetat [8-10, 11].

S-a constatat că activitatea enzimelor proteolitice ale mucoasei intestinului subțire și pancreasului este semnificativ mai mare la animalele cu tipul de constituție hiperstenică, comparativ cu animalele cu constituția normostenică, și mai ales, - astenică, ceea ce este în concordanță cu conceptele de activitate mai mare a enzimelor digestive în general la hiperstenicii, precum și cu conceptele de activitate crescută la hiperstenicii a enzimelor proteolitice, comparativ cu normostenicii și, în special, astenicii [10, 12-14]. În același timp, la animalele cu constituție hiperstenică activitatea enzimelor proteolitice din sucul gastric este, în general, mai mică, decât în cazul animalelor cu constituție normostenică, chiar și în ciuda conținutului ridicat de proteine în rația alimentară. Aparent, în acest caz în prim-plan apare nivelul scăzut de reactivitate al sistemului nervos al hipertensivilor. După cum se știe, mecanismele care stau la baza secreției gastrice, sunt extrem de sensibile la nivelul de stresoreactivitate [11, 15]. Activitatea mai mare a enzimelor proteolitice ale mucoasei intestinului subțire și pancreasului la animalele cu tipul de constituție hiperstenic, comparativ

cu cel normostenic și, mai ales, astenic, aparent este condiționat de caracteristicile metabolice ale acestor tipuri constituționale și caracteristicile și nivelul activității funcționale a sistemului endocrin [3, 16-19].

În ceea ce privește carbohidrazele, situația nu este atât de clară. În timp ce activitatea amilazei pancreatice la animalele cu constituție hiperstenică, în general, este ceva mai scăzută decât cea a astenicilor, dar semnificativ mai sporită, decât cea a normostenicilor, activitatea carbohidrazelor intestinale la hiperstenicii este mai scăzută comparativ cu cea a reprezentanților tipului de constituție normostenică, dar mai sporită decât animalele cu constituție astenică, care în ambele cazuri contrazic ideile predominante. Posibil, acest lucru se datorează faptului că nivelul activității carbohidrazelor sistemelor enzimatice a intestinului subțire în mare măsură depinde de mecanismul de reglare a substratului comparativ cu aparatul de sinteză a enzimelor pancreatice. Într-adevăr, la animalele cu tipul constituției astenice și normostenice activitatea carbohidrazelor intestinului subțire la animale scade progresiv de la I-a până la a IV-a grupă odată cu creșterea conținutului de proteine în dietă. Reieșind din faptul că conținutul de glucide practic rămâne constant, se poate presupune că valoarea esențială în acest caz nu are o proporție de glucide din compoziția totală a rației, ci anume raportul dintre glucide și proteine și în măsura în care acesta se deplasează în favoarea proteinelor, activitatea carbohidrazelor scade, iar cea a enzimelor proteolitice crește. În același timp, rezultatele obținute în ceea ce privește activitatea amilazei pancreasului la șobolanii cu tipul de constituție astenică și normostenică permit să presupunem că activitatea acestei enzime într-o mare măsură este determinată de starea și nivelul metabolismului.

Concluzii

Cercetările efectuate ne permit să facem următoarele concluzii: la transmiterea semnalelor nutritive din cavitatea organelor digestive la sinteza enzimelor digestive participă celulele endocrine și hormonii gastrointestinali și factorii de creștere, care reglează expresia genelor proteinelor specifice și datele privind diferențele semnificative ale nivelului de sinteză a unor hormoni intestinali în rândul reprezentanților diferitor tipuri constituționale pentru anumite perioade înainte și după consumarea mesei, se poate presupune că particularitățile reacției enzimelor digestive asupra compoziției rației, în funcție de tipul de constituție este, de asemenea, legat de statutul special de hormoni gastro-intestinali la reprezentanții săi.

Referințe:

1. Huang, S.-C. *Attenuation of Long-Term Rhodiola rosea supplementation on exhaustive swimming-evoked oxidative stress in the rat*. In: *Chinese Journal of Physiology*, 2009, Vol. 52, Nr. 5, p. 316-324.
2. Pellow, S., Chopin, P., File, S. E., Briley, M. *Validation of open: closed arm entries in an elevated plus-maze as a measure of anxiety in the rat*. *J. Neurosci. Methods*, 1985, 14, 149-167.
3. Shao, J.-T. *Anti-fatigue effect of Gracilaria eucheumoides in mice*. In: *Experimental and therapeutic medicine*, 2013, Vol. 6, p. 1512-1516.
4. Коротько, Г. Ф. *Желудочное пищеварение, его функциональная организация и роль в пищеварительном конвейере*. Ташкент: Медицина, 1980, 219 с.
5. Kellett, G. L., Helliwell, P. A. *The diffusive component of intestinal glucose absorption is mediated by the glucose-induced recruitment of GLUT2 to the brush-border membrane*. In: *Biochem. J.*, 2000, nr. 3, p. 155-162.
6. Уголев А. М., Иезуитова Н. Н., Цветкова, В. А. *Мембранный гидролиз и транспорт*. Л.: Наука, 1986.
7. Коротько, Г. Ф., Восканян, С. Э. *Регуляция и саморегуляция секреции поджелудочной железы. // Успехи физиологических наук*, 2001, Т. 32, № 4, с. 36-59.
8. Lanham-New, S. A., Macdonald, I. A., Roche, H. M. *Nutrition and Metabolism*. Wiley-Blackwell, 2010.
9. Lee, J., Lee, J., Shin, H., Kim, K.-S. *Suggestion of new possibilities in approaching individual variability in appetite through constitutional typology: a pilot study*. In: *BMC Complement Altern. Med.* 2012, nr. 12, p. 122.
10. Lee, M., Bae, N. Y., Hwang, M., Chae, H. *Development and validation of the digestive function assessment instrument for traditional korean medicine: sasang digestive function inventory*. In: *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2013.
11. Косолапов, О. Н. *Влияние различного уровня двигательной активности и соматотипа на секреторную функцию желудка и поджелудочной железы*. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Курган, 1999.

12. Абдулхаков, Р. А. *Язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки*. В: *Актуальные вопросы внутренних болезней*. Казань, 2000, с. 162-176.
13. Махов, Н. И., Калинина, И. Ю. *Факторы риска и диагностика атеросклероза у пациентов при портальной гипертензии*. Красноярск: КрасГМУ, 2015.
14. Струтинский, Ф. А. *Физиологически адекватное питание и здоровье*. Кишинев: Типография АНМ, 2006, 408 с.
15. Григорович, М. А. *Секреторная функция и морфологические особенности слизистой оболочки желудка у людей разных типов телосложения*. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Курган, 2003.
16. Sareen, S., Groppe, J. L. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. N.-Y., 2012.
17. Sato, K. *Molecular nutrition: Interaction of nutrients, gene regulations and performances*. *Anim Sci J*. 2016, Jul 87(7):857-62. doi: 10.1111/asj.12414. Epub 2016 Apr 25. PMID: 27110862. PMCID: PMC5074288.
18. Schubert, M. L. *Functional anatomy and physiology of gastric secretion*. In: *Curr. Opin. Gastroenterol*. 2015, vol. 31, nr. 6, p. 479-485.
19. Shirazi-Beechey, S. P. et al. *Glucose sensing and signalling; regulation of intestinal glucose transport*. In: *Proc. Nutr. Soc*. 2011, vol. 70, nr. 2, p. 185-193.

Date despre autori:

Anastasia BABILEVA, doctorand, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-1126-172X

E-mail: anastasia.babileva@gmail.com

Tudor STRUTINSCHI, conferențiar cercetător, doctor habilitat în științe biologice, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-1034-5534

E-mail: nutrivit@yandex.ru

Ion MEREUȚĂ, profesor universitar, doctor habilitat în științe medicale, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-9711-5351

E-mail: ion.mereuta@usmf.md

Prezentat la 21.03.2024

CZU: 582.232:615.281

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_10](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_10)

SUBSTANȚE BIOACTIVE CU ACTIVITATE ANTIBACTERIANĂ ANTIVIRALĂ ȘI ANTIFUNGICĂ OBTINUTE DIN CIANOBACTERII

*Valentina BULIMAGA, Liliana ZOSIM,
Alina TROFIM, Daniela ELENCIUC,*

Moldova State University, Republic of Moldova

Valeriu RUDIC, Greta BALAN,

*„Nicolae Testemitanu” State University
of Medicine and Pharmacy, Republic of Moldova*

Cianobacteriile și microalgele sunt cunoscute ca potențiali producători de noi substanțe naturale fiind surse valoroase de substanțe bioactive (inclusiv metaboliți) și prezintă un interes din ce în ce mai mare pentru cercetători grație efectelor lor benefice asupra sănătății. Exploatarea tulpinilor de cianobacterii bogate în noi substanțe bioactive valoroase din punct de vedere farmacologic, inclusiv substanțe antimicrobiene (antibacteriene, antifungice și antivirale) este foarte actuală datorită apariției și răspândirii rezistenței agenților patogeni la antibioticele utilizate. Unele studii au raportat rezultate promițătoare privind cianobacteriile ca surse bogate de compuși bioactivi cu activități antibacteriene, antivirale, antifungice, algicide și citotoxice, care deschid perspectiva aplicării lor în scopuri terapeutice. În studiul dat sunt prezentate diverse caracteristici ale cianobacteriilor, inclusiv capacitatea lor de a produce compuși cu activități biologice, inclusiv antimicrobiene, antivirale și antifungice, ceea ce le face candidați potriviți pentru exploatarea lor ca surse naturale de agenți bioactivi.

Cuvinte-cheie: *cianobacterii, alge, substanțe bioactive, activitate antibacteriană, antivirală, antifungică.*

BIOACTIVE SUBSTANCES WITH ANTIBACTERIAL ANTIVIRAL AND ANTIFUNGAL ACTIVITY OBTAINED FROM CYANOBACTERIA

Cyanobacteria and microalgae are recognized as potential producers of new natural substances and represent valuable sources of bioactive substances (including metabolites), which are of increasing interest from researchers for their beneficial health effects. The exploitation of cyanobacterial strains rich in new pharmacologically important bioactive components, including antimicrobial substances (antibacterial, antifungal and antiviral) is very current due to the emergence and spread of resistance of pathogens to the used antibiotics. Some studies have reported promising results regarding cyanobacteria as rich sources of bioactive compounds with antibacterial, antiviral, antifungal, algicidal and cytotoxic activities, which open the prospect of their application for therapeutic purposes. The review presents various characteristics of cyanobacteria, including their ability to produce compounds with biological activities, including antimicrobial, antiviral and antifungal, make them suitable candidates for their exploitation as a natural source of bioactive agents.

Keywords: *cyanobacteria, algae, bioactive substances, activity antibacterial, antiviral, antifungal.*

Introduction

The use of antibiotics in fields such as medicine, agriculture, aquaculture and their production affects the environment in critical ways. This fact in recent decades has led to the emergence of multi-drug resistant (MDR) bacteria, making them one of the substantial problems facing the modern healthcare system. Antibiotic resistance has emerged in numerous species of pathogenic bacteria, some of which may be resistant to most available antimicrobials, creating an „antibiotic resistance crisis” [1- 4]. A major collaboration between researchers from different branches of science is needed to deal with this problem. As a result, the World Health Organization (WHO) initiated a global plan in 2015 to investigate and use alternative sources of bioactive substances that many countries follow him by developing numerous scientific research projects with reference to this issue [5].

Cyanobacteria are a group of photoautotrophic microorganisms that inhabit various types of environments (aquatic, terrestrial) and show high adaptability to fluctuating environmental conditions by producing different groups of primary and secondary metabolites, which allow them to easily adapt to new environmental conditions [6-8].

Already at the end of the last century, the research of cyanobacteria for the evaluation of compounds with antimicrobial (antibiotic) activity and other pharmacologically active compounds presented an increased interest for researchers [9-11]. So, for more than 2 decades efforts have been made to promote algae and cyanobacteria as food products as well as producers of chemically unique metabolites with different biological activity. These compounds include toxins, algicides, plant growth regulators, and most importantly, compounds with uses in the food and pharmaceutical industries [12-14].

A group of researchers based on an analysis of 670 papers on more than 90 genera of cyanobacteria found evidence that they produce compounds with potentially beneficial activities, most of which belong to the orders Oscillatoriales, Nostocales, Chroococcales and Synechococcales. The rest of the orders remain insufficiently studied. The various cyanobacterial metabolites possessing beneficial bioactivities belong to 10 different chemical classes (alkaloids, depsipeptides, lipopeptides, macrolides/lactones, peptides, terpenes, polysaccharides, lipids, and others) exhibiting various biological activities. They also produce a wide variety of bioactive compounds such as proteins, lipids, polysaccharides, fatty acids, alkaloids and polyketides, substances with valuable properties such as antifungal, antiviral, antibacterial, algicidal and anti-inflammatory activity. 5 classes of chemical compounds (alkaloids, depsipeptides, lipopeptides, macrolides and peptides) have been highlighted that would exhibit a remarkable set of activities. The compounds with the highest activity were found to be alkaloids, lipopeptides and polyketides [15].

So, cyanobacteria strains are a rich source of natural bioactive substances with pharmacological and biotechnological potential [7]. Due to the current increase in their pharmaceutical value and the prospects of their application for use in medicine or biotechnology, the exploration of unvalorified cyanobacterial taxa constitutes a promising strategy to effectively evaluate the chemical diversity of their bioactive compounds [1, 15-17].

Both cyanobacteria and microalgae have been identified as important producers of secondary metabolites that possess both antibacterial and antiviral activities [16, 18]. Indeed, these organisms produce a wide variety of bioactive secondary metabolites, which are accumulated in the cell or excreted into the surrounding media, usually at the end of the exponential and stationary phase of growth. Many of these metabolites such as free saturated or unsaturated fatty acids exhibit antibacterial activity. Other compounds from microalgae and cyanobacteria exhibit antiproliferative or antifungal properties or are able to inhibit viral infection and/or replication [19, 20].

Cyanobacteria and algae, apart from their nutritional value, possess not only antioxidant but also antimicrobial and antiviral properties [21-23].

Cyanobacteria and microalgae produce a wide variety of lipids with antibiotic activity against the most important pathogens that cause severe infections in humans. Lipids are part of the primary metabolites of microalgae and cyanobacteria and can find application in pharmaceutical, cosmetic, food, etc. Some of the antimicrobial activities of microalgae and cyanobacteria have been linked to unsaturated fatty acids. The first such antimicrobial compound, chlorelin, was isolated from *Chlorella* sp. by Pratt et al. in 1944 and represents a mixture of fatty acids that inhibit the growth of both gram-positive and gram-negative bacteria [24].

In addition, eicosapentaenoic acid (EPA), hexadecatrienoic acid and palmitoleic acid isolated from *Phaeodactylum tricornutum* have been shown to possess antimicrobial activity against methicillin-resistant gram-positive *Staphylococcus aureus* [1]. Fatty acids with antimicrobial properties have also been identified in other organisms [25, 26]. Similarly, unsaturated fatty acids from *Scenedesmus intermedius*, *Chaetoceros muelleri*, *Haematococcus pluvialis*, *Chlorococcum* sp. and *Skeletonema costatum* also have antimicrobial effects on a wide range of gram-positive and gram-negative bacteria. The organic extracts obtained from *Euglena viridis* and *S. costatum* showed inhibitory activity against *Pseudomonas* sp. and *Listeria monocytogenes* [27, 28].

Extracts containing fatty acids obtained from the green microalga *Coccomyxa cubensis* were shown to exhibit inhibition against a diverse range of Gram-positive and Gram-negative bacteria and fungi, with a minimum inhibitory concentration (MIC) of 305 and 106 mg/mL against *E.coli* and *P. mirabilis*, respectively [29]. In addition, liquid extracts of *Fucus vesiculosus*, obtained under pressure, contained long-chain fatty acids that showed inhibitory capacity on *E. coli* (IC₅₀ = 2.24 mg/mL) and *S. aureus* (IC₅₀ = 1.27 mg/mL [30]. Important compounds with antimicrobial and others properties besides unsaturated fatty acids are acrylic acid, halogenated aliphatic compounds, terpenes, sulfur-containing heterocyclic compounds, carbohydrates and phenols [31].

Recently, a group of Spanish researchers after screening about 600 strains of microalgae and cyanobacteria selected three strains of microalgae and one strain of cyanobacteria to evaluate their antibacterial and/or antibiofilm activity [32]. The summary organic extracts were first fractionated by solid phase extraction methods and their minimum inhibitory concentration and biofilm minimum inhibitory concentration on some human pathogens were determined. The use of these lipids in clinical treatments alone or in combination with antibiotics may provide an alternative to current treatments.

Although the previous inventions of the developed vaccines provided acquired immunity, recent efforts to develop antiviral, antibacterial, antifungal drugs are increasing tremendously due to the emergence or (re)emergence of infectious diseases and increasing resistance to antibiotics. Therefore, there is a need to investigate new sources of bioactive substances of natural origin.

Cyanobacteria and algae that have come into the limelight for the various therapeutic properties they possess.

Since 2000, epidemics caused by viruses have affected the health of the population internationally, followed by many deaths. Viral diseases such as severe acute respiratory syndrome (SARS), Middle East respiratory syndrome (MERS), bird flu, swine flu, Ebola, and recently, coronavirus disease 2019 (COVID-19) have further aggravated the situation due to increasing viral resistance and adverse effects of antiviral drugs [33, 34]. As an alternative, lectins (antiviral proteins) isolated from cyanobacteria and marine organisms are proposed as antiviral agents. Lectins are monomeric proteins with low molecular weight, usually exhibiting inhibitory specificity for glycoproteins and do not require metal ions for their biological activities [41].

Many lectins inhibit viral replication by interacting with viral glycoproteins envelope. Such antiviral lectins have been identified in bacteria, plants, seaweeds and cyanobacteria. Lectins are proteins that bind to specific carbohydrate structures but have no enzymatic activity. A surprising structural diversity is observed in antiviral lectins derived from prokaryotic species, which include the proteins: actinohivin (AH) [36] microvirin (MVN), lectin (MVL) from *Microcystis viridis* [37], agglutinin from *Oscillatoria agardhii* and scytovirin (SVN) [38,39]. Moreover, lectins derived from prokaryotes have a broad specificity to bind both to the high-mannose oligosaccharide core as well as mannose fragments.

Antiviral action was also shown by sulfated polysaccharide compound calcium Spirulan (Ca-SP) isolated from *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*)

Sulfated polysaccharide was isolated in 1996 and has shown antiviral activity against a wide range of viruses, including HIV-1, herpes simplex virus type 1 (HSV-1), cytomegalovirus human (HCMV), measles morbillivirus (MeV), mumps virus and influenza virus [40]. Ca-SP interferes at a very early stage of the virus replication process, eg, the adsorption and penetration phases.

Others sulfated polysaccharides from the diatom *Navicula directa* and the green microalga *Chlorella autotrophica* were shown to inhibit the replication and hyaluronidase enzymes of VHSV, ASFV, HSV1 and 2 and influenza A virus [41,42].

Another polysaccharide, called nostoflan, was isolated from *Nostoc flagelliforme* and its molecular weight was estimated to be 211 kDa [43]. Nostoflan possesses strong antiviral activities only against enveloped viruses such as HSV, HCMV and influenza virus A.

Singh et al. evaluated the significance of different metabolites in cyanobacteria, which include phenolic compounds, phytoenes/terpenoids, phytols, sterols, free fatty acids, photoprotective compounds (Microsporin-like amino acids (MAAs), scytonemin, carotenoids, polysaccharides, halogenated compounds,

etc.), phytohormones, cyanotoxins, biocides (algacides, herbicides and insecticides) etc. and analyzed the importance of some metabolites as antibiotic, immunosuppressive, anticancer, antiviral and anti-inflammatory agents. Metabolites obtained from cyanobacteria and algae have several biotechnological, industrial, pharmaceutical and cosmetic uses [17].

In some studies it has been observed that the synthesis of antibacterial compounds is influenced by the cultivation conditions. Fatima et al. evaluated the antibacterial activity of isopropanolic, methanolic and aqueous extracts of cyanobacteria *Synechococcus spp. PCC7942*, exposed to UV-B radiation. The antibacterial activity of *Synechococcus spp. PCC7942* was tested on five potent skin pathogens. The highest antibacterial activity was observed in methanolic extracts obtained from cultures of *Synechococcus spp. PCC7942* exposed to UV-B radiation for 24 hours. This antibacterial activity could be due to the presence in the extracts of an increased amount of carotenoids and phycocyanin in the culture subjected to UV-B irradiation stress [44]. In confirmation of the antibacterial activity of phycocyanin, can be mentioned the results reported on the biological activity of C-phycocyanin (C-PC) preparations isolated from various strains of cyanobacteria: *Anabaena oryzae* [45]; *Oscillatoria sp.* [46]; *Spirulina platensis* [47,48], and *Westiellopsis sp.*[49]. According to the data reported by Safari et al. 2017, the antibacterial activity of partially purified C-phycocyanin (C-PC) from *Spirulina platensis* on some pathogenic bacteria was performed using agar disc diffusion and microdilution, determining the minimum inhibitory concentration (MIC) and the minimum bactericidal concentration (MBC). The selected bacteria were *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus iniae* and *Yersinia ruckeri*. The results of C -phycocyanin MIC and MBC were 50–500 and 100–500 $\mu\text{g ml}^{-1}$, respectively. However, in this case the antibacterial activity of C-PC was lower compared to C-PC from other cyanobacteria and algal pigments (such as astaxanthin). It was determined that C-PC from *S. platensis* also exhibited high potential for antioxidant activity in vitro and could also be used as a natural antioxidant in a variety of foods [47].

Another compound with antibacterial activity proved to be Nostocin A isolated from the cyanobacterium *Nostoc spongiaeforme*, the synthesis and releasing of which occurs under conditions of oxidative stress (higher temperature and light) [50]. Other bioactive substances with an antibacterial effect are the antibacterial diterpenoids from *Nostoc commune*, [17, 51, 52]. Many of the metabolites synthesized by cyanobacteria, such as pigments, carbohydrates, polyphenols, fatty acids, lipids and other cellular compounds have shown significant antimicrobial activity [53].

Rania and Taha (2008) reported that numerous extracts obtained from the biomass of the cyanobacterium *Spirulina platensis* showed antimicrobial activity against both Gram-positive and Gram-negative microorganisms [54]. A variety of cyanobacteria are producing natural products that exhibit antifungal activity [8, 55, 56). The chemical structures of these compounds are variable, including alkaloids, aromatic compounds, polyketides, and various types of peptides. Antifungal peptides have been detected in the cyanobacterium *Tolypotrix byssoidea* [52, 57]. In addition, there are several compounds that exhibit antifungal activity along with other activities. In cyanobacteria there are also natural compounds that exhibit, for example, antifungal and cytotoxic activity against mammalian cells, such as scytonycin and glicolipoptide hassallidin [10].

Recently, several reviews have been published on the isolation of extracts of bioactive substances from algae and cyanobacteria and the evaluation of their biological activity [8, 58-60].

Ethanol extracts of the microalgae *Isochrysis galbana* and *Dunaliella salina* were also found to be active against four different bacterial strains with an inhibitory concentration (IC50) of 100 and 80 mg/ml, respectively [61].

Numerous investigations carried out in vitro have allowed that species of cyanobacteria such as *Spirulina platensis*(Gomont), *Anabaena variabilis* (Kutz.), *Nostoc muscorum* (Agardh), *Nostoc linckia* (Bornet), *Oscillatoria acuminata* (Gomont), *Oscillatoria amphigranulata* (Goor), *Oscillatoria sp.*, *Nostoc sp.*, *Nostoc muscorum*, *Nostoc piscinale*, *Phormidium sp.*, *Anabaena flos-aquae*, *Lyngbya officinalis* NCCU-102, *Gleocapsa gelatinosa* NCCU-430, *Chroococcus sp.* NCCU-207, *Aulosira fertillisma* NCCU-444, *Anabaena ambigua* NCCU-160, *Hapalosiphon fontinalis* NCCU-339, *Anabaena sp.* NCCU-09, *Anabaena variabilis* NCCU-441, *Westiellopsis prolifica* NCCU-331, *Scytonema sp.* NCCU-126 and oth-

er, can be accepted as species producing bioactive substances with antimicrobial action on human pathogens and other activities [62, 63].

In confirmation, other studies have been undertaken on cyanobacteria isolated from soil to assess their antimicrobial activity. Aqueous, etheric and methanolic extracts of 76 microalgae and cyanobacteria were screened for antimicrobial properties against four pathogenic bacteria and two fungi. Of the total microalgae, 22.4% (17 cyanobacteria) showed antimicrobial effects. The selected cyanobacteria with positive antimicrobial activities were members of the families Stigonemataceae, Nostocaceae, Oscillatoriaceae and Chroococcaceae. The growth of Persian type collection cultures of *Bacillus subtilis* (PTCC) 1204 and *Staphylococcus epidermidis* PTCC 1114 were inhibited by 12 and 14 species of cyanobacteria, respectively. Also, eight species of cyanobacteria inhibited the growth of strain *Escherichia coli* PTCC 1047, and two species inhibited the growth of *Salmonella typhi* PTCC 1108 strain. Fungal activity was also established, of which six species inhibited the growth of *Candida kefyr* ATCC 1140 strain, and one specie of cyanobacteria inhibited the growth of strain *C. albicans* ATCC 14053 [64].

Kumar et al. studied the antibacterial and antifungal activity of methanolic extracts of *Phormidium fragile* on some strains of pathogens (*Staphylococcus aureus*, *Vibrio cholerae* and *Salmonella typhi*) and the antifungal activity on some strains of fungi (*Aspergillus flavus*, *Candida albicans* and *Trichoderma viride*). Assays were performed after evaporation of the methanol and concentration of the extract (up to 15%) with the application of 20 µl on the agar by the Muller Hinton agar disk diffusion method. The analyzed extracts of *P.fragile* demonstrated significant antibacterial and antifungal activities, which could be much more effective compared to contemporary antibiotics and fungicides [65]. In another study by Tiwari and Sharma (2013), were demonstrated that the extracts obtained from the cyanobacteria *Anabaena variabilis* and *Synechococcus elongates* showed a significant antibacterial effect against *Enterococcus* sp., *Klebsiella* sp. and *E. Coli* [66].

Malathi et al. (2014), investigated the antibacterial action of methanol, chloroform and aqueous extracts obtained from the biomass of the cyanobacteria *Tolypothrix tenuis*, *Anabaena variabilis* and *Cylindrospermum* sp. on the pathogenic bacteria *B. subtilis* and *P. aeruginosa* and established that the tested extracts showed an antibacterial effect, and the most pronounced antibacterial effect was observed in the case of the chloroform extract [67].

In the research carried out by Silva-Stenico et al. were evaluated the antitumor and antimicrobial activities of intra- and extracellular extracts of cyanobacteria. A total of 411 cyanobacterial strains were tested for antimicrobial activity using a subset of pathogenic bacteria as targets. Antitumor tests in vitro were performed with extracts from 24 strains tested against two murine cancer cell lines (colon carcinoma CT-26 and lung cancer 3LL). The intracellular extracts inhibited 49 and 35% of the growth of Gram-negative and Gram-positive pathogenic bacteria, respectively. In addition, the intracellular methanolic extract of *Cylindrospermopsis raciborskii* CYP011K and *Nostoc* sp. CENA69 showed inhibitory activity against cancer cell lines. The extracellular extract from *Fischerella* sp. CENA213 and *Microcystis aeruginosa* NPJB-1 showed inhibitory activity against 3LL lung cancer cells at 0.8 pg ml⁻¹. These extracts showed very low inhibitory activity on human peripheral blood lymphocytes. The results showed that some cyanobacterial strains are rich sources of natural products with potential for pharmacological and biotechnological applications [68].

The antimicrobial and antifungal potential of successive extracts from some species of cyanobacteria on eight human pathogens (bacterial strains) and 5 fungal strains was evaluated by Egyptian researchers [62]. For this purpose, the aqueous and organic extracts of seven species of cyanobacteria (*Oscillatoria* sp., *Nostoc* sp., *N. muscorum*, *N. piscinale*, *Phormidium* sp., *A. flos-aquae* and *S. platensis*) were used. The chloroform extracts obtained from studied cyanobacterial species showed an extended zone of antibacterial inhibition against pathogenic bacterial strains. Chloroform extracts registered a broad spectrum against Gram-negative bacteria (*E. coli*, *Aeromonas hydrophila*, *Salmonella enterica* S 1180, *Salmonella paratyphi*, *Klebsiella pneumonia* K 51 and *Vibrio cholera* V116,) and Gram-positive bacteria (*S. aureus* S 1426, *L. monocytogenes* L 49). At the same time, the chloroform extracts also showed antifungal activity against *Aspergillus terreus* F98, while none of the extracts of the seven cyanobacterial strains demonstrated

activity against species *Tirchoderma viride* F94. Ethanol extracts from four of the studied cyanobacteria species showed antifungal activity against both yeast strains *C. tropicalis* Y26 and *S. cerevisiae* Y39, and for ethyl acetate extracts from all cyanobacteria species, the antifungal capacity against *S. cerevisiae* was also established [62].

Screening of bioactive substances from 4 species of cyanobacteria (*Lyngbya* sp, *Nostoc* sp, *Phormidium* sp and *Calothrix* sp.) isolated from the South East Coast of India was carried out by Indian researchers. Chloroform cyanobacterial extracts were examined by in vitro analysis to evaluate the antimicrobial effects on four pathogenic bacteria (*S. aureus*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis*, *E. coli*) and two fungal species (*A. niger* and *Penicillium* sp.) using the disk diffusion method. Among the four cyanobacterial extracts, *Lyngbya* sp. extract demonstrated a considerable inhibitory effect on the investigated bacterial and fungal pathogens. The most extensive inhibition zone (10 mm) was observed against the *E. coli* strain and the least inhibition activity against *P. aeruginosa* (7.5 mm). The antimicrobial bioassay of the extracts was examined by determining the minimum inhibitory concentration (MIC) with all pathogenic bacteria and fungi. The MIC results of the tests showed that the extracts had a significant influence on the studied microbial pathogens. [69].

Many species of cyanobacteria produce cytotoxic substances, with antibacterial, antifungal and anti-cancer effects, they are represented by cyclic peptides microcystins (Microcystis, Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Nostoc, Hapalosiphon, Anabaenopsis) and nodularin (Nodularia), alkaloids (Anabaena, Planktothrix (Oscillatoria), Aphanizomenon, Lyngbya, Schizothrix, Aphanizomenon, Umekazia, Lyngbya, Cylindrospermopsis) and lipopolysaccharides, present in all extant cyanobacteria [70].

In a more recent study, cyanobacterial strains from Brazilian natural product habitats were analyzed to evaluate the antileukemic and antimicrobial activity of their extracts. Thus the Brazilian cyanobacteria belonging to the orders: Synechococcales, Oscillatoriales, Chroococcales, Chroococciopsidales, and Nostocales showed anticancer, antibacterial and antifungal activity. Through mass spectrometric analysis and with a dereplication tool, the toxic compounds known as microcystin, saxitoxin, aeruginosin, hassallidin, nodularin, anabaenopeptin, pseudoaeruginosin and puwainaphycin A were identified in the composition of the cyanobacteria. Unknown chlorinated molecules were also detected in the extracts that would present interest as cytotoxic agents [10].

The antimicrobial capacity of the 50% methanolic extracts obtained from 4 species of algae *Ascophyllum nodosum*, *Chlorella vulgaris*, *Lithotamnium calcareum* and *Schizochytrium* spp. and from the cyanobacterium *A. platensis* was also evaluated on porcine *E. coli* O138 [21]. To detect the presence of major virulence factors characterized by PCR, the inhibition effect of diluted extracts at concentrations of 25vol%, 12.5vol%, 6vol%, 3vol% and 1.5vol% on the growth of porcine *E. coli* O138 was determined by the bacterial growth method by microdilution. All tested extracts showed an increase in inhibition activity at the concentration of 25 vol%.

TYAGI et al. examined some cyanobacteria for the evaluation of their antibacterial and antifungal properties, using their extracts in three different solvents (ethanol, methanol-toluene (3:1) and acetone), on agar solidified nutrient medium by the agar diffusion method. The tested extracts from only five cyanobacteria: *Westiellopsis prolifica* ARM 365, *Hapalosiphon hibernicus* ARM 178, *Nostoc muscorm* ARM 221, *Fischerella* sp. ARM 354 and *Scytonema* sp. have demonstrated antimicrobial activity on the bacteria *P. striata*, *B. subtilis*, *E. coli*, *Bradyrhizobium* sp. and fungi *A. niger*, *A. brassicae* and *F. moniliforme*. The ethanolic extracts from the cyanobacteria *W. prolifica* ARM 365 and *H. hibernicus* ARM 178 showed the highest antibacterial and antifungal activity on the tested bacteria and fungi, the formation of the extended inhibition zone on the solidified agar nutrient medium being highlighted proved to be the most prominent. The ethanolic extracts of *H. hibernicus* ARM 178 and *W. prolifica* ARM 365 inhibited the growth of bacteria *P. striata* more strongly, compared to the growth of *A. niger*. These antimicrobial compounds may have pharmaceutical and bio control applications or agricultural potential [71].

Chloroform, methanol and aqueous extracts were obtained from the cyanobacterium *Dolichospermum affine* isolated from fresh water and tested for their effectiveness against 5 pathogenic bacterial strains (*P.*

aeruginosa (ATCC 27853), *Shigella dysenteriae* (ATCC 11835), *E. coli* (ATCC 25924), *S. aureus* (ATCC 29213) and *B. subtilis* (ATCC 6633). In case of methanolic extracts, the highest antimicrobial activity was observed for *E. coli* (DIZ=13.9±0.05 mm), followed by *B. subtilis* (DIZ=13.6±0.05 mm). Minimal antibacterial effect of chloroform extracts of *D. affine* was observed on *P.aeruginosa* (DIZ=11.7±0.02 mm) and *S. aureus* (DIZ=12.2±0.03 mm). No zone of inhibition was detected for gram-negative bacteria *S. dysenteriae*. The aqueous extract showed weak activities against the tested pathogenic bacteria. Therefore, this study revealed that extracts of *D. affine* would be a promising natural resource of new antibiotics and additional research is needed related to the isolation and purification of the fractions of bioactive substances of interest [72].

Gheda and Ismaiel tested ethyl acetate, n-hexane and methanol extracts of six species of cyanobacteria isolated from rice fields in Egypt for their antimicrobial activity, using the disk diffusion method. Methanol extracts of *O.acuminata*, *O.amphigranulata* and *S.platensis* showed the largest zones of inhibition. The minimum inhibitory concentration of the *O. amphigranulata* extract recorded lower values. Both methanolic extracts of *O. acuminata* and *O. amphigranulata* showed high cytotoxicity activity on liver cancer cell lines HepG2, colon cancer cell lines HCT-116 and mammary gland adenocarcinoma cell lines MCF-7. At the same time, the *S. platensis* extract showed a moderate cytotoxicity for all cell lines. The results of gas chromatography/mass spectroscopy analysis revealed that the potential activity (of these cyanobacteria extracts could be attributed to a synergistic effect between their pronounced content of fatty acids, alkaloids, phytol, hydrocarbons, phenolic compounds, especially fatty acids [31].

Recently research relating to screening of antimicrobial compounds isolated from cyanobacteria includes in vitro approaches such as activity assays, as well as in silico approaches using contemporary genome extraction tools, extraction and bioactivity assays of bioactive compounds from cyanobacteria providing more extensive data on the antimicrobial action of bioactive compounds obtained from cyanobacteria. In addition to classical methods of antimicrobial activity assessment this study provides an overview of developments in the area of genome-based screening, using in vivo the PCR technique or in silico - a recent genome extraction method [73]. The summary tools are applicable. not only for cyanobacteria and can also be transferred to other microorganisms.

Conclusions

Based on the analysis of data presented by a series of authors over the last two decades, it has been concluded that a key factor in the fight against the spread of drug-resistant pathogens is the identification of new antibacterial, antiviral, antifungal and anticancer substances produced by cyanobacteria and algae and promoting on the market new treatments with their use.

Numerous researches carried out in vitro have allowed that species of cyanobacteria such as: *Spirulina platensis* (Gomont), *Anabaena* sp., *A. variabilis* (Kutz.), *A. ambigua*, *A.flos-aquae*, *Nostoc* sp., *N. muscorum* (Agardh), *N. linckia* (Bornet), *N.piscinale*, *Oscillatoria* sp., *O. acuminata* (Gomont), *O. amphigranulata* (Goor), *Phormidium* sp., *Lyngbya officinalis*, *Gleocapsa gelatinosa*, *Chroococcus* sp, *Aulosira fertillisma*, *Hapalosiphon fontinalis*, *Westiellopsis prolifica*, *Fisherella* sp., *Rivularia mesenterica*, *Dolichospermum affine*, *Scytonema* sp. and other can to be examined as species producing bioactive substances with antimicrobial, antiviral, antifungal action on human pathogens.

The identified compounds with biological activity, produced by cyanobacteria are: alkaloids, depsipeptides, lipopeptides, macrolides/lactones, peptides, terpenes, sulfated polysaccharides (Ca-Spirulan, nostoflan, etc.), C-phycocyanin, lipids (polyunsaturated fatty acids), phenols, pigments, carbohydrates, polyphenols, hydrocarbons, phytoenes/terpenoids, phytols, sterols, phytohormones, cyanotoxins (microcystins, nodularin, alkaloids and lipopolysaccharides), biocides (algicides, herbicides and insecticides) and others compounds.

Therefore, the development of new biotechnologies for obtaining and developing antimicrobial, antiviral, antifungal and antitumor natural products from cyanobacteria and algae is a perspective path in the development of pharmaceuticals worldwide.

References:

1. ALSENANI, F., TUPALLY, K. R., CHUA, E. T., ELTANAHY, E., ALSUFYANI, H.: *Evaluation of microalgae and cyanobacteria as potential sources of antimicrobial compounds. Saudi Pharmaceutical Journal*, 2020, vol. 28, p. 12.
2. LAXMINARAYAN, R., DUSE, A., WATTAL, C., ZAIDI, A. K. M., WERTHEIM, H. F. L., SUMPRADIT, N., VLIEGHE, E., HARA, G. L., GOULD, I. M., GOOSSENS, H., GREKO, C., SO, A.D., BIGDELI, M., TOMSON, G., WOODHOUSE, W. et al.: *Antibiotic resistance-the need for global solutions. The Lancet Infectious Diseases*, 2013, vol. 13, p. 12.
3. O'NEILL, J. *Antimicrobial Resistance: Tackling a crisis for the health and wealth of nations: final report and recommendations. The Review on Antimicrobial Resistance*, 2014, 14 p.
4. ROSSOLINI, G. M., ARENA, F., PECILE, P. et al.: *Update on the antibiotic resistance crisis. Curr Opin Pharmacol.*, 2014, vol. 18, p. 56-60.
5. ORGANIZATION, W. H., 2015. *Investing to overcome the global impact of neglected tropical diseases: third WHO report on neglected tropical diseases World Health Organization*, 2015.
6. HEIDARI, F., RIAHI, H, YOUSEFZADI, M., ASADI, M.: *Antimicrobial activity of cyanobacteria isolated from hot spring of Geno. Middle-East J Sci Res.*, 2012, vol. 12, p. 336-339.
7. PANDEY, V. D. *Cyanobacterial natural products as antimicrobial agents. Inter J Curr Microbiol Appl Sci.*, 2015, vol. 4, p. 310-317.
8. PANDEY, V. D. *Cyanobacterial natural products as antimicrobial agents. Inter J Curr Microbiol Appl Sci.*, 2015, vol. 4, p. 310-317.
9. BROWITZKA, M. A.: *Microalgae as sources of pharmaceuticals and other biologically active. J. Eco. Heal. Env.*, 2015, vol. 3, p. 7-13.
10. SHISHIDO, T. K., HUMISTO, A., JOKELA, J.: *Antifungal Compounds from Cyanobacteria. Mar Drugs*, 2015, vol. 13, p. 2124–2140 .
11. TAN, L. T.: *Bioactive natural products from marine cyanobacteria for drug discovery. Phytochem* 2007, vol. 68, p. 954–979.
12. BAJPAI, V. K., SHUKLA, S., KANG, S-M., HWANG, S. K., SONG, X., HUH, Y. S., HAN, Y-K.: *Developments of Cyanobacteria for Nano-Marine Drugs: Relevance of Nanoformulations in Cancer Therapies. Mar. Drugs.*, 2018, vol. 16, p. 1791.
13. BHATTACHARJEE, M.: *Pharmaceutically valuable bioactive compounds of algae. Asian J. Pharm. Clin. Res.*, 2016, vol. 7, p. 43-47.
14. JEONG, Y., CHO, S. H., LEE, H., CHOI, H. K., KIM, D. M., LEE, C. G., CHO, S., CHO, B. K. *Current Status and Future Strategies to Increase Secondary Metabolite Production from Cyanobacteria. Microorganisms*, 2020, vol. 8, p. 1849.
15. DEMAY, J., BERNARD, C., REINHARDT, A. AND MARIA, B.: *Natural Products from Cyanobacteria: Focus on Beneficial Activities. Mar. Drugs*, 2019, vol. 17, p. 320.
16. CARPINE, R., SIEBER, S. *Antibacterial and antiviral metabolites from cyanobacteria. Their application and their impact on human health. Current Research in Biotechnology.*, 2021, vol. 3, p. 65–81.
17. SINGH, A, PARIHAR, P., SINGH, M., BAJGUZ, A, KUMAR, J., SINGH, S., SINGH, V.P., PRASAD, S. M.: *Uncovering Potential Applications of Cyanobacteria and Algal Metabolites in Biology, Agriculture and Medicine. Current Status and Future Prospects. Front. Microbiol., Sec. Food Microbiology*, 2017, 8, p. 1-37, article 515.
18. EL-KARIM, A. M. S. *Chemical composition and antimicrobial activities of cyanobacterial mats from hyper saline lakes, orthern weastern desert. Egypt J Appl Sci.*, 2016, vol. 16, p. 1-10.
19. DEWI, I., FALAISE, CH., HELLIO, C., BOURGOUGNON, N., MOUGET, J.-L., LEVINE I. A., FLEURENCE, J. Chapter 12. *Anticancer, Antiviral, Antibacterial, and Antifungal Properties in Microalgae. I. A., Levine, J., Fleurence (Eds.) Microalgae in Health and Disease Prevention, Academic Press France Elsevier*, 2018, p. 235-261.
20. GHASEMI, Y., MORADIANA, A., MOHAGHEGHZADEH, A., SHOKRAVI, S., MOROWAT, A. *Antifungal and Antibacterial Activity of the Microalgae Collected from Paddy Fields of Iran: Characterization of Antimicrobial Activity of Chroococcus disperses. Journal of Biological Sciences* 2007, vol. 7, p. 904-910.

21. FRAZZINI, S., SCAGLIA, E., DELL'ANNO, M., REGGI, S., PANSERI, S., GIROMINI CARLOTTA., LANZONI, D., SGOIFO ROSSI, A.C., ROSSI, L. *Antioxidant and Antimicrobial Activity of Algal and Cyanobacterial Extracts: An In Vitro Study. Antioxidants*, 2022, vol. 11, p. 992.
22. PLOUTNO, A., CARMELI, S., NOSTOCYCLINE, A. *A Novel Antimicrobial Cyclophane from the Cyanobacterium Nostoc sp. J. Nat. Prod.*, 2000, vol. 63, p. 1524-1526.
23. SKOČIBUŠIĆ, M., LACIĆ, S., RAŠIĆ, Z. *Evaluation of Antimicrobial Potential of the Marine Cyanobacterium Rivularia mesenterica. Journal of Advances in Microbiology*, 2019, vol. 16, p. 1-11.
24. PRATT, R., DANIELS, T. C., EILER, J. J., GUNNISON, J. B., KUMLER, W. D., ONETO, J. F., STRAIT, L. A., SPOEHR, H. A., HARDIN, G. J., MILNER, H. W., SMITH, J. H., STRAIN, H. H. *Chlorellin, an antibacterial substance from Chlorella. Science*, 1944, vol. 99, p. 351-352.
25. BENKENDORFF, K., DAVIS, A. R., BREMNER, J. B. *Free fatty acids and sterols in the benthic spawn of aquatic molluscs, and their associated antimicrobial properties, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2005, 316, 29-44 (2005).
26. SMITH, V. J., DESBOIS A. P., DRYRYNDA, E.A. *Conventional and unconventional antimicrobials from fish, marine invertebrates and micro-algae. Mar. Drugs*, 2010, vol. 8, p. 1213-1262.
27. DAS, B. K., PRADHAN, J., PATTNAIK, P., Samantaray, B. R., Sama, S. K. *Production of antibacterials from the freshwater alga Euglena viridis (Ehren). World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2005, vol. 21, p. 45–50.
28. TEREKHOVA, V. E., AIZDAICHERB, N. A., BUZOLEVAC, L. S., SOMOV, G. P. *Influence of extrametabolites of marine microalgae on the reproduction of the bacterium Listeria monocytogenes. Russ. J. Mar. Biol.*, 2009, vol. 35. p. 355–358.
29. NAVARRO, F., FORJÁN, E., VÁZQUEZ, M., TOIMIL, A., MONTERO, Z. et al. *Antimicrobial activity of the acidophilic eukaryotic microalga Coccomyxa onubensis. J. Phycol. Res.*, 2017, vol. 65, p. 38–43.
30. OTERO, P., QUINTANA, S. E., REGLERO, G., FORNARI, T., GARCÍA-RISCO, M. R. *Pressurized liquid extraction (PLE) as an innovative green technology for the effective enrichment of Galician algae extracts with high quality fatty acids and antimicrobial and antioxidant properties. Mar. Drugs*, 2018, vol. 16, p. 156.
31. GHEDA, S. F., IZMAIL, G. *Natural products from some soil cyanobacterial extracts with potent antimicrobial, antioxidant and cytotoxic activities. Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2020, vol. 92, p. 1-18.
32. CEPAS, V., GUTIÉRREZ-DEL-RÍO, I., LÓPEZ, Y., REDONDO-BLANCO, S., GABASA, Y., IGLESIAS, M. J., SOENGAS, R., FERNÁNDEZ-LORENZO, A., LÓPEZ-IBÁÑEZ, S., VILLAR, C. J. et al. *Microalgae and Cyanobacteria Strains as Producers of Lipids with Antibacterial and Antibiofilm Activity. Mar. Drugs*, 2021, vol. 19, p. 1-20.
33. GRUBAUGH, N. D., LADNER, J. T., LEMEY, P., PYBUS, O. G., RAMBAUT, A., HOLMES, E. C., ANDERSEN, K. G., GUAN, W.-J., NI, Z.-Y., HU, Y., LIANG et al. *Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. N. Engl. J. Med.* 2020, vol. 382, p. 1708–1720.
34. GRUBAUGH, N. D. et al.: *Tracking virus outbreaks in the twenty-first century. Nat. Microbiol.* 2019, vol. 4, p. 10–19.
35. MITCHELL, C. A., RAMESSAR, K., O'KEEFE, B. R. *Antiviral lectins: Selective inhibitors of viral entry. Antiviral Research*, 2017, vol. 142, p. 37-54.
36. TANAKA, H., CHIBA, H., INOKOSHI, J., KUNO, A., SUGAI, T., TAKAHASHI, A., ITO, Y., et al.: *Mechanism by which the lectin actinohivin blocks HIV infection of target cells. PNAS*, 2009, vol. 106, p. 15633-15638.
37. MAZUR-MARZEC, H., CEGŁOWSKA, M., KONKEL, R., PYRĆ, K. *Antiviral Cyanometabolites -A Review. Biomolecules*, 2021, vol. 11, p. 474.
38. FÉRIR, G., HUSKENS, D., NOPPEN, S., KOHARUDIN, L. M. I., GRONENBORN, A. M., SCHOLS, D. *Broad anti-HIV activity of the Oscillatoria agardhii agglutinin homologue lectin family. J. Antimicrob. Chemother*, 2014, vol. 69, p. 2746–2758.
39. MC-FEETERS, R. L., XIONG, C., O'KEEFE, B. R., BOKESCH, H. R., MCMAHON, J. B., RATNER, D. M., CASTELLI, R., SEEBERGER, P. H., BYRD, R. A. *The novel fold of scytovirin reveals a new twist for antiviral entry inhibitors. JMolBiol.*, 2007, vol. 369, p. 451-461.

40. HAYASHI, K., HAYASHI, T., KOJIMA, I. *A natural sulfated polysaccharide, calcium spirulan, isolated from Spirulina platensis: in vitro and ex vivo evaluation of anti-herpes simplex virus and anti-human immunodeficiency virus activities.* *AIDS Res. Hum. Retroviruses* 1996, vol. 12, p. 1463–1471.
41. FABREGAS, J., GARCÍA, D., FERNANDEZ-ALONSO, M., ROCHA, A. I., GÓMEZ-PUERTAS, P., ESCRIBANO, J. M. et al. *In vitro inhibition of the replication of haemorrhagic septicaemia virus (VHSV) and African swine fever virus (ASFV) by extracts from marine microalgae.* *Antiviral Res.*, 1999, vol. 44, p. 67-73.
42. LEE JB., HAYASHI K., HIRATA M., KURODA, E, SUZUKI, E, KUBO, Y. et al.: *Antiviral sulfated polysaccharide from Navicula directa, a diatom collected from deep-sea water in Toyama Bay.* *Biol. Pharm. Bull.*, 2006, vol. 29, p. 2135-2139.
43. KANEKIYO, K., LEE, J.-B., HAYASHI, K., TAKENAKA, H., HAYAKAWA, Y., ENDO, S., HAYASHI, T.: *Isolation of an antiviral polysaccharide, nostoflan, from a terrestrial cyanobacterium, Nostoc flagelliforme.* *J. Nat. Prod.*, 2005, vol. 68, p. 1037-1041.
44. FATIMA, N., AHMAD, I. Z., CHAUDHRY, H. *Alterations in the antibacterial potential of Synechococcus spp. PCC7942 under the influence of UV-B radiations on skin pathogens.* *Saudi J. Biol. Sci.*, 2017, vol. 24, p. 1657–1662.
45. SITOHY, M., OSMAN, A., GHANY, A. G. A., SALAMA, A. *Antibacterial phycocyanin from Anabaena oryzae SOS13.* *Int. J. Appl. Res. Nat. Prod.*, 2015, vol. 8, p. 27-36.
46. SHANMUGAM, A., SIGAMANI, S., VENKATACHALAM, H., JAYARAMAN, J. D., RAMAMURTHY, D. *Antibacterial activity of extracted phycocyanin from Oscillatoria sp.* *J. App. Pharma. Sci.*, 2017, vol. 7, p. 62-67.
47. SAFARI, R., RAFTANI, A. Z., ESMAEILZADEH, K. R.: *Antioxidant and antibacterial activities of C-phycocyanin from common name Spirulina platensis.* *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2017, vol. 19, p. 1911-1927.
48. SARADA, D. V. L., KUMAR, C. S., RENGASAMY, R. *Purified C-phycocyanin from Spirulina platensis (Nordstedt) Geitler: a novel and potent agent against drug resistant bacteria,* *World J. Microbiol. Biotechnol.*, 2011, vol. 27, p. 779-783.
49. SABARINATHAN, K.G., GANESAN, G. *Antibacterial and toxicity evaluation of C-phycocyanin and cell extract of filamentous freshwater cyanobacterium - Westiellopsis sps.* *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.*, 2008, vol. 12, p. 79-82.
50. HIRATA, K., YOSHITOMI, S., DWI, S., IWABE, O, MAHAKHANT, A., POLCHAI, J., MIYAMOTO, K. *Bioactivities of nostocine a produced by a freshwater cyanobacterium Nostoc spongiaeforme TISTR 8169.* *J Biosci Bioeng.*, 2003, vol. 95, p. 512-517.
51. HUMISTO, A. *Antifungal and antileukemic compounds from cyanobacteria: bioactivity, biosynthesis, and mechanism of action.* Academic dissertation, Heisinki, 2018.
52. JAKI, B., HEILMANN, J, STICHER, O. *New antibacterial metabolites from the cyanobacterium Nostoc commune (EAWAG 122b).* *J Nat Prod.*, 2000, vol. 63, 1283-1285.
53. PRADHAN, J., DAS, S., DAS, B. K. *Antibacterial activity of freshwater microalgae: A review.* *Afri. J Pharm Pharmacol.*, 2014, vol. 8, p. 809-818.
54. RANIA, M. A. A. AND TAHA, H. M.: *Antibacterial and antifungal activity of cyanobacteria and green microalgae. Evaluation of medium components by placket-burman design for antimicrobial activity of Spirulina platensis.* *Glob. J. Biotechnol. Biochem.*, 2008, vol. 3, p. 22-31.
55. ABED, R. M. M., DOBRETSOV, S., SUDESH, K.: *Applications of cyanobacteria in biotechnology.* *J. Appl. Microbiol.*, 2009, vol. 106, p. 1–12.
56. CHLIPALA, G. E., MO, S, ORJALA, J.: *Chemodiversity in freshwater and terrestrial cyanobacteria - a source for drug discovery.* *Curr. Drug Targets* 12, 1654–1673 (2012).
57. JAKI, B., ZERBE, O., HEILMANN, J., STICHER, O.: *Two novel cyclic peptides with antifungal activity from the cyanobacterium Tolypothrix byssoidea (EAWAG 195).* *J Nat Prod.*, 2001, 64, 154-158.
58. JENA, J., SUBUDHI, E. *Microalgae: an untapped resource for natural antimicrobials. The role of microalgae in wastewater treatment,* Springer: 2019, p. 99-114.
59. LEVASSEUR, P., PERRE, P., POZZOBON, V. *A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification.* *Biotechnology Advances*, 2020, vol. 41, p. 1-23.

60. XUE, Y., ZHAO, P., QUAN, C., ZHAO, Z., GAO, W., LI, J., ZU, X., FU, D., FENG, S., BAI, X., ZUO, Y., LI, P. *Cyanobacteria-derived peptide antibiotics discovered since 2000. Peptides*, 2018, vol. 107, p. 17–24.
61. VERMA, E., MISHRA, A.K., SINGH, A.K., SINGH, V. K. *Structural elucidation and molecular docking of a novel antibiotic compound from cyanobacterium Nostoc sp. MGL001. Front. Microbiol.*, 2016, 7, 1899 .
62. ABO-STATE, M. A. M., SHANAB, S. M. M., HAMDY E. A. ALI, H. E. A., ABDULLAH, M. A. *Screening of Antimicrobial Activity of Selected Egyptian Cyanobacterial Species J. Eco. Heal. Env.*, 2015, vol. 3, p. 7-13.
63. BHARAT, N., IRSHAD, MD., RIZVI, M.M.A., FATMA, T.: *Antimicrobial and cytotoxic activities of cyanobacteria. Int J Innov Res Sci Eng Technol.*, 2013, vol. 2, p. 4328-4343.
64. SOLTANI, N., KHAVARI-NEJAD, R. A., TABATABAEI YAZDI, M., SHOKRAVI, S., FERNÁNDEZ-VALIENTE, E.: *Screening of soil cyanobacteria for antifungal and antibacterial activity. Pharm Biol.*, 2005, vol. 43, p. 455-459.
65. KUMAR, N. S. S., SIVASUBRAMANIAN, V. AND MUKUND, S.: *Antimicrobial and Antifungal activity of extracts of Phormidium fragile., J. Algal Biomass Utln.*, 2013, vol. 4, p. 66-71.
66. TIWARI A., SHARMA D. *Bloom forming Cyanobacteria against Clinically Isolated Human Pathogenic Microbes. J. Algal Biomass Utln.*, 2013, 4, 83–89.
67. MALATHI, T., RAMESH BABU, M., MOUNIKA, T., SNEHALATHA, D., DIGAMBER RAO, B.: *Screening of cyanobacterial strains for antibacterial activity. Phykos*, 2014, vol. 44, p. 6-11.
68. SILVA-STENICO, M. E., KANENO, R., ZAMBUZI, F. A., VAZ, M. G. M. V., ALVARENGA, D. O., FÁTIMA FIORE, M.: *Natural products from cyanobacteria with antimicrobial and antitumor activity, Curr Pharm Biotechnol.*, 2013, 14, 820-828.
69. KUMARESAN, S., BALASUBRAMANIAN, T. *In vitro evaluation of Antimicrobial activity of some selected Cyanobacterial extracts against human pathogens. IJAPBC.*, 2015, vol. 4, p. 36-43.
70. SIVONEN, K., JONES, G. *Cyanobacterial toxins. In: Chorus, I, Bartram, J, eds, Toxic Cyanobacteria in Water: A Guide to Their Public Health Consequences, Monitoring and Management*, London, SponPress, 1999, p. 41–111.
71. TYAGI, R., KAUSHIK, B. D., KUMAR, J. *Antimicrobial activity of some cyanobacteria in Chapter Microbial Diversity and Biotechnology in Food Security*, 2014, p. 463–470.
72. YALCIN DILEK. *Antibacterial Activity of Cyanobacteria Dolichospermum affine Isolated from Freshwater. Aquatic Sciences and Engineering*, 35, 83-88 (2020).
73. STRIETH, D., LENZ, S., ULBER, R. *In vivo and in silico screening for antimicrobial compounds from cyanobacteria. Microbiologyopen*, 2022, vol. 11, p. 1-15 .

Acknowledgements: The review presented was carried out within the Moldovan-Turkish bilateral project 22.80013.5107.2TR; „Determination of Bioactivity and Antimyeloma Properties of Various Cyanobacteria”. The authors are grateful to the National Agency for Research and Development (NARD), Moldova, for providing financial support.

Date despre autori:

Valentina BULIMAGA, doctor în biologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5042-2952

Liliana ZOSIM, doctor în biologie, conferențiar cercetător, cercetător științific superior, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-0510-8064

E-mail: zosim_liliana@yahoo.fr

Alina TROFIM, dr. în biologie, cercetător științific coordonator, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-4557-9602

Daniela ELENCIUC, doctor în biologie, șef departament Biologie și Ecologie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5090-5057

Valeriu RUDIC, doctor habilitat, profesor universitar, acedemician al Academiei de Științe a Moldovei, șef Catedră de Microbiologie, Virusologie și Imunologie, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „N. Testemițanu”.
ORCID: 0000-0001-8090-3004

Greta BALAN, doctor habilitat, conferențiar universitar, Catedra de Microbiologie, Virusologie și Imunologie, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „N. Testemițanu”.
ORCID: 0000-0003-3704-3584

Prezentat la 07.12.2023

CZU: 582.232:633.8

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_11](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_11)

PERSPECTIVA UTILIZĂRII ALGELOR ÎN CALITATE DE BIOFERTILIZANT LA CULTIVAREA PLANTELOR AROMATICE ȘI MEDICINALE

Sergiu DOBROJAN,*Universitatea de Stat din Moldova*

Algele prezintă o sursă naturală de biofertilizanți, eficienți, siguri și relativ ieftini, care pot fi utilizați la cultivarea plantelor aromatice și medicinale. Aplicarea biofertilizanților și a fertilizanților foliari algali la cultivarea plantelor aromatice și medicinale contribuie la îmbunătățirea calității solurilor, după caz fitoremedierea acestora, îmbunătățirea stării fiziologice a platelor, creșterea rezistenței acestora la factorii de mediu și de stres, majorarea și îmbunătățirea calității biomasei, precum și sporirea conținutului de substanțe biologice active din plante. În lucrare sunt indicate aspectele pozitive ale utilizării algelor în calitate de biofertilizant. Propunem ca la utilizarea biofertilizanților algali pentru cultivarea plantelor să se realizeze evaluarea stării structural-funcționale a algoflorei edafice a terenurilor cultivate, astfel încât speciile selectate ca biofertilizant să facă parte din biocenoză algală activă autohtonă, să se dezvolte intens pe sol și să contribuie la îmbunătățirea sau după caz menținerea stării biodiversității algelor edafice.

Cuvinte-cheie: alge, biofertilizanți, biostimulatori, plante medicinale și aromatice.

THE PERSPECTIVE OF THE USE OF ALGAE AS A BIOFERTILIZER IN THE CULTIVATION OF AROMATIC AND MEDICINAL PLANTS

Algae present a natural source of biofertilizers, efficient, safe and relatively cheap, which can be used in the cultivation of aromatic and medicinal plants. The application of biofertilizers and algal foliar fertilizers to the cultivation of aromatic and medicinal plants contributes to the improvement of the quality of soils, as appropriate their phytoremediation, the improvement of the physiological state of the fields, the increase of their resistance to environmental and stress factors, the increase and improvement of biomass quality, as well as the increase the content of biologically active substances from plants. The paper indicates the positive aspects of using algae as a biofertilizer. We propose that when using algal biofertilizers for plant cultivation, the assessment of the structural-functional state of the edaphic algoflora of the cultivated lands should be carried out so that the species selected as biofertilizers are part of the native active algal biocenosis, develop intensively on the soil and contribute to the improvement or as appropriate, maintaining the biodiversity of edaphic algae.

Keywords: algae, biofertilizers, biostimulators, medicinal and aromatic plants.

Datorită creșterii numărului populației Terrei, a consumului și necesităților de plante medicinale și aromatice, precum și din cauza exploatării intensive, poluării și a schimbărilor globale de mediu satisfacerea cerințelor de plante medicinale și aromatice din flora spontană este imposibilă. Astfel, pentru obținerea plantelor medicinale și aromatice, menținerea genofondului și a diversității acestora, este necesară cultivarea dirijată a lor [1]. Unul din obiectivele cultivării dirijate a plantelor aromatice și medicinale este obținerea biomasei inofensive, calitativă și în cantități sporite. Astfel, pentru sporirea cantității de biomasă și, în unele cazuri, pentru majorarea conținutului de substanțe biologice active la cultivarea dirijată a plantelor medicinale și aromatice se administrează biofertilizanți.

În prezentul studiu sub denumirea de „alge” ne referim atât la algele cât și la cianobacterii (algele albastre-verzi) care anterior erau poziționate sistematic în grupa algelor.

Biofertilizanții reprezintă substanțe naturale ce conțin microorganisme vii care colonizează rizosfera sau în interiorul plantei (alge, bacterii, fungi etc.) ce contribuie la stimularea creșterii a plantelor prin majorarea disponibilității de nutrienți principali și/sau eliminarea stimulatoarelor, iar în unele cazuri au ca efect sporirea fertilității solurilor [2,3]. Aplicarea biofertilizanților microbieni la cultivare plantelor aromatice și medicinale prezintă un interes sporit datorat efectelor obținute și anume: stimularea absorbției nutrienților

necesari plantelor; asigurarea controlului biologic al bolilor transmise prin sol; accelerarea descompunerii resturilor vegetale și a altor deșeuri organice; îmbunătățirea structurii solului; și promovarea producției de substanțe fiziologic active în rizosferă sau în materie organică, majorarea productivității și calității biomasei plantelor etc. [4].

Efectele biofertilizanților algali asupra solurilor antrenate în cultivarea plantelor aromatice și medicinale

Unii dintre cei mai eficienți, accesibili și inofensivi biofertilizanți sunt cei de origine algală. La aplicarea biofertilizanților algali se atestă impact pozitiv asupra solului manifestat prin: creșterea gradului de afânare, menținerea umidității, îmbunătățirea structurii solului, acumularea de materie organică (inclusiv fixarea azotului molecular), îmbunătățirea proprietăților fizico-chimice, stimularea activității microbiologice, reducerea eroziunii și alte efecte pozitive [5-9].

Aplicarea biofertilizanților algali contribuie la bioremedierea solurilor poluate cu metale grele, algele posedând capacitatea de a neutraliza și acumula în biomasa lor elementele radioactive dispersate în mediu. Experimentele realizate de Al-Sherif Emad A. și coautorii au evidențiat faptul că la administrarea suspensiei de *Nostoc minutum* și *Anabaena spiroides*, combinată cu fertilizanții organici, la cultivarea fasolei pe solurile contaminate cu metale grele sa atestat creșterea semnificativă a masei uscate a plantelor (cu 41-103%), a conținutului de azot din semințe, reducerea conținutului de Pb, Cd și Ni atât în lăstari, cât și în semințe, iar valorile pH-ul solului, conductivității electrice, a Pb, Cd și Ni sau redus semnificativ în sol în variantele cu administrare de alge [10]. În cercetările realizate de prof. Victor Șalaru s-a demonstrat faptul că tulpina algei *Nostoc linskia*, selectată în cultură pură, are capacitatea de a acumula radionuclizii Co^+ [11]. Mai mult ca atât, se evidențiază faptul că algele *Vacuoliviride crystalliferum*, *Stigonema ocellatum* și *Nostoc commune* prezintă cea mai mare activitate de bioacumulare a cesiului, stronțului și iodului din mediul înconjurător, creând premise de utilizare a acestora pentru decontaminare prin fitoremediere a terenurilor poluate din siturile nucleare [12].

Influența biofertilizanților algali asupra plantelor aromatice și medicinale și asupra biocenozelor ecosistemului solului

Algele influențează biocenozele edafice, celulele și filamentele lor sunt înconjurate de bacterii satelit și servesc ca centru de formare a cenzelor microbiene din sol, astfel prin aceasta atestându-se impact indirect asupra plantelor superioare. Numeroase cercetări realizate au evidențiat faptul că celulele slăbite/îmbătrânite ale algelor edafice servesc ca obiect de asimilare pentru unele ciuperci microscopice din sol. Biomasa algelor edafice prezintă o verigă trofică importantă în ecosistemul solului fiind utilizată în calitate de hrană de numeroase nevertebrate (coproliților, viermilor inelați etc.) și unele bacterii [13, 14].

Unele alge edafice și acvatică utilizate în calitate de biofertilizant influențează pozitiv asupra plantelor aromatice și medicinale din flora spontană și cele cultivate dirijat [15]. Acumularea algelor în rizosferă presupune influența directă a acestora cu rădăcinile plantelor superioare. Concentrația algelor vii din jurul rădăcinilor plantelor superioare influențează direct creșterea și activitatea sistemului radicular. Influența algelor asupra plantelor superioare apare în primul rând, datorită faptului că algele în activitatea vitală, elimină în mediul înconjurător variate substanțe, care au o importanță majoră în sistemul „sol-alge-plante”. Algele elimină numeroase substanțe organice (acizi, polizaharide, aminoacizi, numeroase substanțe biochimice active), activează procesul de asimilare a fertilizanților organici și anorganici și protejează rădăcinile de leziuni. Totodată, algele edafice elimină în sol cca. 10-20% din carbonul asimilat și 60% din azotul fixat. Cercetările au demonstrat că sistemul radicular al plantelor superioare pot absorbi din materialul algologic fosforul și sulful, iar după descompunerea celulelor algale, de către bacterii, azotul și alte substanțe biologic active încorporat în celulele acestora devine accesibil plantelor superioare. Sub influența algelor vii, sau a lichidului cultural, are lor stimularea germinării semințelor, se accelerează creșterea și dezvoltarea plantelor și se majorează recolta acestora. [16, 17]. A fost stabilit faptul că substanțele secretate de algele cianofite au ca efect atenuarea stresului abiotic la plantele de cultură, în special la secetă și salinitate, activând răspunsurile de apărare a plantelor prin interacțiunea cu rădăcinile lor, reprezentând o strategie eficientă împotriva

bacteriilor, ciupercilor, oomicetelor, nematodelor și insectelor dăunătoare în agricultură [18-19]. Totodată, datorită spectrului floristic relativ bogat a algelor de sol, influența separată a fiecărei specii necesită a fi cercetată amănunțit pentru ca ulterior acestea să poată fi izolate și valorificate în calitate de biofertilizant.

Actualmente, sunt utilizate pe larg numeroase preparate și composturi obținute din biomasa algelor marine care prezintă, la fel, un interes sport în practica de cultivare a plantelor aromatice și medicinale. Algele marine se descompun mult mai rapid decât gunoiul de grajd și nu poluează solul cu semințe de buruieni, spori fungici, paraziți sau larve de insecte dăunătoare. Algele marine administrate în sol în formă vie sau compost, îmbogățesc solul cu azot, fosfor, caliu și multiple micro și macroelemente. Pentru stimularea creșterii plantelor aromatice și medicinale și majorarea productivității în calitate de biofertilizant se utilizează numeroase extracte din alge marine [20, 21]. În opinia noastră, dezavantajul principal al acestor biofertilizanți este faptul că algele marine nu au ca mediu de viață solul și respectiv ele pot servi doar ca sursă nutritivă neavând un impact considerabil asupra dezvoltării florei algale edafice nici posibilitatea de a se menține îndelungat și a se dezvolta pe sol, iar aplicarea lor poate cauza uneori efecte adverse atât asupra solului, cât și a plantelor medicinale.

Considerăm că cei mai benefici biofertilizanți care pot fi utilizați la cultivarea plantelor aromatice și medicinale în condițiile Republicii Moldova sunt algele edafice. Algele edafice sunt parte componentă a biocenozelor solurilor, atribuindu-se grupei producătorilor și, respectiv, majoritatea dintre acestea creează relații pozitive cu biota edafică și plantele aromatice și medicinale. Totodată, la selectarea biofertilizanților algali aplicați este important ca speciile selectate să facă parte din biocenoza algoflorei edafice autohtone specifică regiunii de cultivare a plantelor, astfel încât aplicarea acestora să nu creeze premiez de invazie, poluare biologică și/sau dezechilibrare structural-funcțională a ecosistemului solului. Acest fapt necesită a fi luat în considerație în special în cazul speciilor de alge utilizate ca biofertilizant care au capacitatea de a se menține o perioadă îndelungată în condiții de anhidrobioză. În viziunea noastră, reprezentanții algelor *Cyanophyta* (în special cele fixatoare de azot) și a celor *Cloprophyta* sunt cei mai preferențiali pentru utilizarea în calitate de biofertilizant, în condițiile țării noastre. Aceasta fiind argumentată de predominanța diversității acestor grupe de alge în componența floristică a algoflorei edafice din agrofitocenozele cercetate. Conform cercetărilor realizate de dr. hab., prof. Victor Șalaru în solurile naționale antrenate în cultivarea diverselor culturi agricole (grâu, orz, ovăz, floarea soarelui, tutun, sfeclă de zahăr, soia, mazăre, cartofi, varză, tomate, harbuji, lucernă) au fost evidențiate 265 de specii și varietăți de alge: *Cyanophyta* -100; *Xantophyta* – 58; *Cloprophyta* – 93; *Bacilariophyta* – 14. Totodată, se menționează că în solurile noastre se întâlnesc frecvent 41 de specii de cianobacterii fixatoare de azot care fac parte din genurile *Nostoc* (21 specii), *Anabaena* (7 specii), *Cylindrospermum* (9 specii), *Tolypothrix* (2 specii) și *Calothrix* (2 specii) [11].

Rezultatele sus menționate indică faptul că, pe de o parte, biocenozele edafice naționale sunt bogate în alge fixatoare de azot și clorofite care au un rol esențial în circuitul azotului și altor elemente în natură, iar pe de altă parte, că există premise majore de selectare în cultură a acestora, elaborarea și dezvoltarea tehnologiilor de cultivare intensivă în vederea obținerii de biomasă și utilizare lor în calitate de biofertilizant. Totodată, predominanța cianofitelor, în special a celor azot fixatoare, și a clorofitelor în solurile naționale indică faptul că aplicarea biomasei acestora în calitate de biofertilizator poate fi eficace, deoarece aceste organisme sunt specifice biotei autohtone, iar condițiile de mediu din țara noastră sunt prielnice pentru dezvoltarea lor și respectiv administrarea acestora poate fi cu impact de lungă durată.

Numeroase cercetări au demonstrat că aplicarea algelor cianofite și a celor clorofite în calitate de biofertilizanți la cultivarea plantelor aromatice și medicinale este benefică și influențează pozitiv asupra plantelor și solului. Utilizarea biomasei vii a algelor *Nostoc carneum*, *Wolleea vaginicola* și *Nostoc punctiforme* în calitate de biofertilizant la cultivarea plantei medicinale *Matricaria chamomilla* L. a avut efect semnificativ asupra creșterii sistemului radicular al plantelor și majorarea cantității de ulei esențial. Conținutul de chamazulenă al uleiului esențial în plantele tratate cu *N. carneum* a fost cu 26,9% mai mare decât la martor. Analiza HPLC a arătat că speciile de alge utilizate în acest experiment au fost capabile să producă hormoni care promovează creșterea plantelor printre care acidul indol 3-acetic, acidul indol 3-propionic și acidul indol 3-butiric. Cercetările au demonstrat că a existat o corelație pozitivă semnificativă între IAA algale și toți factorii de creștere, precum și unii constituenți ai uleiului esențial [22].

Algele cianofite *Anabaena vaginicola* ISB42 și *Nostoc spongiaeforme* var. *tenuis* ISB65, aplicate inițial pe sol, în concentrația de 1%, iar mai apoi după un interval de 20 de zile, la cultivarea *Mentha piperica* a condus la intensificarea creșterii plantelor, majorarea biomasei rădăcinilor și lăstarilor, a numărului de frunze și a suprafeței foliare și a conținutului de pigmenți fotosintetici. În variantele cu administrare de alge s-a atestat creșterea conținutului de ulei esențial din biomasa plantelor medicinale cu 13-25%, s-a majorat cantitatea de mentol și limoner de 2,36-1,87 ori și creșterea cu 40% - 98% a nivelului de transcriere a genei limonen sintetazei. Expresia genei mentone reductazei, a fost de asemenea crescută cu 65%-55% în variantele cu aplicare de biomasă algală. Astfel, administrarea biomasei algale a avut ca efect stimularea creșterii plantelor medicinale, majorarea cantității și îmbunătățirea calității uleiului esențial obținut din *Mentha piperica* [23].

Utilizarea algelor *Wollea vaginicola* ISB89 și *Nostoc spongiaeforme* var. *tenuis* ISB91, în concentrația de 1%, în calitate de biofertilizant la cultivarea a patru specii de *Mentha* (*M. spicata* L., *M. piperita* L., *M. aquatica* L. și *M. pulegium* L.) a avut ca efect creșterea semnificativă a biomasei plantelor și a randamentului uleiurilor esențiale. S-a demonstrat că există corelație directă între conținutul de auxine din celulele algale, biomasa și ulei esențial la *Mentha*. Astfel, *Wollea vaginicola*, care are un nivel mai ridicat de auxine și cationi decât *Nostoc spongiaeforme*, oferă elemente esențiale plantelor și stimulează acumularea de substanțe biologice active în biomasa acestora. La *M. piperita*, cantitatea de mentol a crescut în loturile cu administrare de alge cu 115-137%, în cazul speciei *M. spicata* s-a atestat creșterea piperitenonei cu 46-96%, iar la *M. pulegium* s-a majorat conținutul de neo-mentol cu 17-115% comparativ cu variantele în care nu s-au administrat alge [24].

Influența fertilizanților foliari obținuți din biomasa algelor asupra plantelor aromatice și medicinale

Biomasa algală poate fi utilizată în calitate de fertilizant foliar, sau ca sursă pentru obținerea acestora, la cultivarea plantelor aromatice și medicinale care manifestă o influență pozitivă asupra plantelor atât sub aspect cantitativ, cât și calitativ. Cercetările realizate de Dalia A. S. Nawar și Sabreen Kh. A. Ibraheim au evidențiat faptul că biomasa algei *Spirulina platensis*, în concentrație de 10-15%, poate fi utilizată în calitate de fertilizant foliar la cultivarea mazării (*Pisum sativum* L.). Astfel, ca rezultat al aplicării fertilizantului foliar de origine algală s-a atestat accelerarea creșterii plantelor, majorarea recoltei, majorarea conținutului de proteine, azot și fosfor din semințe și a conținutului de clorofilă din frunze [25].

Aplicarea foliară a extractului obținut din biomasa algei *Chlorella vulgaris*, în concentrația de 25-100%, la cultivarea viței de vie de calitate superioară a avut ca efect stimularea apariției mugurilor fructiferi, creșterea suprafeței foliare, lungimea lăstarilor, a numărului de frunze la un lăstar, a concentrației de N, P, K din frunze, a numărului de ciochine și a greutateii acestora, greutatea boabelor, creșterea recoltei și a calității strugurilor (creșterea conținutului de zaharuri totale și scăderea acidității) [26].

Pulverizarea foliară cu suspensie obținută din biomasa algei *Chlorella vulgaris*, în concentrația de 10 g la 100 ml, la cultivarea fasolei comune (*Phaseolus vulgaris*) cu administrarea suplimentară de N-uree pe sol, a avut ca efect creșterea înălțimii plantelor (cu 26,9%), a greutateii uscate (cu 37,28%), a conținutului de proteine ($48,06 \pm 2,403$ mg/g greutate proaspătă), a carbohidraților totali ($394 \pm 19,7$ mg/g greutate uscată), precum și a numărului de păstăi per plantă ($5,2 \pm 0,26$), numărul de semințe la o păstaie ($3,5 \pm 0,18$) și a greutateii uscate a păstăilor ($0,95 \pm 0,26$ g) [27]. Cercetările realizate de Lateef Gharib F. Abd El și coautorii privitor la aplicarea foliară prin pulverizare a extractelor obținute din biomasa algelor *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina* și *Arthrospira platensis* (*Spirulina platensis*), în concentrații cuprinse între 0,25-2,0%, la fasolea comună au evidențiat faptul că extractele cu concentrația de până la 1% au generat îmbunătățirea semnificativă a diversilor parametri de creștere, cum ar fi lungimea rădăcinii și lăstarilor, numărul de frunze și flori per plantă, suprafața frunzelor și greutatea totală proaspătă și uscată per plantă. Suplimentar, la aplicarea extractelor a crescut indicele clorofilei cu valorile maxime ale CCI -17,95 -17,81%, s-a redus semnificativ conținutul de markeri de stres oxidativ, sau îmbunătățit parametrii de calitate, compoziția proximală, energia semințelor și conținutul mineral al semințelor recoltate și s-a majorat recolta [28].

Aplicarea foliară și administrarea pe sol a biomasei algelor *Arthrospira platensis*, *Chlorella vulgaris*, *Nostoc muscorum* și *Anabaena azollae* la cultivarea dirijată a Chia (*Salvia hispanica* L.) pe sol alcalin a

atestat o influență pozitivă manifestată prin creșterea greutatei proaspete și uscate a plantelor, a pigmentilor frunzelor, a conținutului total de proteine, carbohidrați, a conținutului de nutrienți, a randamentului de semințe și ulei, precum și o creștere a acizilor grași linolenic și linoleic și reducerea acizilor grași saturați (acid palmitic și lauric). Aplicarea algelor pe sol a generat o îmbunătățire a activității microbiene a solului și reducerea pH-ului. În variantele cu administrarea algei *A. platensis* prin udare s-a atestat un randament mai mare de semințe și ulei, cu o creștere de 124-263,3% față de variantele de control [29].

Administrarea biomasei algei *Spirulina platensis* pe sol și ca spreii foliar la cultivarea spanacului (*Spinacia oleracea* L.) combinată cu fertilizării chimici (N,P,K) a avut ca efect accelerarea creșterii plantelor, sporirea conținutului de N, P, K, Fe, Mn, Zn, Cu, a proteinelor, precum și conținutul de clorofilă din frunze [30].

Cercetările realizate de dr. A. Trofim și coautorii au evidențiat faptul că utilizarea stimulatorilor din filtratele rezultate de la cultivarea biomasei de *Spirulina platensis* și *Nostoc halophyllum* la tratarea foliară a plantelor de mentă și busuioc au demonstrat capacitatea acestora de a spori cantitatea de masă vegetală, la busuioc cu 25 și 22% și la mentă cu 28 și 25%. Aceste cercetări demonstrează că filtratele rezultate după recuperarea biomasei de alge cianofite pot servi în calitate de biostimulatori, datorită prezenței în componența lor a macro- și microelementelor, fitohormonilor, aminoacizilor și altor metaboliți [31, 32].

Aplicarea foliară a biomasei algelor *Microcystis aeruginosa* MKR 0105, *Anabaena* sp. PCC 7120 și *Chlorella* sp. la cultivarea dirijată a plantelor de *Salix viminalis* L. a îmbunătățit semnificativ performanța fiziologică și creșterea plantelor, a crescut stabilitatea citomembranelor, conținutul de clorofilă, intensitatea fotosintezei nete, transpirația, conductanța stomatică și a scăzut concentrația intercelulară de CO₂. Monoculturile algale aplicate au generat creșterea cantitativă a N, P, K din plante, activitatea enzimelor (cum ar fi dehidrogenazele, RNaza, fosfataza acidă sau alcalină) și nitrat reductaza. Totodată, fertilizantul foliar a contribuit la reducerea cantitativă a fertilizanților chimici utilizați la cultivarea *Salix viminalis* L. [33].

Concluzii

În baza celor menționate, concluzionăm că algele prezintă o sursă eficientă, ecologică și regenerabilă de biofertilizanti care pot fi utilizați la cultivarea plantelor aromatice și medicinale. Aplicarea biofertilizanților și a fertilizanților foliari algali la cultivarea plantelor aromatice și medicinale contribuie la îmbunătățirea calității solurilor, după caz fitoremedierea acestora, îmbunătățirea stării fiziologice a plantelor, creșterea rezistenței acestora la factorii de mediu și de stres, accelerarea creșterii, majorarea și îmbunătățirea calității biomasei, precum și sporirea conținutului de substanțe biologice active din biomasa plantelor.

Considerăm că selectarea și aplicarea biofertilizanților algali utilizați la cultivarea plantelor trebuie realizată chibzuit pentru a nu admite invazia speciei alohtone, dezechilibrarea structurii taxonomice a algoflorei edafice specifice ecosistemului și poluarea biologică a solurilor.

Pentru cultivarea durabilă a plantelor aromatice și medicinale în condițiile Republicii Moldova recomandăm utilizarea biofertilizanților algali reprezentanți ai speciilor de algele cianofite (în special cele fixatoare de azot) și a celei clorofite care habitează în ecosistemele agricole.

Referințe:

1. MELNIC, V., ZBANCĂ, A., STRATAN, D. *Tehnologii și inovații în sectorul plantelor aromatice și medicinale în contextul schimbărilor climatice*. Chișinău, 2022, 82 p. ISBN 978-9975-64-341.
2. VESSEY JK. *Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers*. In: *Plant Soil*. 2003, p. 571–586.
3. SAHU, D., PRIYADARSHAN, I., RATH, B. *Cyanobacteria - as potential biofertilizer*. In: *CIBTech Journal of Microbiology*. 2012, vol. 1(2-3), p. 20-26.
4. KHALID, A. Review: *Biological fertilization and its effect on medicinal and aromatic plants*. In: *Nusantara bioscience*, 2012, vol. 4, no. 3, p. 124-133.
5. KARTHIKEYAN, N., PRASANNA, R., NAIN, L., KAUSHIK, B. D. *Evaluating the potential of plant growth promoting cyanobacteria as inoculants for wheat*. In: *Eur J Soil Biol*. 2007, nr. 43, p. 23–30.
6. OBANA, S., MIYAMOTO, K., MORITA, S., OHMORI, M., INUBUSHI, K. *Effect of Nostoc sp. on soil characteristics, plant growth and nutrient uptake*. In: *J. Appl Phycol*. 2007, nr. 19, p. 641–646.

7. OSMAN, MEH., EI-SHEEKH, MM., EI-NAGGAR, AH., GHEDA, SF. *Effect of two species of cyanobacteria as biofertilizers on some metabolic activities, growth, and yield of pea plant*. In: *Biol. Fertil. Soils*. 2010, nr. 46, p. 861–875.
8. SINGH, JS., KUMAR, A., RAI, AN., SINGH, DP. *Cyanobacteria: a precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability*. In: *Front Microbiol*. 2016, 7:529.
9. AMMAR, E. E., A AIOUB, A. A., ELESAWY, A. E., KARKOUR, A. M., MOUSTAFA, M. S., AMER, A. A., EI-SHERSHABY, N. A. *Algae as Bio-fertilizers: Between current situation and future prospective*. In: *Saudi J. Biol. Sci.* 2022, 29(5), p. 3083-3096.
10. AL-SHERIF, E. A., ABD EL-HAMEED, M. S., MAHMOUD, M. A., AHMED, H. S. *Use of cyanobacteria and organic fertilizer mixture as soil bioremediation*. In: *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 2015, 15(5), p. 794-799.
11. ȘALARU, V. *Algele edafice în fitocenozele spontane și cultivate din Moldova*. Teza de doctor habilitat în științe biologice. Chișinău, 1996, 543 p.
12. IWAMOTO, K., MINODA, Ay. *Algae, Chapter, Bioremediation of biophilic radionuclides by algae*. *IntechOpen*, 2018, 70 p. DOI: 10.5772/intechopen.81492.
13. ШТИНА, Э. А., НЕКРАСОВА, К. А. ДОМРАЧЕВА, Л. И. *Роль водорослей в формировании микробных ценозов почвы*. В: *X Междунар. Конгресс почвоведов*, 1974, т. 111, с. 22-28.
14. ШТИНА, Э. А., ПАНКРАТОВА, Е. М. *Взаимодействия азотофиксирующих сине-зеленых водорослей с микроорганизмами-спутниками*. В: *Актуальные проблемы биологии синезеленых водорослей*, 1974, с. 61-78.
15. ABOU EI-KHAIR, E. E., AL-ESAILY, I. A. S., Ismail H. E. M. *Effect of foliar spray with humic acid and green microalgae extract on growth and productivity of garlic plant grown in sandy soil*. In: *J. Product.&Dev.*, 2010, 15(3), p. 335- 354.
16. АЛЕКСАХИНА, Т. И., ШТИНА, Э. А. *Почвенные водоросли лесных биогеоценозов*. Москва: Наука, 1984, 148 с.
17. DOBROMILSKA, R., MIKICIUK, M., GUBAREWICZ, K. *Evaluation of cherry tomato yielding and fruit mineral composition after using of Bio-algeen S-90 preparation*. In: *J. Elem.* 2008, 13, p. 491–499.
18. SNEHA, GR, YADAV, R. K., CHATRATH, A., GERARD, M., TRIPATHI, K., GOVINDSAMY, V., ABRAHAM, G. *Perspectives on the potential application of cyanobacteria in the alleviation of drought and salinity stress in crop plants*. In: *Journal of Applied Phycology*, 2021, vol. 33, p. 3761–3778.
19. POVEDA, J. *Cyanobacteria in plant health: Biological strategy against abiotic and biotic stresses*. In: *Journal Science Direct*. 2021, vol. 141, p. 105450.
20. ВИНОГРАДОВА, К. Л., ШТРИК, В. А. *Дополнения к флоре водорослей северных морей России*. В: *Бот. журн.* 2005, № 10, т. 90, с. 1593-1599.
21. ТИТЛЯНОВ, Э. А., ТИТЛЯНОВА, Т. В., БЕЛОУС, О. С. *Полезные морские растения и их использование*. В: *Известия Тинро*, 2011, т. 164, с. 140-156
22. SOMAYEH, Z., RIAHI, H., SAHARIADMADARI, Z., SONBOLI, A. *Effects of cyanobacterial suspensions as bio-fertilizers on growth factors and the essential oil composition of chamomile, Matricaria chamomilla L.* In: *Journal of Applied Phycology*, 2020, 32(2), p. 1231-1241.
23. GHOTBI-RAVANDI, A. Ak., SHARIATMADARI, Z., RIAHI, H., HASSANI, S. B., HEIDARI, F., NOHOJI, M. Gh. *Enhancement of essential oil production and expression of some menthol biosynthesis-related genes in mentha piperita using cyanobacteria*. In: *Iran J Biotechnol.* 2023, 21(4), doi: 10.30498/ijb.2023.368377.3550.
24. RIAHI, H., SHARIATMADARI, Z., HEIDARI, F., NOHOJI, M. G., ZAREZADEH, S. *Cyanobacterial elicitors as efficient plant growth promoters affect the biomass and metabolic profiles of four species of Mentha L.: A comparative study*. In: *South african journal of botany*, 2023, vol. 162, p. 568-576.
25. DALIA, A.S., NAWAR SABREEN, Kh., IBRAHEIM, A. *Effect of algae extract and nitrogen fertilizer rates on growth and productivity of peas*. In: *Journal of Agriculture Research*, 2014, nr. 3(4), p. 1232-1241.
26. ABD EL Moniem, E. A., ABD-ALLAH, A. S. E.. *Effect of green alga cells extract as foliar spray on vegetative growth, yield and berries quality of superior grapevines*. In: *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 2008, nr. 4(4), p. 427-433.

27. REFAAY, D. A., EL-MARZOKI, E. M., ABDEL-HAMID, M. I., HAROUN, S. A. *Efect of foliar application with Chlorella vulgaris, Tetradismus dimorphus, and Arthrospira platensis as biostimulants for common bean.* In: *Journal of Applied Phycology*, 2021, DOI: 10.1007/s10811-021-02584-z.
28. LATEEF GHARIB, F. Abd El., OSAMA, Kh., ABD EL SATTAR, A. M., AHMED, E. Z. *Impact of Chlorella vulgaris, Nannochloropsis salina, and Arthrospira platensis as bio-stimulants on common bean plant growth, yield and antioxidant capacity.* In: *Scientific Reports*, 2024, 14:1398 <https://www.nature.com/articles/s41598-023-50040-4>.
29. YOUSSEF, S. M., EL-SERAFY, R. S., GHANEM, K. Z., ELHAKEM, A., ABDEL AAL, A. A. *Foliar spray or soil drench: microalgae application impacts on soil microbiology, morpho-physiological and biochemical responses, oil and fatty acid profiles of chia plants under alkaline stress.* In: *Biology*, 2022, 11, 1844. <https://doi.org/10.3390/biology11121844>.
30. ABO-BASHA, DO. M. R., RASHA, R. M., ABDEL-KADER, Af. and H. H. *Response of spinach (Spinacia oleracea L.) to algae extract under different nitrogen rates.* In: *Middle East Journal of Agriculture Research*. 2019, vol. 8, iss. 1, p. 47-55.
31. TROFIM, A., BULIMAGA, V., ZOSIM, L., BULIMAGA, M-B. *Aplicarea biopreparatelor cianobacteriene pentru dezvoltarea durabilă a agriculturii.* În: *Conferința științifică națională cu participare internațională „Integrare prin cercetare și Inovare”*, 2020, p. 20 -23
32. TROFIM, A., BULIMAGA, V., ZOSIM, L. *Utilizarea biostimulatorilor cianobacterieni în agricultura ecologică.* Chișinău, 2021, 79 p.
33. GRZESIK, M., ROMANOWSKA-DUDA, Z., KALAJI, H. M. *Effectiveness of cyanobacteria and green algae in enhancing the photosynthetic performance and growth of willow (Salix viminalis L.) plants under limited synthetic fertilizers application.* In: *J. Photosynthetica*, 2017, nr. 55(3), p. 510-521.

Date despre autor:

Sergiu DOBROJAN, doctor în biologie, conferențiar universitar, cercetător științific principal LCS „Algologie Vasile Șalaru”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-0040-5836

E-mail: sergiudobrojan84@yahoo.com

Prezentat la 23.02.2024

RELAȚIILE DINTRE SERVICIILE ECOSISTEMICE FURNIZATE DE ECOSISTEMELE FORESTIERE ȘI BUNĂSTAREA UMANĂ

*Veronica FLORENȚA, Corina CERTAN,
Nadejda GRABCO, Constantin BULIMAGA,*

Universitatea de Stat din Moldova

Tendențele actuale de schimbare a climei influențează semnificativ structura și funcționarea ecosistemelor naturale, inclusiv a ecosistemelor forestiere, ceea ce acționează în mod direct sau indirect bunăstarea umană. Prezentul studiu constă în revizuirea literaturii de specialitate, a efectelor relațiilor dintre serviciile ecosistemice furnizate de ecosistemele forestiere și bunăstarea umană, descriind următoarele aspecte: definirea conceptului de servicii ecosistemice, istoria acestora, categoriile de servicii ecosistemice, relația dintre acestea și bunăstarea umană. Conceptul de servicii ecosistemice a devenit un model important de legătură între funcționarea ecosistemelor forestiere și bunăstarea umană. Înțelegerea acestei legături este esențială, privind un spectru larg de probleme, de luare a deciziilor pentru gestionarea durabilă a ecosistemelor forestiere. Concluzionăm că, dependența umanității față de serviciile ecosistemelor naturale pentru bunăstare și supraviețuire este complexă.

Cuvinte-cheie: *ecosistem forestier, servicii ecosistemice, servicii de aprovizionare, servicii de reglare, servicii culturale, servicii de sprijin, bunăstare umană, beneficii, impact.*

RELATIONSHIPS BETWEEN ECOSYSTEM SERVICES PROVIDED BY FOREST ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING

Current climate change trends significantly influence the structure and functioning of natural ecosystems, including forest ecosystems, which directly or indirectly affects human well-being. The present study consists in reviewing the specialized literature on the effects of the relationships between ecosystem services provided by forest ecosystems and human well-being, describing the following aspects: the definition of the concept of ecosystem services, their history, categories of ecosystem services and the relationship between them and human well-being. The concept of ecosystem services has become an important model of the link between forest ecosystem functioning and human well-being. Understanding this linkage is essential for a wide range of decision-making contexts for the sustainable management of forest ecosystems. We conclude that humanity's dependence on nature for well-being and survival is complex.

Keywords: *forest ecosystem, ecosystem services, provisioning services, regulation services, cultural services, support services, human well-being, benefits, impact.*

Introducere

Există numeroase definiții ale bunăstării umane, deoarece acest concept este complex și poate fi interpretat în moduri diferite în funcție de contextul cultural, social și academic. Din lipsa unei definiții unanim acceptate pentru bunăstarea umană, Ana Tomceac [27] propune o abordare care o definește ca fiind o descriere a situației vieții oamenilor, subliniind că conceptul bunăstării umane este multidimensional și nu se limitează la aspecte financiare și de consum, ci include și alte aspecte esențiale ale vieții umane, cum ar fi sănătatea, educația și condițiile de mediu. Bunăstarea umană este determinată de calitatea mediului în care trăim și de serviciile pe care le furnizează ecosistemele naturale.

Tendențele actuale de schimbare a climei influențează semnificativ structura și funcționarea ecosistemelor naturale, inclusiv a ecosistemelor forestiere [24], ceea ce contribuie în mod direct sau indirect la bunăstarea umană.

Existența ecosistemelor forestiere sub aspect cantitativ și calitativ în timp este dictată de modul în care sunt gestionate de către proprietari, la fel și de modul de înțelegere a ecosistemului forestier în sine de către societate și a relației dintre om și acest ecosistem. Pentru a obține o perspectivă asupra ambelor dimensiuni a fost dezvoltat conceptul de servicii ecosistemice [31]. Consolidarea conceptului de servicii ecosistemice

(SE) la nivel global a fost realizat prin Proiectul Millennium Ecosystem Assessment (MEA), inițiat sub egi-
da Națiunilor Unite [17, 26]. Acest proiect a avut drept scop principal evaluarea stării și tendințelor ecosis-
temelor la nivel global și local, precum și impactul acestora asupra bunăstării umane, a reprezentat o etapă
crucială în recunoașterea importanței ecosistemelor și a serviciilor pe care le furnizează pentru bunăstarea
umană și mediul înconjurător [12].

Scopul articolului este descrierea relației dintre serviciile ecosistemice furnizate de ecosistemele fores-
tiere și bunăstarea umană, prin studierea literaturii de specialitate. Acesta constă în examinarea conceptului
de servicii ecosistemice, tipurile de servicii oferite de ecosistemele forestiere, beneficiile acestora și modul
în care influențează bunăstarea umană.

Metode și materiale aplicate

Pentru realizarea acestui studiu a fost adoptată metoda de cercetare bazată pe documentare, concentrân-
du-se pe colectarea și analiza informațiilor disponibile. Pentru colectarea informației a fost utilizat softul
Mendeley [25], pagini web [18] și alte surse de date electronice. Au fost selectate doar lucrările științifice
care au oferit informații despre bunăstarea umană, serviciile ecosistemice oferite de ecosistemele forestiere
și relația dintre bunăstarea umană și aceste servicii.

Rezultate obținute și discuții

Pădurile ocupă aproximativ o treime (sau 4,06 miliarde ha) din suprafața terestră a Pământului, în cele
patru regiuni climatice (boreal, temperat, subtropical și tropical). În urma unui studiu realizat de Organizația
pentru Alimentație și Agricultură a Națiunilor Unite (FAO) [9] asupra dinamicii suprafețelor ocupate de
păduri, se constată o tendință de scădere a suprafeței în special în regiunile tropicale. Evaluarea FAO din
anul 2020 a resurselor forestiere globale [8] indică o scădere de aproximativ 420 de milioane de hectare
între anii 1990 și 2020, cu o rată anuală estimată de aproximativ 10 milioane de hectare în perioada 2015 -
2020. Această scădere nu este complet compensată de împăduriri și extinderi ale pădurilor naturale, ceea ce
accentuează necesitatea unor eforturi mai susținute pentru protejarea și gestionarea sustenabilă a resurselor
forestiere la nivel mondial.

Scăderea suprafețelor de pădure nu este o problemă nouă, ci este o tendință care a existat de-a lun-
gul istoriei umane. Ciprian Palangheanu [19] menționează că, societatea umană a adoptat de multe ori
practici greșite în gestionarea resurselor forestiere. În exemplificarea acestui fapt, se arată că încă din
antichitate, în China de Est, majoritatea pădurilor au fost defrișate pentru extinderea terenurilor agricole.
În Europa, grecii și romanii, acum aproximativ 2000 de ani, au distrus în mare parte pădurile din regiunea
mediteraneană, iar această tendință de defrișare s-a accentuat în Evul Mediu, afectând întreaga Europă
Occidentală [19].

Efectele despăduririlor în furnizarea beneficiilor naturii din cauza acțiunii umane a fost observat destul
de timpuriu, încă din antichitate. Spre exemplu, descrierile lui Platon din secolul al IV-lea î.Hr. privind
efectele defrișărilor asupra eroziunii solului și scăderea nivelului izvoarelor de apă au fost aduse în atenția
studiilor moderne. De asemenea, Plinius cel Bătrân, în secolul I d.Hr., a făcut referiri la legăturile dintre
defrișări și fenomenele meteorologice precum precipitațiile și apariția torențialelor [12]. Aceste observații
antice reprezintă un punct de plecare important în înțelegerea impactului activităților umane asupra mediului
și în identificarea modalităților de protejare a ecosistemelor forestiere.

Prin urmare, liderii la nivel mondial recunosc din ce în ce mai mult ecosistemele ca active de capital na-
tural, care furnizează servicii vitale pentru susținerea vieții umane și conștientizează valoarea extraordinară
a acestora [4].

Originile istoriei moderne a serviciilor ecosistemice se găsesc la sfârșitul anilor 1970 [12], iar introduce-
rea termenului „servicii ecosistemice” s-a realizat la începutul anilor 1980 [1]. Apariția termenului „servicii
ecosistemice” a inspirat rapid multe cercetări și activități majore de cercetare pe plan mondial. În rezultat,
a fost realizată evaluarea ecosistemelor mileniului, ce a avut ca obiectiv evaluarea serviciilor ecosistemice
asupra bunăstării umane și stabilirea unei baze științifice pentru acțiunile necesare conservării și utilizării
durabile a ecosistemelor, precum și evidențierea contribuțiilor acestora la bunăstarea umană [17]. La fel,

a fost realizat un studiu „The Economics of Ecosystems and Biodiversity” (TEEB) și a fost creată platforma Interguvernamentală pentru Biodiversitate și Servicii Ecosistemice (IPBES), care reprezintă inițiative globale menite să sporească gradul de conștientizare cu privire la beneficiile economice și la importanța biodiversității și serviciilor ecosistemice pentru bunăstarea globală [29, 28].

După anul 1996 numărul publicațiilor privind evaluarea serviciilor ecosistemice în mediul științific internațional s-a mărit aproape exponențial, dar preocupările ce vizau în mod special serviciile ecosistemelor forestiere au reprezentat numai o mică parte [6].

În evoluția conceptului de servicii de ecosistem sunt cunoscute trei etape distincte: origine și geneză, consolidare și construirea de instrumente de piață [13].

În prima etapă, origine și geneză, conceptul de servicii de ecosistem a fost introdus în anii 1980, având la bază studii anterioare, care subliniau valoarea socială a funcțiilor naturii. În anii 1970 și 1980, mulți autori au început să formuleze problemele ecologice în termeni economici pentru a evidenția relația de dependență dintre societate și natură.

Consolidarea conceptului (etapa a doua) a fost stimulată de activitatea institutelor de cercetare la începutul anilor 1990, cu contribuții majore din evaluarea globală. Raportul MEA 2005 [17] sub egida Națiunilor Unite a jucat un rol esențial în definirea și promovarea acestui concept, atrăgând atenția asupra conexiunilor dintre starea ecosistemelor și bunăstarea umană.

În etapa de construire a instrumentelor de piață, interesul pentru evaluarea monetară a serviciilor de ecosistem a crescut, conducând la dezvoltarea unor mecanisme precum: Piețele pentru Serviciile de Ecosistem (MES – Markets for Ecosystem Services) și Plățile pentru Serviciile de Ecosistem (PES – Payment for Ecosystem Services). Deși, aceste instrumente sunt considerate relativ noi și experimentale, ele au fost integrate în politici și programe de conservare, evidențiind importanța protejării resurselor naturale.

Conform Evaluării Ecosistemului Mileniului [16, 17], sunt recunoscute patru categorii de servicii ecosistemice: servicii de suport, servicii de reglementare, servicii de aprovizionare și servicii culturale (tab. 1).

Tabelul 1. Serviciile ecosistemelor și bunuri conexe din ariile naturale protejate [14, 20].

SERVICII DE SUPORT		
Întreținerea proceselor ecosistemelor (formarea solului)		
Întreținerea duratei ciclului de viață (habitate pentru specii, interacțiunile dintre acestea, diseminarea semințelor)		
Conservarea biodiversității (diversitatea genetică a speciilor și a habitatelor)		
SERVICII DE APROVIZIONARE	SERVICII DE REGLARE	SERVICII CULTURALE
Aprovizionare cu hrană	Reglarea climatului și a hazardelor naturale	Recreere și ecoturism
Aprovizionare cu apă	Reglarea calității aerului și apei	Valori estetice
Aprovizionare cu materie primă (lemn, cherestea, combustibili)	Reglarea apelor și scurgerilor	Valori educaționale
Aprovizionarea cu resurse medicinale/biochimice (medicamente naturale, cosmetice)	Reglarea eroziunii și a fertilității solului	Valori spirituale și religioase
Aprovizionarea cu resurse ornamentale	Polenizarea	Valori inspiraționale
Aprovizionarea cu resurse genetice	Reglarea bolilor și dăunătorilor	Valorile patrimoniului cultural
		Sănătate și bunăstare mentală

Serviciile de aprovizionare (tab. 2) sunt definite de produsele tangibile ce sunt asigurate de către ecosisteme, cum ar fi lemnul, produse forestiere nelemnoase, produse farmaceutice, resurse genetice, apă potabilă [17].

Aceste beneficii sunt, de regulă, primordiale pentru existența oamenilor, de unde și apare preocuparea majoră pentru exploatarea acestora. În studiile din literatură au fost identificate SE de aprovizionare ca: -

- hrană - chiar dacă în cantități mici, există plantații de pomi fructiferi, produse forestiere nelemnoase - reprezentate prin fructe de pădure, ciuperci, flori, populația având posibilitatea să le culeagă pentru nevoi proprii sau pentru vânzare [7, 23];

- lemnul - principala sursă constituind pădurile Moldovei, în mare parte pentru scopuri casnice și cu o cantitate mică de cherestea, dar care constituie totuși un produs forestier important; -

- apa - pădurile Moldovei nu sunt furnizori direcți, dar aprovizionarea cu apă poate fi explicată prin faptul că majoritatea trupurilor de pădure conțin izvoare de apă, reprezentând sursă de apă potabilă, irigare în gospodării și salubritate; -

- vânatul - nu aduce o valoare însemnată, dar a fost urmărită o creștere a interesului pentru astfel de activități [21].

Lemnul de foc este descris, în majoritatea studiilor, ca cea mai importantă sursă pentru încălzire și gătit în regiunile rurale [7, 22, 30].

Tabelul 2. Serviciile ecosistemice de aprovizionare oferite de ecosistemul forestier.

Tipuri de servicii	Beneficiile serviciilor ecosistemice	Impactul asupra bunăstării umane
Servicii de aprovizionare	- Hrană (plantații de pomi fructiferi, sursă de hrană și de produse pentru vânzare, produse forestiere nelemnoase); - Lemn (cherestea, lemn de foc); - Alimentare cu apă (majoritatea trupurilor de pădure conțin izvoare de apă, reprezentând sursă de apă potabilă, irigare în gospodării și salubritate); - Surse de energie.	- Sănătate; - Baza unei vieți de calitate; - Securitate personală; - Relații sociale umane.

Serviciile de reglare (tab. 3) reprezintă beneficiile obținute din reglarea proceselor ecosistemice, care includ reglarea calității aerului, caracteristicilor climatice, apelor, eroziunii solului, pericolelor naturale [17].

Zonele naturale îndeplinesc astfel de funcții care, în anumite condiții, se dovedesc a fi vitale pentru securitatea oamenilor. Spre exemplu, pădurile joacă un rol esențial în stabilizarea versanților, reglarea alunecărilor de teren, reglarea viiturilor și a inundațiilor, reglarea calității aerului sau bariere în calea vântului și a înzăpezirilor. SE de reglare identificate în documentele analizate sunt: reglarea gazelor cu efect de seră, stabilizarea microclimatului, reglarea apei, reglarea eroziunii solului și retenția nutrienților. Serviciul de reglare a gazelor cu efect de seră a fost pus în evidență de funcția pădurilor din Republica Moldova de sechestrare a carbonului, susținută de proiectele carbon realizate de Moldsilva și Fondul de BioCarbon al Băncii Mondiale [7, 21, 30].

Aceste proiecte oferă valori considerabile, îmbunătățind imaginea sectorului privind furnizarea de SE forestiere.

Stabilizarea microclimatului este de asemenea un SE identificat [7], care este important pentru asigurarea biodiversității locale și, indirect, asigură și alte nevoi pentru traiul populației. Reglarea apei a fost menționată [7] ca fiind un SE cu o importanță ridicată, indusă de frecvența fenomenelor de secetă din ultimele două decenii, fenomen care ar putea fi contracarat de ecosistemele forestiere prin management sustenabil. Alunecările de teren și inundațiile sunt cele mai severe dezastre naturale, ce provoacă mari pierderi economice, aceste dezastre pot fi prevenite de către vegetația forestieră a Republicii Moldova. Documentele analizate au pus în evidență și contribuția pădurilor în stoparea eroziunii și fluxului de nutrienți din stratul superficial de sol, cel mai fertil [7, 21, 30].

Tabelul 3. Serviciile ecosistemice de reglare oferite de ecosistemul forestier.

Tipuri de servicii	Beneficiile serviciilor ecosistemice	Impactul asupra bunăstării umane
Servicii de reglare	<ul style="list-style-type: none"> - Reglarea gazelor cu efect de seră (a fost pus în evidență de funcția pădurilor din Moldova de sechestrare a carbonului, susținută de proiectele de carbon realizate de Moldsilva și Fondul de BioCarbon al Băncii Mondiale); - Stabilizarea microclimatului (care este important pentru asigurarea biodiversității locale și indirect, asigură și alte necesități pentru traiul populației); - Reglarea apei (indusă de frecvența fenomenelor de secetă din ultimele două decenii); - Reglarea eroziunii solului (conform cercetărilor s-a constatat că pădurile contribuie la stoparea eroziunii solului); - Retenția nutrienților (fluxului de nutrienți din stratul superficial de sol, cel mai fertil) 	<ul style="list-style-type: none"> - Securitate personală; - Sănătate; - Baza unei vieți de calitate; - Relații sociale umane.

Serviciile culturale (tab. 4) sunt servicii nemateriale, exprimate prin diversitate culturală, valori spirituale și religioase, valori educaționale, inspirație, relații sociale, valori ale patrimoniului cultural, recreere și ecoturism, prin care oamenii obțin de la ecosisteme îmbogățire spirituală, dezvoltare cognitivă, reflecție, [17]. SE culturale ce au fost identificate în literatura analizată sunt: *patrimoniul spiritual, religios și cultural* - majoritatea bisericilor și mănăstirilor se află în interiorul pădurilor, acumulând mii de vizite anual din partea turiștilor sau oamenilor din localitate; *educație* - serviciu foarte greu de captat, dar cu o importanță evidentă în sensibilizarea populației; *recreere și ecoturism* - cel mai mare beneficiar, după agricultură, al SE forestiere. Monumentele naturale, istorice și culturale se află în interiorul ariilor naturale protejate, majoritatea acestor arii protejate fiind ecosisteme forestiere [7, 21, 30].

Tabelul 4. Serviciile ecosistemice culturale oferite de ecosistemul forestier.

Tipuri de servicii	Beneficiile serviciilor ecosistemice	Impactul asupra bunăstării umane
Servicii culturale	<ul style="list-style-type: none"> - Rol spiritual, religios, și cultural (bisericile și mănăstirile ce se află în interiorul pădurilor); - Rol educațional; - Recreere și ecoturism; - Rol estetic. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relații sociale bune; - Sănătate; - Securitate personală; - Baza unei vieți de calitate.

Serviciile de suport (tab. 5) sunt necesare pentru productivitatea celorlalte SE, diferențiindu-se prin faptul că, cel mai des au un impact indirect asupra oamenilor sau că au loc într-o perioadă lungă de timp, cum ar fi formarea solului, fotosinteza, producția primară, ciclul apei [17]. Servicii de suport au avantaje indirecte, ce derivă din faptul că ecosistemele furnizează condițiile necesare pentru manifestarea altor beneficii: furnizarea de substrat pentru diversitatea biologică, spațiu adecvat pentru activitățile umane, asigurarea heterogenității abiotice [26].

Tabelul 5. Serviciile ecosistemice de suport oferite de ecosistemul forestier.

Tipuri de servicii	Beneficiile serviciilor ecosistemice	Impactul asupra bunăstării umane
Servicii de suport	<ul style="list-style-type: none"> - Protecția câmpurilor și solurilor, formarea și conservarea solului, creșterea producției agricole prin substratul furnizat pentru diversitatea biologică; 	<ul style="list-style-type: none"> - Securitate personală; - Baza unei vieți de calitate; - Sănătate;

<ul style="list-style-type: none"> - Crearea perdelelor forestiere de protecție; - Îmbogățirea spațiului aerian cu oxigen; - Asigurarea heterogenității abiotice. 	<ul style="list-style-type: none"> - Relații sociale bune
--	--

În evaluarea Ecosistemelor după raportul Mileniului se face în mod explicit legătura dintre natură și bunăstarea umană prin definirea unui set de servicii ecosistemice [17] și este unul dintre factorii cheie pentru creșterea nivelului cercetării și integrării sale în politici.

Transformările în serviciile ecosistemice exercită o influență vastă asupra tuturor elementelor esențiale ale bunăstării umane, cuprinzând nevoile materiale fundamentale pentru o existență prosperă, starea de sănătate, relațiile sociale satisfăcătoare, siguranța și capacitatea de a alege și acționa liber. Oamenii depind în întregime de ecosistemele Pământului și de serviciile pe care acestea le furnizează, cum ar fi hrana, apa curată, controlul bolilor, reglarea climatică, satisfacerea spirituală și plăcerea estetică. Interacțiunea dintre serviciile ecosistemice și bunăstarea umană este influențată de accesul la capitalul manufacturat, uman și social. Bunăstarea umană este determinată nu doar de serviciile ecosistemice, ci și de disponibilitatea și calitatea capitalului social, tehnologic și instituțional. Acești factori reprezintă mediatori în relația dintre serviciile ecosistemice și bunăstarea umană, în moduri care încă sunt subiect de dispută și înțelegere incompletă.

Interacțiunea dintre bunăstarea umană și serviciile ecosistemice nu urmează un traseu liniar. Atunci când un serviciu ecosistemic este disponibil în exces față de cerere, o creștere marginală a acestuia contribuie, în general, doar într-o mică măsură la bunăstarea umană (sau chiar poate să o diminueze). Însă atunci când serviciul este relativ rar, o mică reducere poate afecta semnificativ bunăstarea umană.

Valorile asociate cu SE rezultă din interacțiunea zilnică a persoanelor cu mediul lor. Oamenii percep mediul în primul rând pe baza cadrului socio-cultural, prin urmare, este de așteptat ca membrii gospodăriilor rurale, situate în apropierea pădurilor, să fie apreciativi față de SE. Deși mulți localnici utilizează pentru subzistența lor servicii forestiere de aprovizionare, dependenți de acestea fiind în special grupurile cu avere mai redusă, [2] aceștia au indicat ca fiind importante și alte tipuri de servicii. Direcționarea spre alte tipuri de SE, probabil, a fost influențată și de limitarea accesului direct la resursa cea mai importantă pentru subzistența lor (lemnul de foc) și indirect de disponibilitatea resurselor nelemnoase.

Conform sondajelor efectuate de Nicolae Talpă [26], respondenții au fost de acord în privința importanței majore a pădurilor pentru protecția exercitată împotriva intemperiilor și calamităților naturale. Dar și serviciile culturale sunt înrădăcinate adânc în tradițiile și cultura comunităților rurale. Populația recunoaște valoarea estetică pe care pădurea o conferă peisajului, aceasta participând indubitabil și la individualizarea localității. Pentru comunitate, existența unui mijloc de recreere în imediata apropiere a acestora este foarte îmbucurătoare, aceștia folosind pădurea ca mijloc de liniștire, inspirație, odihnă, dar și de educație (copiii sunt însoțiți în excursii prin care aceștia descoperă frumusețea și diversitatea naturii) [26].

Beneficiile („lucruri bune”) sunt definite ca contribuțiile reale aduse la bunăstarea umană [11]. Ele derivă din ecosisteme pe care oamenii le apreciază pozitiv sau negativ [32], sunt cele care asigură o legătură directă între serviciile ecosistemice și bunăstarea umană. Aceste beneficii sunt un produs al interacțiunii dintre natură și alte inputuri de capital pentru a genera bunăstare umană pozitivă sau negativă [10, 33]. Cele cinci capitale sunt:

(a) naturale, adică elemente ale naturii care produc valoare în mod direct sau indirect pentru oameni, cum ar fi ecosistemele și procesele naturale (Comitetul de capital natural al Regatului Unit);

(b) social, de exemplu, încredere, cooperare;

(c) umane, de exemplu, cunoștințe, aptitudini;

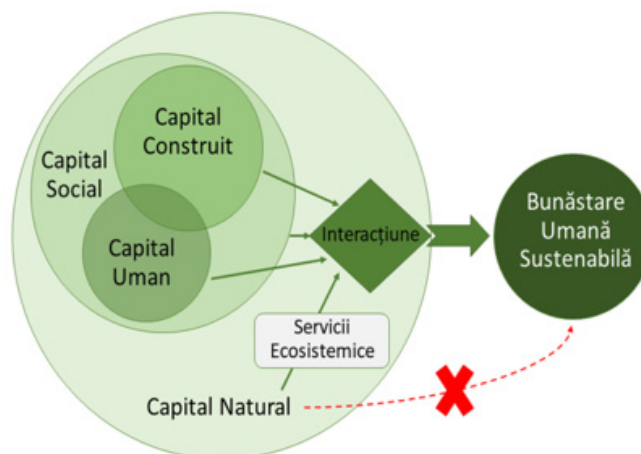
(d) construit, de exemplu, infrastructură, echipamente;

(e) financiar, de exemplu, moneda monetară [10, 15].

De exemplu, cheltuielile valutare sunt adesea necesare pentru a vizita locuri naturale și pentru a desfășura activități recreative în aer liber. În ciuda adăugării categoriei „beneficii” și a prezenței bunăstării umane în

unele cadre și clasificări ale serviciilor ecosistemice, majoritatea au pus accent pe funcțiile ecologice și serviciile ecosistemice. Elucidarea interrelației dintre beneficiile serviciilor ecosistemice a devenit urgentă, deoarece politicile actuale subliniază din ce în ce mai mult rolul naturii în bunăstarea umană.

Fig. 1. Interacțiunea dintre capitalul construit, social și uman [3, 26].



Interacțiunea dintre capitalul construit, social și uman (fig. 1) contribuie la bunăstarea umană. Capitalul construit și cel uman (economia) sunt încorporate în societate, iar aceasta este parte integrantă a cadrului natural. SE sunt contribuții relative a capitalului natural asupra bunăstării umane, ele nu decurg direct [3]. Aceste servicii nu aduc beneficii bunăstării umane fără aceste interacțiuni, în consecință, înțelegerea, modelarea, evaluarea și administrarea SE necesită abordare interdisciplinară [3]. Acest cadru conceptual este inclus și în evaluarea națională a ecosistemelor din Marea Britanie [32].

Transpunerea condițiilor și funcțiile ecosistemelor în SE necesită cercetare interdisciplinară, orientată spre utilizator, ce include colaborarea cu părțile interesate pentru a defini SE de care populația are nevoie, dezvoltarea modelelor transparente și flexibile a producției ecologice funcționale la scară relevantă pentru formulare de decizii [5].

Concluzii

Conceptul de servicii ecosistemice reprezintă un interes deosebit pentru cercetare prin beneficiile aduse de ecosistemul forestier în domeniul social, economic și cultural. Lucrarea dată s-a bazat pe analiza studiilor realizate până în prezent cu privire la identificarea, descrierea și evaluarea serviciilor ecosistemice forestiere.

Acest studiu nu și-a propus să genereze noi cunoștințe primare, ci a căutat să adauge valoare informațiilor existente prin adunarea, evaluarea, rezumarea, interpretarea și comunicarea acestora într-o formă utilă despre relațiile dintre serviciile ecosistemice furnizate de ecosistemele forestiere și bunăstarea umană.

Prezentul articol reprezintă o primă încercare a noastră de a evalua aceste servicii ecosistemice oferite de ecosistemele forestiere, beneficiile, interrelațiile și impactul asupra bunăstării umane în viziunea mai multor autori din țară și de peste hotare. Studiul este un punct de pornire pentru următoarele cercetări orientate spre determinarea mai precisă a beneficiilor serviciilor ecosistemice.

Cercetările au fost efectuate în cadrul subprogramului: 100801 – Sporirea securității ecologice și rezilienței geo-ecosistemelor la modificările actuale de mediu.

Referințe:

1. ABSON, D., VON WEHRDEN, H., BAUMGÄRTNER, S. et al. *Ecosystem services as a boundary object for sustainability*. In: *Ecological Economics*, 2014, Vol. 103, Issue 7, p. 29-37.
2. AHAMMAD, R., STACEY, N., SUNDERLAND, T. C. H. *Use and perceived importance of forest ecosystem services in rural livelihoods of Chittagong Hill Tracts, Bangladesh*. In: *Ecosystem Services*, 2019, nr. 35, p. 87-98.
3. COSTANZA, R., DE GROOT, R., SUTTON, P. C. et al. *Changes in the global value of ecosystem services*. In: *Global Environmental Change*, 2014, no 1, Vol. 26, p. 152-158.

4. DAILY, G. C., MATSON, P. A. *Ecosystem services: From theory to implementation. Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2008, no. 28, Vol. 105. PMID: 18621697.
5. DAILY, G. C., POLASKY, S., GOLDSTEIN, J. et al. *Ecosystem services in decision making: time to deliver*. In: *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, no. 1, Vol. 7, p. 21-28.
6. *Evaluarea serviciilor ecosistemelor (SE) forestiere în România*. Disponibil: <https://forestdesign.ro/index.php/ro/blog-ro/91-evaluarea-serviciilor-ecosistemelor-se-forestiere-in-romania>. [Accesat: 5.02.2024].
7. *Evaluation of Forest Ecosystem Services (FES) in the Republic of Moldova*. Technical Report for FLEGT. Transilvania University from Brasov, 2015, 85 p.
8. FAO. *Global Forest Resources Assessment 2020 – Main report*. Rome, Italy, 2020, 184 p. ISBN 978-92-5-132974-0.
9. FAO. *The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies*. Rome, Italy, 2022, 166 p. ISBN 978-92-5-135984-6.
10. FISH, R., CHURCH, A., WINTER, M. *Conceptualising cultural ecosystem services: A novel framework for research and critical engagement*. In: *Ecosystem Services*, 2016, no. 21, p. 208-217.
11. FISHER, B., TURNER, K., ZYLSTRA, M. et al. *Ecosystem Services and Economic Theory: Integration for Policy - Relevant Research*. In: *Ecological Applications*, 2008, no. 8, Vol. 18, p. 2050-2067.
12. GÓMEZ-BAGGETHUN, E., GROOT, R., LOMAS P.L. et al. *The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes*. In: *Ecological Economics*, 2010, Vol. 69, Issue 6, p. 1209-1218.
13. GRĂDINARU, G. *Conceptul „servicii de ecosistem” – abordare economică*. În: *Revista Statistică Română*, 2012, Nr. 8, p. 49-62.
14. KETTUNEN, M., TEN BRINK, P., DUDLEY N. *Social and economic benefits of protected areas – an assessment guide*, 2013, 368 p. ISBN: 978-0-415-63284-3.
15. MAACK, M., DAVIDSDOTTIR, B. *Five capital impact assessment: Appraisal framework based on theory of sustainable well-being*. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, Vol. 50, p. 1338–1351.
16. MÁRQUEZ, L. A., REZENDE, E. C., MACHADO, K B. et al. *Trends in valuation approaches for cultural ecosystem services: A systematic literature review*. In: *Ecosystem Services*, 2023, Vol. 64. ISSN 2212-0416.
17. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC, 2005, 155 p. ISBN 1-59726-040-1.
18. *Organizația pentru Alimentație și Agricultură a Națiunilor Unite*. Disponibil: <https://www.fao.org/publications/en>.
19. PALAGHIANU, C. *Analiza regenerării padurii: perspective statistice și informatice*. Ed.: Universitatea Ștefan cel Mare, Suceava, 2015, 415 p. ISBN 978-973-666-466-3.
20. POPA, B., PACHE, R. G. *Conceptul serviciilor ecosistemice - soluție pentru sprijinirea efortului de reglementare a sectorului silvic din România*. În: *Revista pădurilor*, 2016, nr. 3-4, p. 41 -53.
21. POPA, B. *The Economic Value of Ecosystem Services in Republic of Moldova. GEF/UNDP-GEF project National Biodiversity Planning to Support the Implementation of the CBD 2011-2020 Strategic Plan in Republic of Moldova*, 2013.
22. POPA, B., ZUBAREV, V., MOȘNOI, E., LOZAN, A. *Forest dependence based on surveys conducted in three villages of Moldova*. National report produced by ENPI FLEG II regional program, 2014.
23. *Raport privind starea fondului forestier și rezultatele activității Agenției „Moldsilva” în perioada anilor 2010-2015*. Agenția Moldsilva, 2016.
24. ROSHANI, J. M., SAJJAD, H., KUMAR, P., MASROOR, M., and other. *Forest Vulnerability to Climate Change: A Review for Future Research Framework*. In: *Forests*, 2022, no. 6, Vol. 13.
25. *Softul Mendeley*. Disponibil: <https://www.mendeley.com/search/>
26. TALPĂ, N. *Conceptul serviciilor ecosistemice - sprijin pentru decizie în gestionarea pădurilor în Republica Moldova*. Autoreferatul tezei de doctor în științe biologice, Brașov, 2022.
27. TOMCEAC, A. *Bunăstarea populației: evaluarea stării sociale actuale și direcțiile de creștere*. În: *Analele Institutului Național de Cercetări Economice*, 2018, nr. 1, p. 68-75. ISSN 1857-3630.
28. *The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Disponibil: <https://www.ipbes.net/history-establishment>

29. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB)*. Disponibil: <https://teebweb.org/>
30. ȚURCANU, G., PLATON, I. *Considerațiuni practice în evaluarea economică complexă a resurselor forestiere gestionate de Agenția „Moldsilva”*. În: *Analele Academiei de Studii Economice a Moldovei*, 2014, nr. 12, Vol. 1, p. 38-49.
31. WANGCHUK, J., CHODEN, K., SEARS, R. R. et al. *Community perception of ecosystem services from commercially managed forests in Bhutan*. In: *Ecosystem Services*, 2021, Vol. 50.
32. *UK National Ecosystem Assessment (UKNEA). Technical report, 2011*. Cambridge, UK: UNEP-WCMC.
33. *UK National Ecosystem Assessment (UKNEA). The UK national ecosystem assessment: Synthesis of the key findings*, 2014. Cambridge, UK: UNEP-WCMC, LWEC.

Date despre autori:

Veronica FLORENȚA, cercetător științific, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0009-0004-9194-3350

E-mail: florenta_veronica@yahoo.com

Corina CERTAN, cercetător științific coordonator, Universitate de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-2278-2475

E-mail:

Nadejda GRABCO, cercetător științific superior, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-3138-3548

E-mail:

Constantin BULIMAGA, cercetător științific principal, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-1288-0140

E-mail:

Prezentat la 25.03.2024

CZU: 535.37:616.314-089

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_13](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_13)

MECANISM DE INACTIVARE A AGENȚILOR PATOGENI CU APLICARE ÎN IMPLANTOLOGIE

Ion MUNTEANU,*Universitatea de stat din Moldova*

În prezent, o atenție deosebită se acordă utilizării pe scara largă a tratamentelor cu implant. Implanturile moderne au o rată bună a succesului, fiabilității și longevității, sunt minim-invazive, delicate și rezistente. Datorită dezvoltării unor forme de patogeni la contactul implant-țesut există situații de slabă aderență a suprafeței implantului la țesutul organic. Aplicarea metodelor chimice sau chirurgicale în astfel de situații sunt dificile, dar pentru a putea soluționa aceste fenomene sunt necesare tehnici noi de implementat. De aceea se propune aplicarea radiațiilor ultraviolete asupra sistemului optic (cristale fotonice și fibra de cristal fonic) din implanturile moderne pentru a trata infecția ce poate apărea la suprafața dintre implant și țesutul celular în procesul de slabă aderență. Aceste combinații de structuri optice periodice din cuarț sunt depuse și aranjate în mod regulat (setul de fibre sau sfere) pe suprafața implantului, ce pot fi utilizate ca un volum mare de dispersie a radiației ultraviolete C pentru tratarea infecției la suprafața dintre implant și țesutul de adeziune. Structura optică periodică propusă contribuie considerabil la creșterea aderenței implantului la țesutul celular, astfel stimulând creșterea celulară între elemente și implant.

Cuvinte-cheie: *implant, decontaminare, radiație UV-C, inactivare, patogeni, metamateriale.*

PATHOGEN INACTIVATION MECHANISM WITH APPLICATION IN IMPLANTOLOGY

At the present time, a special attention is given to the large-scale using of implant treatments. Modern implants have a good rate of success, reliability and longevity, they are minimally invasive, delicate and resistant. Due to the development of some forms of pathogens at the implant-tissue contact, there are situations of poor adhesion of the implant surface to the organic tissue. The application of chemical or surgical methods in such situations are difficult. But in order to solve these phenomena, new techniques are needed to be implemented. That why it is proposed to apply ultraviolet radiation on the optical system (photonic crystals and photonic fiber crystals) of modern implants to treat the infection that can appear on the surface between the implant and the cellular tissue in the process of poor adhesion. These combinations of periodic quartz optical structures are deposited and regularly arranged (set of fibers or spheres) on the implant surface, which can be used as a large volume dispersion of ultraviolet C radiation to treat the infection at the surface between the implant and adhesion tissue. The proposed periodic optical structure contributes considerably to increasing the adhesion of the implant to the cellular tissue, thus stimulating cellular growth between the elements and the implant.

Keywords: *implant, decontamination, UV-C radiation, pathogen inactivation, metamaterials.*

Introducere

Dezvoltarea de noi idei și metode aplicate în implantologie efectuate în ultima perioadă de timp, duce la creșterea semnificativă a popularității tratamentelor cu implant. În același timp se deschid noi posibilități pentru cercetarea inovatoare în acest domeniu. Numeroase studii au fost efectuate în acest sens pentru a găsi noi metode eficiente de decontaminare a suprafeței dintre implant și țesutul celular în procesul de slabă aderență, cu scopul protecției suprafeței în urma apariției agenților patogeni [1-3]. Aceste studii științifice sunt stimulate și de o mare incidență a complicațiilor pe termen scurt și lung, care au avut loc recent în experimentarea implanturilor.

Se cunosc diferite posibilități de inactivare a agenților patogeni apăruiți la suprafața de slabă aderență a implantului cu țesutul celular. Una dintre ele este atunci când aderența nu a fost cea mai bună compatibilitate cu procedurile de decontaminare, prin urmare se propune un set de efecte moderne în interacțiunea moleculară a radiațiilor UV-C (Ultraviolete de tip C) cu țesutul uman de pe suprafețele implantului. Iradierea cu radiații ultraviolete este o metodă cunoscută și folosită încă din 1877, când Downes și Blunt au

observat că măbind timpul de expunere al eprubetelor care conțin soluție Pasteur la lumina solară, eprubetele au rămas libere de bacterii timp de câteva luni [4]. Pornind de la aceste observații, interacțiunea dintre radiație și materie a fost studiată și testată pe larg pe parcursul timpului. Odată ce aceste radiații au energii diferite, respectiv și interacțiunea lor cu materia este diferită. Dacă materia o privim ca pe o substanță care are masă și ocupă spațiu având volum și totodată ea este compusă din atomi unde totalitatea atomilor alcătuiesc moleculele, atunci interacțiunea radiațiilor cu materia este una foarte diversă. La energii mari ale radiației, adâncimea de penetrare în materie este mult mai mare în comparație cu radiațiile care au energiile mici.

Radiațiile ultraviolete s-au dovedit a fi cele mai eficiente în acest scop, iar în prezent sunt utilizate pe scară largă pentru inactivarea agenților patogeni virali. Dezinfecția cu ajutorul radiațiilor UV-C este foarte eficientă la lungimi de undă de 200-300 nm. Există mai multe studii în acest sens care confirmă acțiunea radiațiilor ultraviolete de tip C, ca fiind una foarte eficientă în nimicirea virusurilor și bacteriilor [5]. Anume acest interval al radiației este considerat germicid, deoarece este absorbit de ADN-ul patogenilor care ulterior îi distruge structura moleculară prin formarea dimerilor de timina T=T, astfel încât patogenii nu mai au posibilitatea de a se replica sau înmulți. În acest caz metodele tradiționale precum dezinfecția chimică nu mai este necesară, odată ce radiația UV-C inactivează efectiv virusii, bacteriile, ciupercile și sporii. Totodată, dezinfecția bazată pe radiații UV este o metodă fiabilă și prietenoasă cu mediul, la intensități de iradiere suficient de mari nu mai este nevoie de substanțe chimice suplimentare [6-7], iar microorganismele precum virusii, bacteriile, drojdiile și ciupercile devin inofensive în câteva secunde urmând acestei iradierii.

Aceste aspecte ale decontaminării eficiente cu radiații ultraviolete (UV-C) deschid noi perspective în construcția de noi implanturi cu sensibilitate ridicată în decontaminarea microorganismelor ce pot apărea în procesul de slabă aderență. Pentru a trata infecțiile de suprafață în regiunea dintre implant și țesutul celular, este propus un nou sistem optic. Pentru a îmbunătăți suprafața de contact dintre agenți patogeni și radiația UVC, am folosit o combinație de elemente metamateriale, cum ar fi sfere și fibre întregi sau zdrobite din cuarț, în aranjamente de ambalare strânsă. Se demonstrează că suprafața totală a metamaterialelor pe implant în contact optic cu suprafața zonei contaminate a țesutului celular este semnificativ crescută.

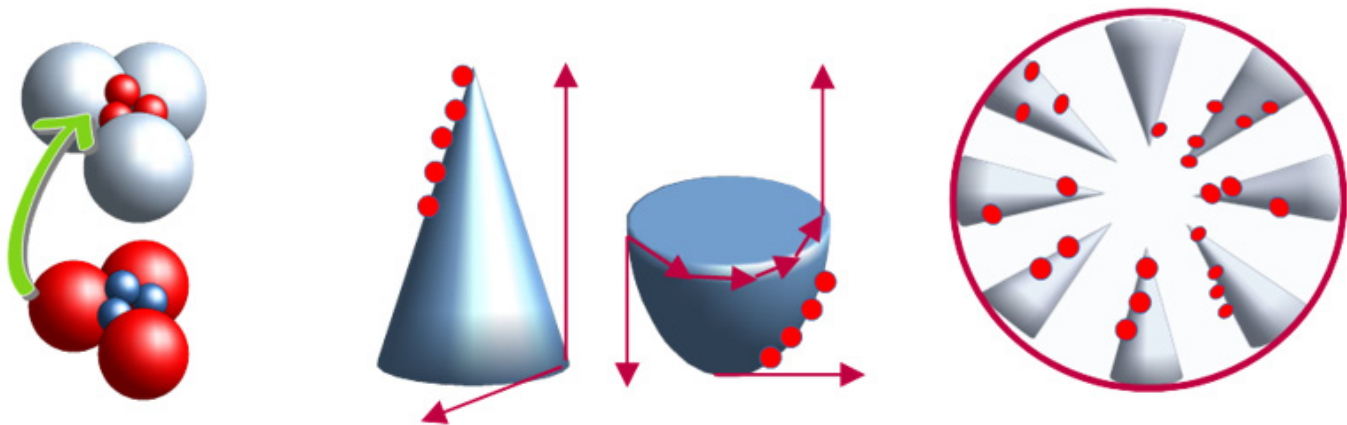
Probele de metamaterial super-ambalate au fost supuse iradierii UV-C, pentru a îmbunătăți formarea de antibiofilm cu avantaje așteptate pentru sterilizarea pe termen lung a implanturilor și prevenirea infecțiilor nosocomiale pe arii clinice mari. Ori de câte ori se ajunge la un contact bun între elementele metamateriale (sfere, fibre optice și/sau elemente zdrobite), lumina este „limitată” și dispersată prin unde evanescente într-un volum extins. Acest lucru permite ca radiația ultravioletă să poată fi ușor manipulată prin metamaterialele, astfel încât o doză mai mare de radiație să fie dispersată pe suprafața infectată.

Este cunoscut că radiațiile UV-C au un impact negativ asupra sănătății omului. Metoda propusă în aceasta lucrare este una non-invazivă, deoarece odată ce este posibilă dirijarea și canalizarea radiației strict în zona de interes, nu poate afecta cu nimic alte părți ale corpului decât suprafața afectată dintre implant și țesutul celular. În astfel de situații radiația UV-C este expusă direct patogenilor.

Materiale și metode

Radiația UV-C a fost utilizată în mod convențional în sisteme de purificare a aerului și de tratare a apei și a unor maladii de gripă, [8]. A venit momentul ca această radiație sub formă să fie canalizată prin sisteme optice speciale precum structurile optice periodice. Se propun modalități de cooperativitate dintre biomolecule atât la emisia cuantelor de lumină, cât și la absorbția ei. Aceste modalități de cooperare dintre radiatori sunt exportate la efectele de cooperare dintre fotonii modurilor de cavitate sau modurilor fibrelor optice la propagarea pulsurilor de lumină prin ele. La conversia luminii din modul de pompă în modurile Stokes și anti-Stokes se utilizează atât atomi, cât și molecule ori biomolecule plasate în câmpul de evanescență al sistemelor optice formate din cavități cuplate, la contact cu fibre optice cuplate ori alt tip de elemente periodice. La dimensiuni reduse de ordinul lungimilor de undă de emisie aceste sisteme cuplate pot fi numite *molecule fotonice*, iar în cazul formării unor structuri extinse sunt numite în literatură *cristale fotonice* (vezi Fig. 1).

Fig. 1. Molecule fotonice ce conțin microsferă de diferite dimensiuni. a) bilele de cuarț; b) con din cuarț; c) elemente împachetate într-un tub de cuarț.



În figura 1a, spațiul dintre sferele cu dimensiuni reduse cu diametrul d_1 este suplinat cu sfere cu dimensiuni de zece de ori mai mici $d_1/10$. Această împachetare continuă după reducerea dimensiunilor elementelor metamaterialului cu alte sfere cu dimensiuni de 100 ori mai mici decât cele inițiale $d_1/10$. Procedura ar putea continua pentru a ajunge la scară nanometrică a tubulinelor. Propagarea luminii ce cade direct pe bazele unei calote sferice și a unui con din cuarț, ce suferă multiple reflecții înaintând spre vârful conului (vezi Fig. 1b), iar în Fig. 1c. aceste elemente pot fi împachetate într-un tub de cuarț pentru a mări contactul optic cu fluidul ce se propagă prin el.

Ideea principală a acestei lucrări pentru prima dată a fost propusă în scopul decontaminării lichidelor (cum ar fi apa, plasma sanguină sau sângele). Atunci s-au cercetat amănunțit aspecte ale suprafeței totale de decontaminare a structurilor periodice formate din fibre de cuarț sau bile introduse într-un cilindru gros cu diametrul de 3 cm și lungimea în jur de un metru. Pentru o eficiență crescută a ratei de decontaminare radiația ultravioletă a fost focalizată în interiorul acestui cilindru al unui echipament inovativ dezvoltat în incinta laboratorului care funcționează cu ajutorul a șase lămpi de mercur cu lungimea de undă 253.4 nm, ilustrat în (Fig. 2) și publicat într-o serie de lucrări [6, 7].

Fig. 2. Tubul de cuarț introdus în echipamentul de decontaminare ce conține 6 lămpi UVC.



În această lucrare ne vom axa doar pe unele structuri cvasi-periodice, în care fluidul (lichide ori gaze) pot ușor penetra spațiul dintre ele la scurgere. O atenție deosebită vom da suprafețelor de contact al fluidului cu aceste structuri, numite în literatură și metamateriale. Meta-materialele sunt definite ca fiind acele compozite cu proprietăți care nu se găsesc în natură. În cercetarea electromagnetică, există un mare interes în dezvoltarea compozitelor care prezintă valori precise ale permitivității electrice (ϵ) și permeabilității magnetice (μ), deoarece acestea dictează mișcarea radiației electromagnetice în și în jurul materialului. Metamaterialele precum cristalele fotonice sunt materiale macro-poroase cu proprietăți interesante, în special proprietăți optice. S-a decis să folosim aceste sisteme optice în îmbunătățirea aderenței și tratarea eventualelor infecții de suprafață. De asemenea, putem menționa că fibrele „band gap” cu miezuri goale pot ocoli

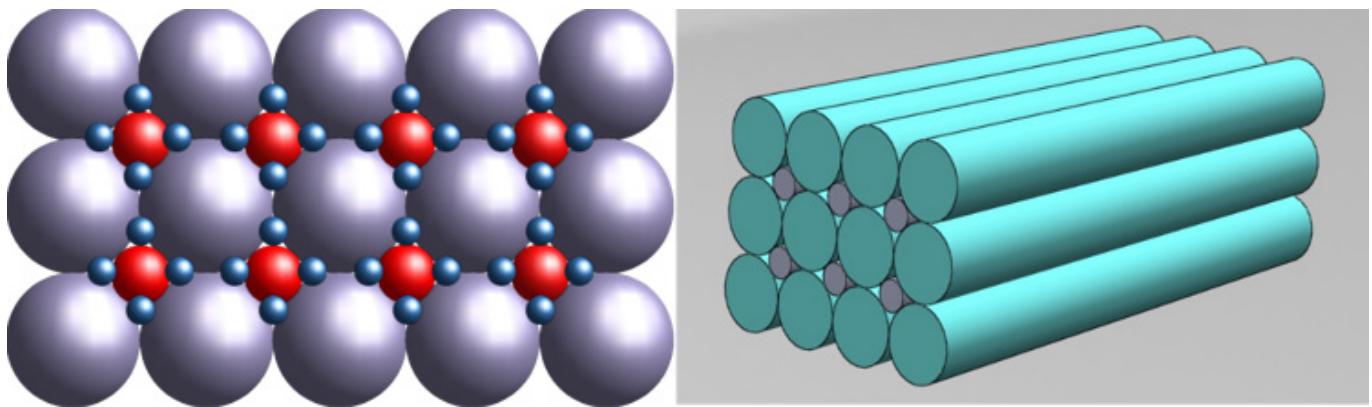
limitele impuse de materialele disponibile, de exemplu, pentru a crea fibre care ghidează lumina la lungimi de undă pentru care nu sunt disponibile materiale transparente (deoarece lumina este în primul rând în aer, nu în materiale solide).

Pentru a câștiga în suprafața de contact cu structurile cvasi-periodice se propune de a umple spațiul liber dintre elementele structurii (la împachetarea cubică sau hexagonală) cu introducerea suplimentară a unor elemente mai mici comensurabile cu spațiul dintre bile sau fibre (vezi Fig. 3). Această reîmpachetare a structurii cvasi-periodice cu noi elemente are două aspecte utile la decontaminare sau diagnostică sub acțiunea luminii cu moleculele, biomoleculele situate în spațiul liber dintre elementele cvasi-periodice. Prima este strâns legată de suprafața totală de contact dintre fluid și radiația ce penetrează în zona câmpului apropiat, iar a doua de reducere a spațiului liber nepenetrat de câmpul de evanescență și substituirea lui cu o nouă sursă de împrăștiere a luminii la propagarea ei.

Aceasta necesitate apare odată cu creșterea grosimii fibrelor sau a razei sferelor de cuarț la împachetarea lor într-un set optic cvasi-periodic, rămâne un volum destul de mare dintre bile/sfere nedecontaminat [8-10] care poate fi ușor de calculat fiind egal cu volumul cilindrului/dintelui în care au fost introduse fibrele minus volumul fibrelor. Acesta si este volumul total liber dintre fibre sau bile. Din acest volum total, doar o parte este utilizată în mecanismul de decontaminare cu radiații UVC, iar partea care nu este utilizată poate fi ușor calculată. Din volumul liber trebuie scăzut volumul expus adâncimii de penetrare a radiației UV-C, adică volumul egal cu suprafața totală a fibrei/sferei înmulțit cu adâncimea de penetrare. În caz că raza sferelor sau grosimea fibrelor crește, atunci volumul va fi unul foarte mic. Acest volum va fi foarte mic în comparație cu volumul liber dintre elemente, prin aceasta ne referim la creșterea razei (grosimea fibrei), volumul nostru liber decontaminat crește. Pentru a o reduce, există o idee care constă în următoarele. Dintre fibrele groase (sau bile cu rază mare), putem introduce fibre subțiri sau bile cu rază mică.

Fig. 3. Împachetarea cubică cu introducerea unor elemente mai mici comensurabile cu spațiul dintre a) bile și b) fibre.

Fibrele groase intrând în contact optic cu fibrele subțiri vor dispersa radiația ultravioletă în volumul încă



infectat. Acesta va fi egal cu suma dintre aria fibrelor groase și aria fibrelor subțiri înmulțite cu adâncimea de penetrare a radiației UV-C. O situație similară a fost aplicată la un volum de decontaminare dintre sferile cuarț cu o rază de aproximativ 1.5 mm, unde spațiul dintre sferele mari a fost umplut cu sfere cu diametru mai mic, astfel încât volumul total de dezinfecție devine egal cu suprafața totală a sferelor mari și mici înmulțit cu adâncimea de penetrare. În așa fel a crescut cu mult eficiența decontaminării [11, 12].

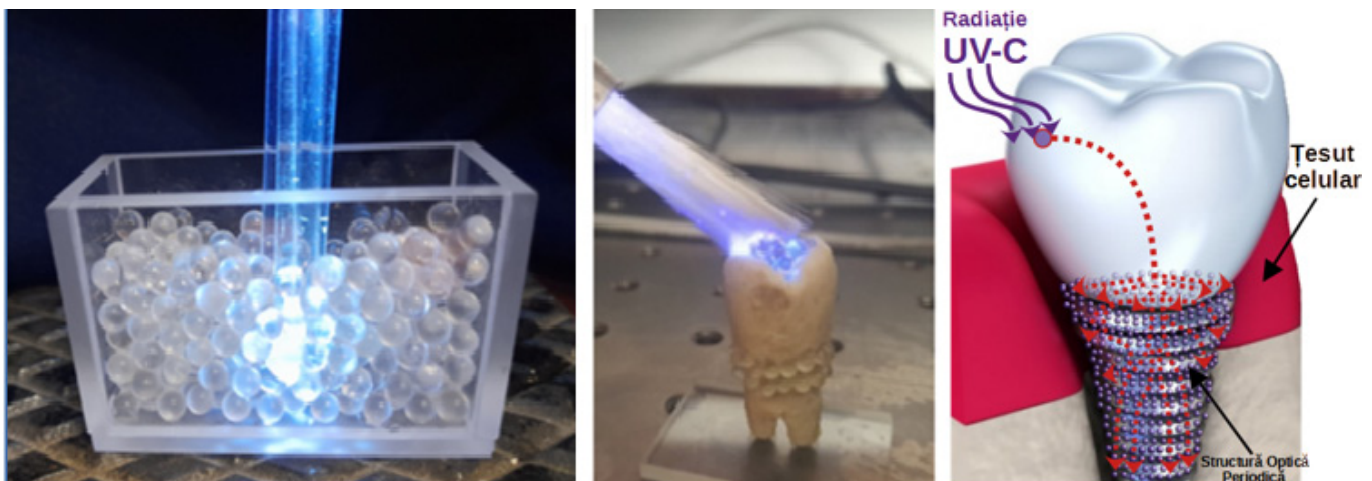
Toate aceste idei au fost dezvoltate pentru decontaminarea fluidelor care curg între elementele metamaterialelor și ulterior transferate pe modele de implant. Conform estimărilor noastre, suprafața totală este egală cu suprafața fiecărui element ce se conține în cilindru din figura de mai sus înmulțită cu numărul acestora. Volumul total de decontaminare al fluidului este egal cu suprafața totală înmulțită cu adâncimea de penetrare a radiației ultraviolete din fibră/sferă în fluidul contaminat. Această adâncime de penetrare este egală cu:

$$d = \lambda / \sqrt{2\pi(n_q^2 - n_f^2)} \quad (1)$$

unde $\lambda=254$ nm este lungimea de undă a radiației UVC aplicate, iar n_q și n_f sunt indicii de refracție ai cuarțului, respectiv al fluidului. Această concepție despre volum și suprafață de dezinfectie poate ușor fi transferată la rețeaua de difuzie a implantului format din structura optică periodică descrisă mai sus. În cazul când rețeaua de difuzie a implantului este formată din sfere în contact, atunci suprafața țesutului organic decontaminat va fi egală cu suprafața unei bile înmulțite cu numărul acestora de pe implant, iar volumul de decontaminare trebuie obținut prin înmulțirea suprafeței totale la adâncimea pătrunderii radiațiilor ultraviolete în țesutul celular infectat. Problema este în adâncimea de penetrare a radiațiilor ultraviolete în interiorul fluidului sau țesutului organic. Dacă adâncimea de penetrare este proporțională cu dimensiunea virusului sau bacteriilor, atunci totul e bine, și în această situație, putem înlocui în expresia de mai sus pentru indicele de refracție al fluidului n_f , cu indicele de refracție al țesutului organic $n_t \approx 1,41$. Această adâncime de penetrare nu este dificil de estimat și este egală cu 260 nm împărțită la rădăcina pătrată din pe lînga (indicele de refracție pentru cuarț) la pătrat minus 1,41 (indicele de refracție al țesutului organic) la pătrat (formula de mai sus).

Pentru tratarea infecției de la suprafața dintre implant și țesutul de aderență, este necesar să existe un volum mare de dispersie de radiații UVC. De aceea propunem ca învelișul implantului să fie realizat din metamateriale, cum ar fi structurile optice periodice din cuarț descrise mai sus. Acest fenomen de dispersie este prezentat în figura 4.

Fig. 4. Fenomenul de dispersie a radiațiilor UV-C. a) fibra-bile; b) set microfibre-bile asupra implantului dentar; c) Suprafața implantului acoperită de bule de cuarț în contact cu sursele externe.



Pe de o parte, acest fenomen de dispersie în metamateriale poate fi utilizat ca mediu de dispersie a radiațiilor UV-C (Fig.4a) pe suprafața destul de mare dintre implant și țesutul de adeziune, oferind efecte pozitive în tratamentul infecției, iar pe de altă parte, spațiile dintre elementele materialului (între microsfele sau fibre) pot avea efecte de bună aderență a țesutului la suprafața implantului.

În ideea acestor teorii descrise în această lucrare ar fi posibil ca implantul dentar să poată consta dintr-un set de fibre sau bule de cuarț pachet periodic în interiorul cavității implantului, așa cum este reprezentat în (Fig.4b). Un astfel de implant dentar poate fi utilizat cu succes în implantologie, iar pentru gestionarea dezinfectării lui, putem apela la laser UVC de mici dimensiuni pentru aplicarea unei doze de radiație UV-C în fiecare dimineață. Sistemul optic periodic este introdus în regiunea mică de adeziv, între implant și țesutul celular, așa cum este reprezentat în (Fig.4c). Radiația acestui laser este ghidată în interior, în partea inferioară a implantului, pe care acesta vine în contact cu țesutul organic. În așa fel, este posibilă tratarea eficientă a suprafeței implantului în contact cu țesutul celular.

Rezultate și discuții

Experimentele efectuate cu împachetări diferite ale metamaterialelor au demonstrat în mod concludent și convingător că atât sferile de cuarț, cât și cele din fibre în comun cu radiațiile UV-C pot inactiva eficient

agenții patogeni prezenți în aer sau în diferite fluide, de exemplu, bacteriile drojdie și Kombucha [10-11], inclusiv *Escherichia coli*, sau *Enterococcus* precum Coliform, covid-19 etc.

Metoda de decontaminare propusă va fi dezvoltată în baza a două efecte observate în optica modernă a metamaterialelor: unul este legat de creșterea substanțială a zonei de contact a virușilor și bacteriilor cu câmpul de radiație în apropiere de suprafața metamaterialului, și al doilea efect este legat de posibilitatea de atragere a acestor agenți patogenici în zona de decontaminare din zona apropiată suprafeței de contact a elementelor din care este construit meta materialul. Ultimul efect depinde de gradientul mărit al câmpului apropiat, indicele de refracție, densitatea agentului patogen.

Aplicând suprafața zonei evanescente ale unor astfel de structuri optice cvasi-periodice eficiența decontaminării crește drastic. Sistemul optic periodic propus atestă o îmbunătățire a contactului de adeziune dintre implant și țesutul celular. Între elementele structurilor periodice apare o nouă perspectivă asupra procedurilor de decontaminare. Eficiența decontaminării folosind suprafața zonei evanescente a unor astfel de structuri optice cvasi-periodice crește drastic, iar îmbunătățirea contactului mecanic cu țesutul organic și contactul optic între elementele structurilor periodice deschide o nouă perspectivă asupra procedurilor de decontaminare.

Legat de procedura de reambalare a meta-materialelor propuse, reproducerea miezului din dispozitivul de decontaminare constă din aceste materiale. Luând în considerare metodele de reambalare a metamaterialelor cu diametrele cunoscute atât sferelor mari, cât și mici, putem obține o structură compactă foarte bună, asemănătoare celei solide. Cu siguranță, unele defecte în procedura de reambalare pot persista, chiar și acel factor uman, dar aici nu se observă o diferență semnificativă în eficiența decontaminării patogenilor. S-au propus două structuri topologice ale meta-materialelor din bile și fibre, pentru a crește suprafața de contact a radiațiilor UV ale implantului dentar cu materia.

Concluzii

A fost studiat aspectul interacțiunii radiațiilor UV-C cu aplicarea dezinfectării pe suprafețele implanturilor și stimularea posibilă a contactului implantului cu țesutul celular. În urma investigațiilor experimentale efectuate s-a propus o nouă metodă de împachetare a bilelor și fibrelor din cuarț. Folosind aceste impachetări ale metamaterialelor (cristale fotonice/ fibre de cristal fotonice) în implantologie, avem posibilitatea de a manipula radiația UV-C în zona afectată a sistemului neuronal, iar datorită spațiilor dintre bile/fibre duce la o aderență mult mai bună a legăturii implant-țesut. Îmbunătățirea contactului suprafeței UV-C cu fluidul contaminat depinde de mai mulți parametri precum indicele de refracție al metamaterialului, cât și al fluidului, și de asemenea de proprietățile optice ale virușilor și bacteriilor.

Referințe:

1. Enaki, N. *Non-linear Cooperative Effects in Open Quantum Systems*, NY, Nova Science Publishers, 2015.
2. Zhang, C., Lan, L., Cheng, J., *Quantification of Lipid Metabolism in Living Cells through the Dynamics of Lipid Droplets Measured by Stimulated Raman Scattering Imaging*, *Analytical chemistry*, 2017 89(8), 4502-4507. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b04699>
3. Enaki, N., Turcan, M., Paslari, T., Nisteanu, A., Bazgan, S., Ristoscu, Carmen., Mihailescu, Ion., *Efectele optoelectronice în modernizarea implanturilor avansate folosind structura optică periodică*. În: *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*. București, 23-26 august 2018, Ediția a 9-a, Vol. 10977. Bellingham, Washington SUA: SPIE, 2018, pp. 1-15.
4. Enaki, N., Profir, A., Bizgan, S., Paslari, T., Ristoscu, T., et al. *Metamaterials for Antimicrobial Biofilm Applications: Photonic Crystals of Microspheres and Optical Fibers for Decontamination of Liquids and Gases*. *Handbook of Antimicrobial Coatings Elsevier*, 2017 pp. 257-282.
5. Stolik, S, Delgado, J. A., Pérez, A., Anasagasti, L. *Măsurarea adâncimii de penetrare a luminii roșii și aproape de infraroșu în țesuturile umane „ex vivo”*. *J Photochem Photobiol B*. 2000 Sep. 57(2-3):90-3. PMID: 11154088. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(00\)00082-8](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(00)00082-8)
6. Tsen, SW. D., Wu, T. C., Kiang, J. G. et al. *Perspective pentru o nouă tehnologie cu laser cu impulsuri ultrascurte pentru inactivarea agenților patogeni*. *J Biomed Sci*, (2012) 19, 62. <https://doi.org/10.1186/1423-0127-19-62>

7. Kowalski, W., *UVGI disinfection Theory, Ultraviolet germicidal irradiation handbook*, Springer, 2009, pp.17-50.
8. Matveev, M., Erofeev, A., Terekhin, S., Plotnikova, P., Vorobyov, K., Vlasova, O., *Implantable devices for optogenetic studies and stimulation of excitable tissue*, St. Petersburg Polytechnical University Journal: *Physics and Mathematics* 1, 2015.
9. Rastogi, RP, Richa, Kumar A., Tyagi, M.B., Sinh, R. P. *Mecanismele moleculare ale deteriorării și reparației ADN-ului induse de radiațiile ultraviolete. J Acizi nucleici.* 2010 Dec. 16;2010:592980. <https://doi.org/10.4061/2010/592980>
10. Miller, R. L., Plagemann, P. G. *Efectul luminii ultraviolete asupra mengovirusului: formarea de dimeri de uracil, instabilitatea și degradarea capsidei și legarea covalentă a proteinei la ARN viral. J Virol.* 1974 Mar. 13(3):729-39. <https://doi.org/10.1128/jvi.13.3.729-739.1974>
11. Enaki, N. A., Paslari, T., Bazgan, S. et al. *Dependența de intensitatea radiației UVC a ratei de decontaminare a agenților patogeni: teorie și experiment semiclasic. EURO. Fiz. J. Plus* 137, 1047 (2022). <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-03252-y>

Notă: Această lucrare a fost susținută de proiectele: Subprogram cod 011206 IFA, USM. Aducem sincere mulțumiri îndrumătorului conferențiar universitar, dr. Nelly Ciobanu, dr. Marina Țurcan, cât și conducătorului științific, prof., dr.hab. Nicolae A. Enaki pentru implicare, susținere și îndrumare.

Date despre autor:

Ion MUNTEANU, doctorant, cercetător științific în componența laboratorului „Optică Cuantică și Procese Cinetice”, Institutul de Fizică Aplicată, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5685-8888

E-mail: ion.munteanu@usm.md

Prezentat la 23.02.2024

CZU: 591.5:579.873.7:631.4(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_14](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_14)

ÎNVĂȚAREA SPAȚIALĂ ȘI MEMORIA ȘOBOLANILOR ALBI ÎN LABIRINTUL RADIAL CU OPT BRAȚE SUB INFLUENȚA BIOMASEI DE STREPTOMICETE IZOLATE DIN SOLURILE REPUBLICII MOLDOVA

Anastasia GARBUZNEAC, Vladimir ȘEPTIȚCHI, Ana LEORDA,
Universitatea de Stat din Moldova,

Svetlana BURȚEVA, Maxim BÎRSA,
Universitatea Tehnică a Moldovei

În experimente pe șobolani albi de ambele sexe, s-a stabilit, că consumul pe termen lung a biomasei de streptomicete a tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-06 și, într-o măsură mai mică, *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11, izolate din solurile din Republica Moldova, stimulează semnificativ procesul de învățare în labirintul radial cu opt brațe și contribuie la facilitarea elaborării memoriei de lucru și activării memoriei spațiale pe termen lung, ceea ce argumentează perspicacitatea unor cercetări ulterioare în scopul izolării și identificării substanțelor cu efecte neuroprotective și proprietăți nootropice din biomasa acestor tulpini de streptomicete. Au fost depistate diferențe dintre sexe la învățarea șobolanilor albi în labirintul radial cu opt brațe și la activarea memoriei spațiale de lucru, ceea ce poate mărturisi în favoarea prezenței dimorfismului sexual în zonele creierului, responsabile de învățarea spațială.

Cuvinte-cheie: *învățare spațială, memorie spațială de lucru pe termen lung, labirint radial cu opt brațe, streptomicete, biomasă, metaboliți cu acțiune neuroprotectoare și nootropă.*

SPATIAL LEARNING AND MEMORY OF WHITE RATS IN THE EIGHT-ARM RADIAL MAZE UNDER THE INFLUENCE OF THE BIOMASS OF STREPTOMYCETES ISOLATED FROM THE SOILS OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

In experiments on white rats of both sexes, it was established that long-term consumption of biomass of streptomycetes of the *Streptomyces massasporeus* CNMN-06 strains and, to a lesser extent, *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11, isolated from the soils of the Republic of Moldova, significantly stimulates the learning process in the eight-arm radial maze and promotes facilitating the development of working and activation of long-term spatial memory, which shows the promise of further research with the aim of isolating and identifying substances with neuroprotective and nootropic properties from the biomass of these strains of streptomycetes. Sex differences were found in the learning of white rats in the radial eight-arm maze and the activation of working spatial memory, which may indicate the presence of sexual dimorphism in the brain areas responsible for spatial learning.

Keywords: *spatial learning, spatial working and long-term memory, eight-arm radial maze, streptomycetes, biomass, metabolites with neuroprotective and nootropic effects.*

Introducere

Cercetările mecanismelor neurochimice și moleculare ale memoriei și învățării neurologice sunt foarte intensive în ultimele decenii. Cu toate acestea, în pofida volumului imens de material experimental, a îmbunătățirii constante a tehnicilor experimentale și a succeselor indiscutabile obținute de diverși cercetători, o gamă largă de probleme rămân încă neclare, iar tentativele de creare a unei teorii unificate, care ar explica în mod cuprinzător și consecvent toate aspectele acestui fenomen complex se confruntă cu dificultăți semnificative [1, 2, 3]. Reacția organismului animalului la circumstanțele, care se repetă se dovedește ade-

sea a fi complet diferită de ceea ce se întâmplă atunci când se confruntă cu acestea pentru prima dată. Acest lucru se întâmplă din cauza capacității sistemelor vii de a învăța, adică a prezenței unei astfel de caracteristici specifice precum memoria, a cărei existență determină, în mare măsură, comportamentul individual al fiecărui animal și persoană, condiționat de experiența sa personală [4, 5].

Testarea neurocomportamentală este un instrument important și extrem de comod la realizarea cercetărilor, deoarece permite obținerea datelor noi despre diverse manifestări ale funcțiilor cognitive la animalele studiate, evaluarea cu precizie a capacității lor de a învăța, percepția spațială, memoria [6] și, de asemenea, permite depistarea prezenței leziunilor în anumite zone ale creierului ca urmare a dezvoltării unui sau altui proces patologic [7, 8]. Capacitatea de a studia funcțiile cognitive și diferitele tipuri de memorie, folosind modele experimentale de animale, utilizând teste neurocomportamentale prezintă o sursă deosebit de importantă de informații despre schimbările care apar sub influența preparatelor nutriționale sau farmacologice și reprezintă, de asemenea, un avantaj indiscutabil în comparație cu modelele *in vitro* [9].

Labirintul radial și labirintul de apă Morris sunt instrumente importante pentru studiul învățării și memoriei spațiale la șobolani în condiții controlate [10-12].

În ultimele decenii, s-a descoperit, că metaboliții secundari ai unui șir de tulpini de streptomicete sunt capabili să exercite un efect neuroprotector în diferite modele de neurodegenerare [13-20]. O serie de studii au arătat, că capacitatea idioliților streptomicetelor de a preveni neurodegenerările se datorează în primul rând efectului lor antioxidant, precum și capacității de a inhiba toxicitatea L-glutamatului și de a stimula neuritogeneza și etapele neurogenezei. Din produsele metabolice ale diferitelor tulpini de streptomicete au fost izolați inhibitori specifici ai peroxidării lipidice a membranelor celulare, cum ar fi benzastatine, pirazine, alcaloizi pirolizidinici, antiostatine, carbazochinocine, bentocianine și este demonstrată importanța lor ca substanțe neuroprotectoare puternice în condițiile inducerii peroxidării lipidelor [21-25]. O serie de studii au constatat, că astfel de metaboliți secundari ai streptomicetelor precum aestivofoeninele A și B, benzastatinele C, D, H și I, fenazostatinele, mescengricina, carquinostatinul B, fenazinele [26-28], precum și pontemazinele A și B, izolate din tulpina *Streptomyces sp. UT1123* își exercită efectul neuroprotector ca inhibitori ai toxicității glutamatului.

În pofida numărului tot mai mare de rapoarte privind efectele produselor metabolice ale streptomicetelor asupra proceselor neuronale, efectul acestora asupra comportamentului animal a fost studiat foarte puțin. Datele obținute în rezultatul acestor studii prezintă, fără îndoială, un mare interes pentru elaborarea preparatelor farmacologice cu proprietăți neuroprotectoare și nootrope, bazate pe metaboliții secundari ai streptomicetelor. La studierea efectelor metaboliților secundari ai tulpinilor *Streptomyces avermectilis* și *Streptomyces lincolniensis* – avermectinelor doramectină și ivermectină asupra reacțiilor comportamentale ale șobolanilor albi, în special, a fost evidențiat efectul lor anxiolitic [29-31]. Folosind tehnicile Open Field, Elevated Plus Maze și Conflict Behavior, s-a constatat că, în doze terapeutice, acești metaboliți secundari ai streptomicetelor reduc nivelul anxietății și al stresului și protejează șobolanii de efectele convulsive ale pentilentetrazolului și picrotoxinei.

În studiile efectuate anterior la Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie al AȘM în colaborare cu colegii de la Institutul de Microbiologie și Biotehnologie al AȘM, folosind un model de evitare bilaterală a influențelor negative într-o cameră naveta (*shuttle box*), s-a constatat, că pe termen lung (60-90 zile) consumul de către șobolani albi de ambele sexe, a biomasei tulpinilor *Streptomyces massaporeus CNMN-Ac-06* și *Streptomyces fradiae CNMN-Ac-11*, izolate din solurile din zona centrală a Republicii Moldova, facilitează dezvoltarea reflexelor condiționate defensive și contribuie la creșterea vitezei reacțiilor motorii direcționate [15, 16]. Ulterior, în experimente pe șobolani de diferite vârste, s-a depistat, că biomasa tulpinilor de streptomicete sus-menționate stimulează într-o măsură mai mare dezvoltarea reflexului condiționat de evitare activă la animalele senile cu simptome de neurodegenerare, comparativ cu cele tinere, facilitând astfel în mod semnificativ, procesul de învățare reflector condiționată și încetinirea „stingerii” vestigiilor memoriei reflector condiționate (într-o măsură mai mare la animalele senile) [17]. Până în prezent, efectul metaboliților streptomicetelor asupra învățării și memoriei spațiale la șobolani nu a fost studiat. Datele unor astfel de studii prezintă un interes major pentru elaborarea preparatelor cu proprietăți neuroprotectoare și nootrope pe baza metaboliților secundari ai streptomicetelor.

Scopul acestei lucrări este de a studia efectul consumului pe termen lung a biomasei tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11, izolate din solurile din zona centrală a Republicii Moldova, asupra învățării și memoriei spațiale a șobolanilor albi Wistar de ambele sexe într-un labirint radial cu opt brațe.

Metode și materiale

Studiile au fost efectuate pe șobolani albi de laborator de ambele sexe din rasa Wistar (36 masculi și 18 femele), întreținuți în condiții standard de vivariu cu acces liber la apă și hrană, 12/12 ore de lumină și întuneric, ținând cont de recomandările Convenției europene privind tratamentul uman al animalelor de laborator. Ca aditiv alimentar biologic activ, a fost utilizată biomasa tulpinilor de streptomicete *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11, din Colecția Națională de Microorganisme Neputogene a Institutului de Microbiologie și Biotehnologie al Universității Tehnice a Moldovei, izolate din probe de sol din partea centrală a Republicii Moldova. Cultivarea tulpinilor de streptomicete a fost efectuată în Institutul de Microbiologie și Biotehnologie pe un mediu nutritiv standard (g/l): făină de porumb – 2,0, făină de soia – 1,0, NaCl – 0,5, CaCO – 0,1, pH 7,0-7,2.

Investigațiile învățării spațiale și memoriei în labirintul radial cu opt brațe. au fost efectuate pe șobolani albi de ambele sexe (36 masculi și 36 femele). Animalele din fiecare grup sexual (câte 6 șobolani fiecare) au fost împărțite în trei subgrupe: martor și două experimentale. Mai mult, pentru a compara cele două durate de retard diferite, jumătate dintre animale au fost testate cu o întârziere de 30 s, iar cealaltă jumătate au fost lăsate în centrul labirintului pentru o întârziere de 10 min. Studiile în labirintul de apă Morris au fost efectuate pe 18 șobolani masculi albi, care au fost împărțiți în trei subgrupe: martor și două experimentale (în fiecare câte 6 șobolani).

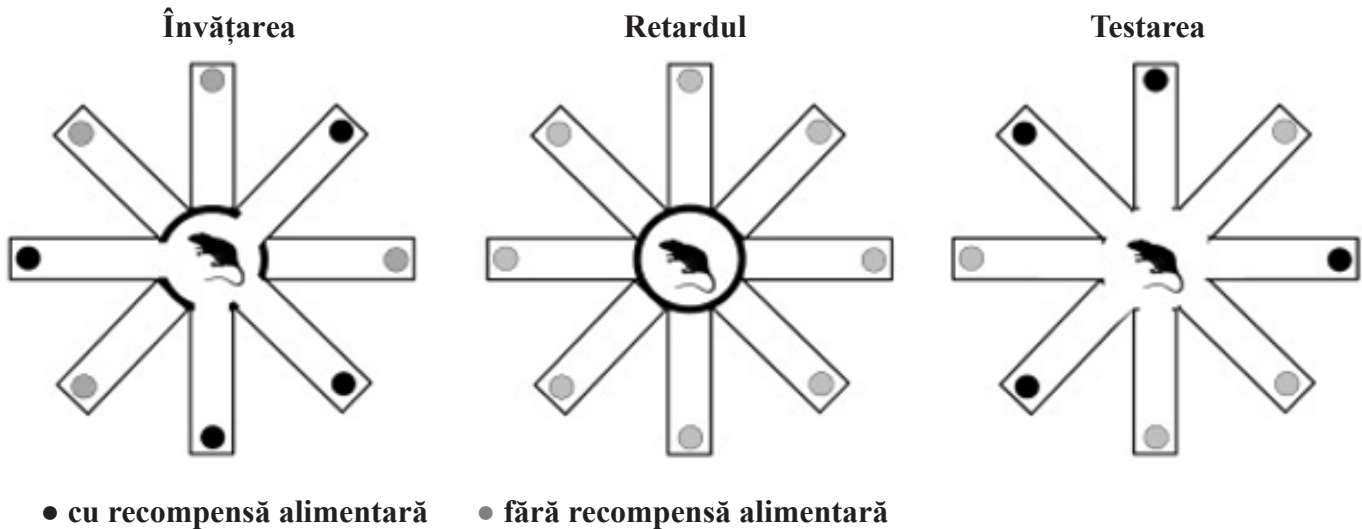
Animalele din loturile martor au fost întreținute cu o dietă standard; animalele din loturile experimentale, începând cu vârsta de 8 săptămâni, au primit zilnic biomasă uscată de tulpini de streptomicete ca aditiv alimentar la dieta standard timp de 90 de zile în doză de 250 mg/ kg greutate corporală: lotul experimental nr. 1 – *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 (BM1), și grupul experimental nr. 2 – *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 (BM2). La 90 de zile de la începerea hrănirii animalelor cu hrană, care conținea biomasă de streptomicete și la atingerea lor a vârstei de 5 luni, s-a inițiat studiul învățării spațiale și memoriei, folosind două instalații: un labirint radial cu opt brațe și un labirint de apă Morris. Pe tot parcursul experimentului, animalele din subgrupele experimentale au continuat să primească biomasă de streptomicete cu hrana.

Să precăutăm în calitate de instalație experimentală de laborator un labirint radial cu opt brațe pentru evaluarea memoriei spațiale, de lucru și a memoriei pe termen lung [10, 19, 20, 32]. Pentru testare, s-a utilizat un dispozitiv cu o lungime a brațelor radiale de 85 cm, o lățime a brațelor radiale de 12,5 cm, cu un diametru al părții centrale de 34 cm, o înălțime a peretelui de 20 cm, o înălțime deasupra podelei de 70 cm, la confecționarea căruia s-a folosit clorură de polivinil (PVC) galbenă. Fiecare braț al labirintului este separat de platforma centrală printr-o ușă-ghilotină detașabilă, iar la capătul brațului se afla o hrănitore de carton pentru recompensarea cu hrană.

Experimentul a constat din următoarele etape: obișnuire (timp de 5 zile), învățare și testare (timp de 10 zile). În timpul etapei de obișnuire, animalul a fost plasat în centrul labirintului timp de 5 zile pentru a se familiariza cu dispozitivul. După un minut, toate cele opt uși-ghilotină au fost deschise simultan, cu o recompensă alimentară (o bucată de ou fiert) plasată în prealabil la capătul fiecărui braț, iar animalul a fost lăsat să exploreze întregul aparat timp de 10 min. Faza de obișnuire s-a încheiat atunci, când fie au fost consumate toate cele opt recompense alimentare, fie au trecut 10 min. Folosind o cameră video digitală cu trepid portabil, s-a înregistrat numărul de brațe ale labirintului, care au fost vizitate și numărul de bucăți de ou consumate (maximum 8).

Animalele au fost testate o dată pe zi timp de 10 zile. Fiecare încercare a constat din trei faze: de învățare, de retard și o fază de testare, care au fost întotdeauna efectuate în același mod (fig. 1). În timpul experimentului, a fost luată o pauză în zilele a 8-a și a 9-a pentru a evalua activarea memoriei pe termen lung în a 10-a zi. Evaluarea memoriei spațiale pe termen lung a fost efectuată în a 30-a zi a experimentului.

Fig. 1. Procedura de testare în labirintul radial cu opt brațe: fazele de învățare și testare separate printr-un retard de 30 de s sau 10 min.



În timpul fazei de învățare, patru brațe selectate aleatoriu au fost deschise, iar celelalte patru brațe ale labirintului au fost blocate de ușile-ghilotină. Șobolanii au fost lăsați să intre în cele patru brațe deschise și să scoată recompensa alimentară timp de 5 min. După ce a primit toate cele patru recompense, animalul a fost lăsat în centrul labirintului cu retard de 30 s sau 10 min. Ulterior, toate cele opt uși au fost deschise simultan și animalul a început faza de testare. În această etapă, recompensa alimentară a fost plasată în acele brațe care au fost blocate în timpul fazei de învățare (fig.1). Astfel, era de așteptat, ca șobolanul să intre în acele brațe, care nu au fost vizitate în timpul fazei de antrenament. Faza de testare a început cu deschiderea ușilor, permițând șobolanului să intre în brațe și s-a încheiat când șobolanul a preluat ultima recompensă alimentară.

Pe durata experimentului, au fost înregistrate numărul de intrări corecte în brațe (cu extragerea unei recompense alimentare) și numărul de erori (orice intrare incorectă în braț), urmate de o evaluare a memoriei spațiale (în puncte) folosind formula: $(\text{numărul de intrări corecte}) - (\text{numărul de intrări incorecte}) / (\text{numărul de intrări corecte}) + (\text{numărul de intrări incorecte})$. Metoda de calcul descrie performanța individuală a memoriei: indicatorul 1 reflectă executarea fără erori a testului, iar indicatorul -1 indică rezultatul opus (nici o intrare corectă).

Datele obținute au fost prelucrate statistic prin ANOVA folosind testul t Student.

Rezultate și discuții

Analiza dinamicii punctajului mediu al memoriei spațiale (PMMS) la șobolanii din grupurile martor arată, că durata fazei de retard (FR) la testarea animalelor în labirintul radial cu opt brațe are un impact semnificativ asupra procesului de învățare, în special la etapa inițială a experimentului (fig. 2-5). Astfel, la șobolanii masculi din loturile martor în condiții FR de 30 s în prima zi de învățare, PMMS a fost $(-0,68 \pm 0,12)$ puncte, în a doua $(-0,61 \pm 0,19)$ puncte, în a treia $(-0,56 \pm 0,24)$ puncte, în a patra $(-0,49 \pm 0,17)$ puncte, iar în a cincea $(-0,38 \pm 0,08)$ puncte, în timp ce în condițiile FR de 10 min în prima zi a constituit $(-0,36 \pm 0,12)$ puncte, în a doua $(-0,31 \pm 0,11)$ puncte, în a treia $(-0,25 \pm 0,14)$ puncte, în a patra $(-0,17 \pm 0,16)$ puncte, iar în a cincea $(-0,09 \pm 0,13)$ puncte. Diferențele dintre PMMS la șobolanii masculi din grupurile martor cu diferite FR în zilele 1-5 de antrenament au variat de la $0,29 \pm 0,11$ la $0,32 \pm 0,21$ puncte (fig. 2 și 3). La etapa ulterioară a învățării (zilele 6-10), diferențele dintre PMMS la șobolanii masculi din grupurile martor cu diferite FR au variat de la $0,20 \pm 0,09$ la $0,22 \pm 0,12$ puncte. Trebuie de menționat, că aceste date contrazic rezultatele obținute mai devreme, unde odată cu creșterea duratei întârzierii sunt observate dereglări în procesul de învățare [11], dar coincid cu datele obținute ulterior, care arată efectul pozitiv al creșterii duratei de retard în anumite limite și la o anumită etapă a experimentelor [20].

Fig. 2. Dinamica punctajului mediu al memoriei spațiale la șobolanii masculi în labirintul radial cu opt brațe cu un retard de 30 s sub influența biomasei tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 (BM1) și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 (BM2).

*- diferențe semnificative față de martor $p < 0,05$, ** - diferențe semnificative între BM1 și BM2 $p < 0,05$.

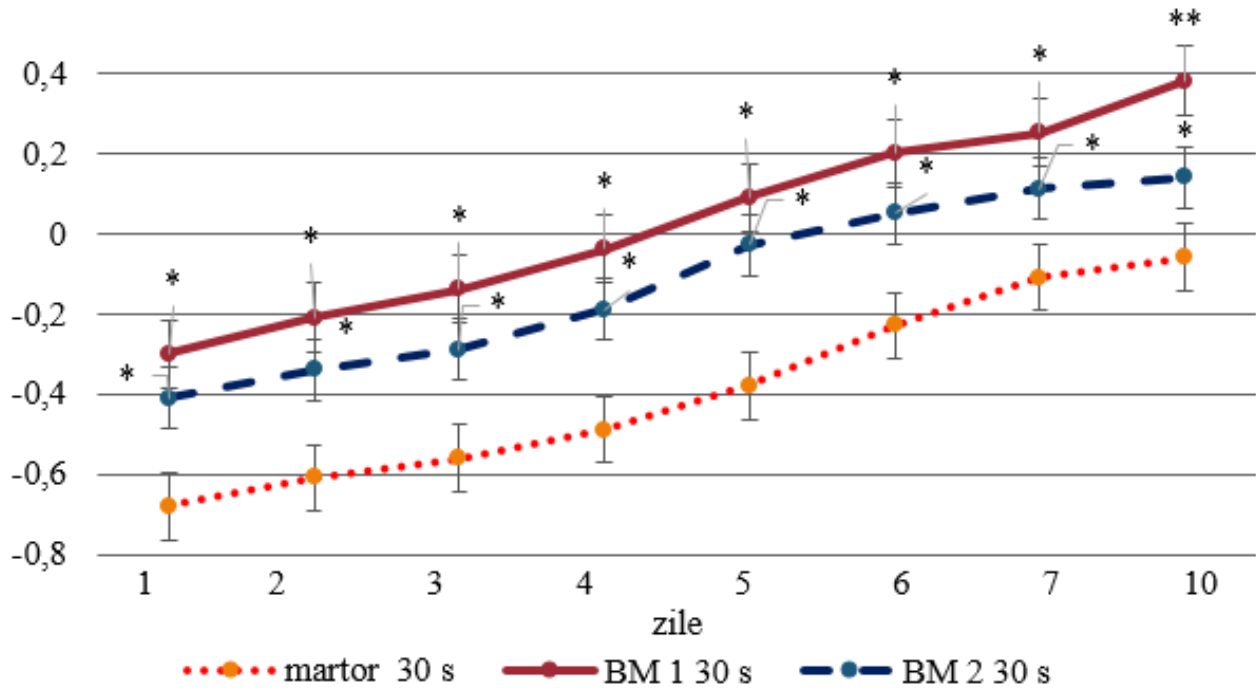


Fig. 3. Dinamica punctajului mediu al memoriei spațiale la șobolani masculi în labirintul radial cu opt brațe cu un retard de 10 min sub influența biomasei tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 (BM1) și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 (BM2).

*- diferențe semnificative față de martor $p < 0,05$, ** - diferențe semnificative între BM1 și BM2 $p < 0,01-0,05$.

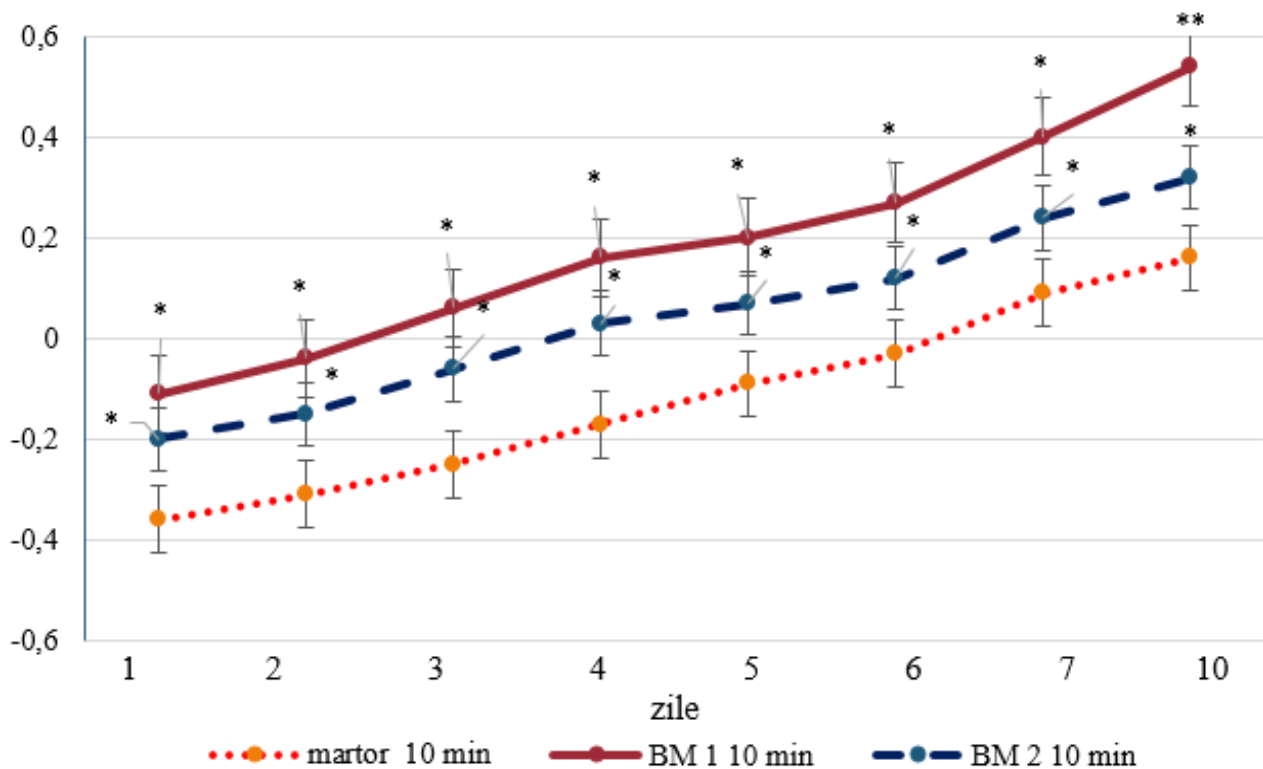


Fig. 4. Dinamica punctajului mediu al memoriei spațiale la femelele de șobolan în labirintul radial cu opt brațe cu un retard de 30 s sub influența biomasei tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 (BM1) și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 (BM2).

*- diferențe veridice față de martor $p < 0,05$, ** - diferențe veridice între BM1 și BM2 $p < 0,05$.

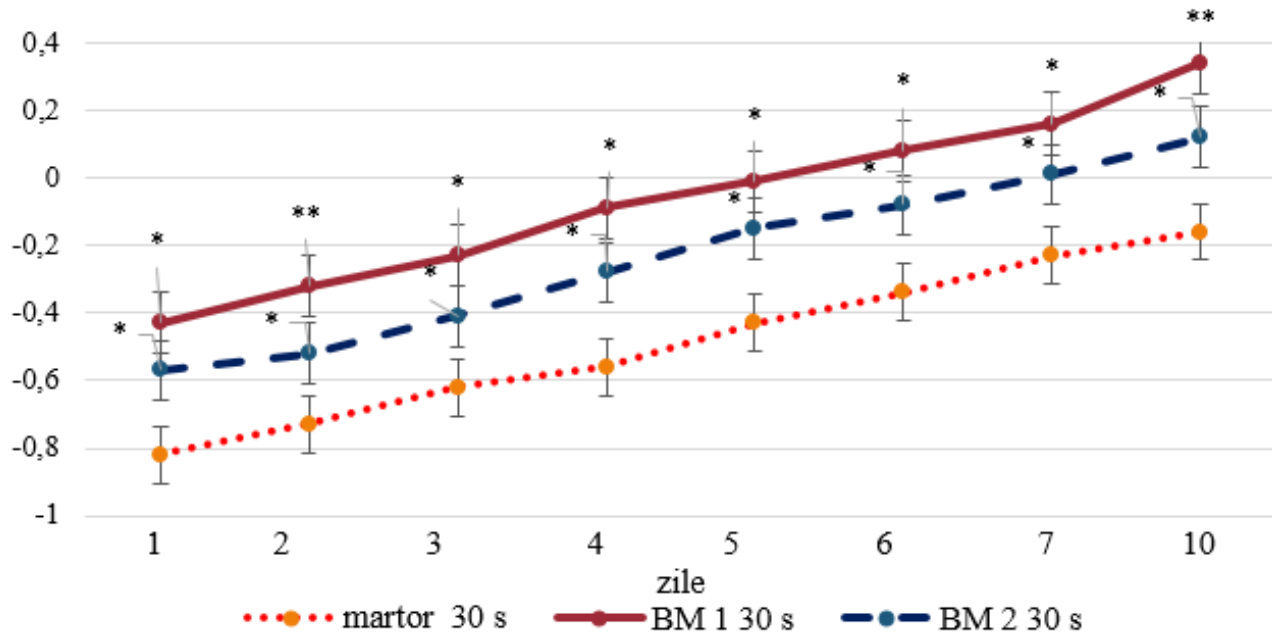
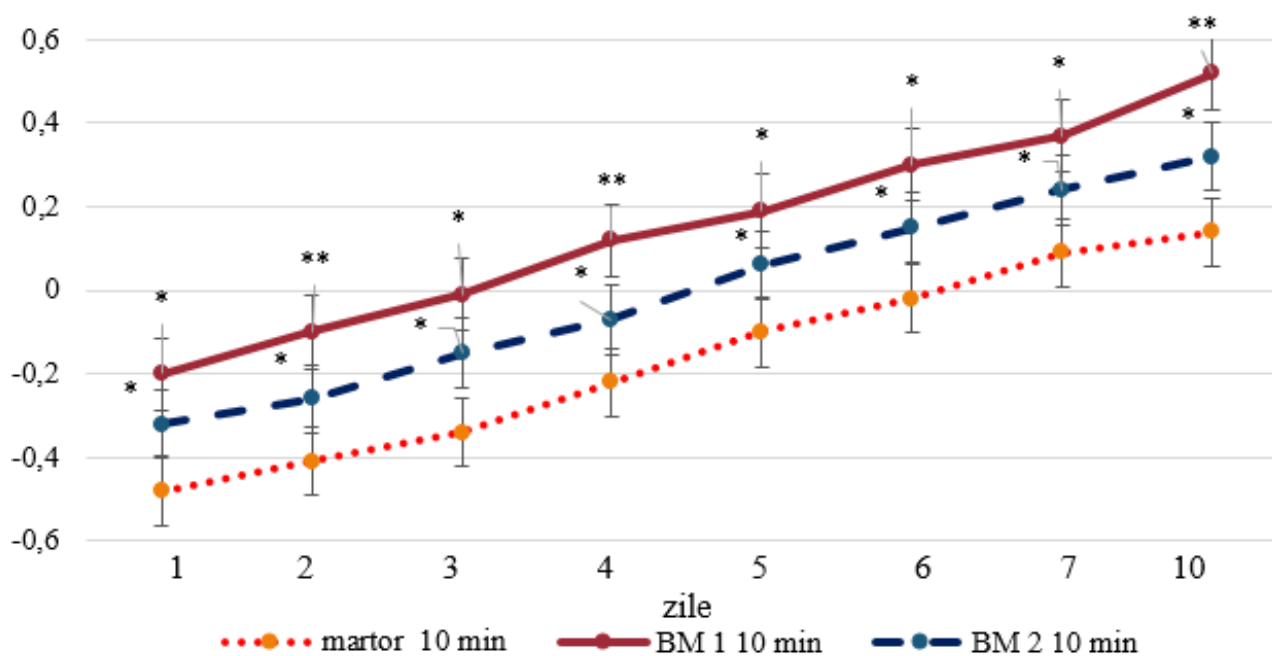


Fig. 5. Dinamica punctajului mediu al memoriei spațiale la femelele de șobolan în labirintul radial cu opt brațe cu un retard de 10 min sub influența biomasei tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 (BM1) și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 (BM2).

*- diferențe veridice față de martor $p < 0,01$, ** - diferențe veridice între BM1 și BM2 $p < 0,01$.



În rezultatul observațiilor privind efectul retardului asupra comportamentului animalelor, se poate presupune, că șobolanii în condițiile de FR de 30 s au avut nevoie de mai mult timp pentru a finaliza faza de testare, și la acești șobolani, memorarea a fost în mod clar mai proastă. Utilizarea ușilor-ghilotină provoacă acestor animale o reacție de oprire bruscă pe termen scurt – comportament pe care șobolanii îl prezintă, de obicei, în situații stresante. Astfel, procedura de deschidere și închidere a ușilor-ghilotină la începutul

fazei de testare ar putea reprezenta un factor de stres incontrollabil, care perturbă atenția animalelor. Timp de 10 min acești factori de stres au fost dispersați în timp, permițând animalelor să se recupereze după stimulii stresori din timpul testării. Și invers, stimulii potențial stresori au acționat o perioadă scurtă de timp în condiția FR de 30 s și, posibil ca șobolanii să nu fi reușit să se recupereze complet în urma primului factor de stres înainte de apariția factorului de stres ulterior. Ca urmare, atenția a fost afectată numai la animalele din grupurile cu retard de scurtă durată, iar învățarea a fost afectată în condițiile FR de 30 s, dar nu și de 10 min.

La fel ca la șobolanii masculi, la femele durată FR a influențat PMMS, și o durată mai lungă a FR duce la creșterea PMMS (fig. 4 și 5). Prezintă interes faptul, că la femelele de șobolan PMMS este mai mic decât la masculi, atât în condițiile FR de 30 s, cât și 10 min. Astfel, la femelele din loturile martor în condițiile FR de 30 s în prima zi de învățare, PMMS a constituit $(-0,82 \pm 0,19)$ puncte, în a doua $(-0,73 \pm 0,29)$ puncte, în a treia $(-0,62 \pm 0,21)$ puncte, în a patra $(-0,53 \pm 0,27)$ puncte, iar a cincea $(-0,43 \pm 0,12)$ puncte, în timp ce în condițiile FR de 10 min în prima zi de învățare PMMS a fost de $(-0,48 \pm 0,12)$ puncte, în a doua $(-0,41 \pm 0,15)$ puncte, în a treia $(-0,34 \pm 0,21)$ puncte, pe a patra $(-0,22 \pm 0,18)$ puncte, iar a cincea $(-0,10 \pm 0,09)$ puncte. Diferențele dintre PMMS la femelele de șobolan din grupurile martor cu FR diferite în zilele 1-5 de învățare au variat de la $0,28 \pm 0,09$ la $0,34 \pm 0,13$ puncte (fig. 4 și 5). La etapa ulterioară de învățare (zilele 6-10), diferențele dintre PMMS la femelele din grupurile martor cu FR diferite au variat de la $0,30 \pm 0,18$ la $0,32 \pm 0,21$ puncte. Astfel, la femelele de șobolan, reflexele condiționate spațiale sunt elaborate mai greu, decât la masculi în stadiul inițial de antrenament. În cercetările noastre anterioare a fost arătat că, spre deosebire de aceasta, la femelele de șobolan reflexele condiționate defensive în camera-navetă, la utilizarea unui stimul electrocutanat în calitate de recompensă necondiționată, se elaborează cu aceeași viteză și uneori mai ușor, decât la masculi [15, 16].

Conform literaturii de specialitate, este cunoscut, că memoria de lucru, în anumite zone ale creierului, reprezintă dimorfism sexual [33], iar în labirintul radial a fost observat un avantaj mare și de încredere al șobolanilor masculi. Funcțiile prefrontale sunt diferențiate în funcție de sex, iar memoria indusă emoțional pare să fie diferențiată după sex în corpul amigdaloid. Dar, mai important este și faptul că nucleul suprachiasmatic (forma, numărul de celule), precum și hipocampul (densitatea spinilor dendritici în neuronii hipocampali, conectivitatea lor), sunt strâns asociate cu învățarea și memoria [34] și reprezintă structuri cu dimorfism sexual. De fapt, hipocampul masculin diferă de cel feminin semnificativ privind structura sa anatomică (având un volum mai mare al hipocampului), neurochimia și răspunsul la situații stresante. S-a remarcat în literatură, de asemenea, că ciclul estrusului influențează strategia de învățare a labirintului la femelele de șobolan [12]. Hormonii sexuali, cum ar fi estrogenii, pot modifica excitabilitatea activității hipocampului, pot influența legarea receptorilor NMDA și plasticitatea neuronală, precum și potențarea pe termen lung. Acest lucru sugerează că hipocampurile masculin și feminin diferă semnificativ în răspunsul lor la situații stresante.

Rezultatele cercetării învățării spațiale și memoriei sub influența biomasei tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 (BM1) și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 (BM2) cu utilizarea labirintului radial cu opt brațe au arătat, că consumul pe termen lung de biomasă de streptomicete de către șobolanii albi de ambele sexe contribuie la o creștere vizibilă a numărului de intrări corecte în brațele labirintului cu extragerea recompenselor alimentare și o reducere a numărului de erori (orice intrare incorectă în brațe), ceea ce duce la o creștere vizibilă a valorii PMMS, altfel spus, ajută la facilitarea procesului de învățare, la activarea și păstrarea unui vestigiu al memoriei spațiale (fig. 2-5).

După cum am menționat mai sus, folosind un alt model, am constatat că consumul pe termen lung al lichidului de cultură și, în special, de biomasă a tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 de către șobolanii albi de ambele sexe facilitează dezvoltarea reflexelor condiționate defensive și contribuie la creșterea vitezei reacțiilor motorii direcționate [15, 16]. Biomasă acestor tulpini de streptomicete stimulează într-o măsură mai mare elaborarea reacției condiționate de evitare activă la animalele senile cu semne de neurodegenerare, comparativ cu cele tinere și, de asemenea, reduce semnificativ perioada de latență a reacției de evitare la diferite termene după dezvoltarea reacției condiționate de evitare activă, contribuind la încetinirea dispariției vestigiilor memoriei reflector condiționate (într-o măsură mai mare la animalele senile) [17, 35].

Continuând să descriem datele noastre, trebuie remarcat faptul, că biomasa tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 și *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11 facilitează în diferită măsură dezvoltarea memoriei spațiale. După cum se poate observa în fig. 2-5, consumul pe termen lung al preparatului BM1 de către șobolanii albi crește PMMS într-o măsură mai mare, comparativ cu preparatul BM2. În unele cazuri, efectele BM1 și BM2 asupra procesului de învățare sunt semnificativ diferite, în special în a doua etapă a testării, după o pauză în zilele a 8-a și a 9-a.

De remarcat, de asemenea, că eficiența biomasei de streptomicete este mai mare la FR de 30 s, comparativ cu cea de 10 min și, în special, în stadiul inițial al experimentelor (zilele 1-4). De exemplu, la șobolanii masculi în condiții FR de 30 s, preparatul BM1 contribuie la o creștere a PMMS în prima zi – cu $0,38 \pm 0,11$ puncte, în a doua – cu $0,4 \pm 0,25$ puncte, în ziua a treia – cu $0,42 \pm 0,19$ puncte, în ziua a patra – cu $0,42 \pm 0,17$ puncte, iar în condițiile FR de 10 min în prima zi – cu $0,25 \pm 0,13$ puncte, în a doua – cu $0,27 \pm 0,14$ puncte, în ziua a treia – cu $0,31 \pm 0,18$ puncte, în ziua a patra – cu $0,33 \pm 0,22$ puncte. La femelele de șobolan, preparatul BM1 contribuie la o creștere a PMMS în ziua 1 – cu $0,34 \pm 0,16$ puncte, în ziua 2 – cu $0,39 \pm 0,18$ puncte, în ziua 3 – cu $0,41 \pm 0,20$ puncte, în ziua 4 – cu $0,45 \pm 0,23$ puncte și în condițiile FR de 10 minute în ziua 1 – cu $0,28 \pm 0,09$ puncte, în ziua 2 – cu $0,31 \pm 0,12$ puncte, în ziua 3 – cu $0,33 \pm 0,19$ puncte, iar în ziua 4 – cu $0,34 \pm 0,27$ puncte.

Se poate presupune, că eficiența mai semnificativă a biomasei de streptomicete cu FR de 30 s față de 10 min în stadiul de învățare al animalelor este asociată cu efectul lor antioxidant, care a contribuit la reducerea consecințelor negative ale stresului asupra celulelor nervoase. Cu toate acestea, eficiența biomasei de streptomicete rămâne semnificativă chiar și în cazul FR de 10 minute, precum și în a doua etapă de antrenament, după obișnuirea animalelor și reducerea nivelului de stres. Aceasta sugerează prezența în biomasa streptomicetelor, alături de metaboliți cu efecte antioxidante care au efect neuroprotector, și a metaboliților cu capacitate de a stimula neurogeneza și sinaptogeneza.

S-a demonstrat, că mecanismul de acțiune al inubozinelor A și B, produse de tulpina *Streptomyces sp. IFM 11440* izolată din solurile din Prefectura Kiba (Japonia), care accelerează diferențierea celulelor stem neuronale, este asociat cu creșterea expresiei ARNm ai factorilor de transcripție proneurali neurogeninele 1 și 2 (Ngn1 și Ngn2), factorului de diferențiere neurogenă 2 (NeuroD2) și factorului proneural neurotrofic de creștere a neurotrofinei 3 (NT-3) [36]. Spre deosebire de inubosina A, inubosina B este capabilă să activeze semnificativ neurogenina 2 (Ngn2) [37], care reprezintă un factor proneural de transcripție bHLH implicat atât în neurogeneză, cât și în specificația neuronală [38]. Această proteină se leagă de elementele de reglare a casetei de amplificare pe promotorii multor gene asociate cu neurogeneza și specificația neuronală. Prin urmare, activatorii promotorului Ngn2, cum ar fi inubosina B, pot accelera diferențierea celulelor stem neuronale. Deoarece inubosina A nu manifestă activitate de promotor Ngn2, mecanismul acțiunii sale asupra diferențierii celulelor stem neuronale este realizat pe alte căi [36].

Lactacistina, sintetizată de tulpina de streptomicete *Streptomyces lactacystinaeus*, izolată din solurile japoneze, este un inductor al neuritogenezei în celulele neuroblastomului [39]. Autorii au demonstrat, că ținta pentru lactacistină este proteazomul – un complex multiproteic, care realizează pas cu pas hidroliza selectivă, proces metabolic cu capacitate energetică înaltă, precum și procesarea proteinelor intracelulare cu implicarea proteolizei până la peptide scurte. Lactacistina a fost primul inhibitor non-peptidic al proteazomilor descoperit datorită afinității sale pentru anumite subunități catalitice proteazomale [39].

Concluzii

1. Consumul pe termen lung al biomasei tulpinilor de streptomicete *Streptomyces massasporeus* CNMN-06 și, într-o măsură mai mică, *Streptomyces fradiae* CNMN-Ac-11, izolate din solurile Republicii Moldova, stimulează semnificativ procesul de învățare al șobolanilor albi de ambele sexe în labirintul radial cu opt brațe și contribuie la facilitarea elaborării la aceștea a memoriei de lucru și activării celei spațiale pe termen lung, ceea ce indică perspicacitatea unor cercetări ulterioare cu scopul de a izola și identifica substanțe cu proprietăți neuroprotectoare și nootrope din biomasa acestor tulpini de streptomicete.

2. Durata fazei de retard în procesul de învățare al animalelor afectează formarea memoriei spațiale, precum și eficacitatea biomasei de streptomicete în raport cu activitatea reflector-condiționată. La o fază de

retard mai lungă (10 min), crește punctajul mediu și general al memoriei spațiale, iar la o durată mai scurtă a fazei de retard (30 s), crește eficiența biomasei de streptomicete, ceea ce poate mărturisi despre prezența în compoziția lor, de rând cu metaboliți cu capacitate stimulatorie a neurogenezei și sinaptogenezei, și a celor cu efecte antioxidante.

3. Au fost depistate diferențe dintre sexe la învățarea șobolanilor albi în labirintul radial cu opt brațe și la activarea memoriei spațiale de lucru, ceea ce poate mărturisi în favoarea prezenței dimorfismului sexual în zonele creierului, responsabile de învățarea spațială.

Referințe:

- BALABAN, P. M., ROSHCHIN, M., TIMOSHENKO, A. K., GAINUTDINOV, K. L., BOGODVID, T. K., MURANOVA, L. N., ZUZINA, A. B., KORSHUNOVA, T. A. *Nitric oxide is necessary for labilization of a consolidated context memory during reconsolidation in terrestrial snails*. In: *Eur. J. Neurosci.* 2014, 40: 2963-2970.
- BALABAN, P. M., ROSHCHIN, M., TIMOSHENKO, A. K., ZUZINA, A. B., LEMAK, M., IERUSALIMSKY, V. N., ASEYEV, N. A., MALYSHEV, A. Y. *Homolog of protein kinase M ζ maintains context aversive memory and underlying long-term facilitation in terrestrial snail Helix*. In: *Front. Cell. Neurosci.* 2015, 9: 222.
- BISAZ, R., TRAVAGLIA, A., ALBERINI, C. M. *The neurobiological bases of memory formation: from physiological conditions to psychopathology*. In: *Psychopathology*, 2014, 47(6):347-356.
- ALDERSON, R. M., KASPER, L. J., PATROS, C. H., HUDEC, K. L., TARLE, S. J., LEA, S. E. *Working memory deficits in boys with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD): An examination of orthographic coding and episodic buffer processes*. In: *Child Neuropsychol*, vol. 15, 2014, p. 1-22.
- SAIDOV, KH. M., ANOKHIN, K. V. *New Approaches in Cognitive Neurobiology: Methods of Molecular Marking and Ex Vivo Imaging of Cognitively Active Neurons*. In: *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 2018, vol. 48, № 7, p. 804-812.
- VAN DER STAAY, F. J., ARNDT, S. *Evaluation of animal models of neurobehavioral disorders*. In: *Behavioral and brain functions: BBF*, 2009, 5:11.
- XIONG, Y., MAHMOOD, A., CHOPP, M. *Animal models of traumatic brain injury*. In: *Nat Rev Neurosci.* 2013, 14 (2): 128-142.
- MORRIS, R. *Developments of a water-maze procedure for studying spatial learning in the rat*. In: *J. Neuroscience Methods*, 1984, 11 (1): 47-60.
- VAN DER STAR, B. J., VOGEL, D. *In vitro and in vivo models of multiple sclerosis*. In: *CNS & Neurological Disorders Drug Targets*, 2012, 11 (5): 570-88.
- KANDEL, E. R., DUDAI, Y., MAYFORD, M. R. *The molecular and systems biology of memory*. *Cell.* 2014, 157(1):163-186.
- EVUARHERHE, O., BARKER, G. R. I., SAVALLI, G., WARBURTON, E. C., BROWN, M. W. *Early memory formation disrupted by atypical PKC inhibitor ZIP in the medial prefrontal cortex but not hippocampus*. In: *Hippocampus*, 2014, 24: 934-942.
- САТКЛИФФ, ДЖ., МАРШАЛЛ, К. М., НИЛ, ДЖ. К. *Влияние пола на рабочую и пространственную память в новой задаче распознавания объектов у крыс*. In: *Behavioral Brain Research*, vol. 177, 1, 2007, p. 117-125.
- VARESI, A., CHIRUMBOLO, S., CAMPAGNOLI, L. I. M. et al. *The Role of Antioxidants in the Interplay between Oxidative Stress and Senescence*. In: *Antioxidants*, 2022, vol. 11, p. 1224.
- SPINOSA, H. S., STILCK, S. R., BERNARDI, M. M. et al. *Possible anxiolytic effects of ivermectin in rats*. In: *Vet. Res. Commun.*, 2002, vol. 26, nr. 4, p. 309-321.
- ШЕПТИЦКИЙ, В. А., БРАТУХИНА, А. А., БУРЦЕВА, С. А. *Условно-рефлекторная деятельность белых крыс при длительном потреблении биопрепаратов на основе метаболитов Streptomyces massaporeus*. В: *Buletinul AȘM. Științele vieții*, 2011, nr. 2 (302), p. 7-12.
- ШЕПТИЦКИЙ, В. А., БЕРЕЗЮК, Ю. Н., БУРЦЕВА, С. А. *Условно-рефлекторная деятельность белых крыс при длительном потреблении биомассы штамма Streptomyces fradiae CNMN-Ac-11*. В: *Buletinul AȘM. Științele vieții*, 2017, nr. 1 (331), p. 16-24.

17. ȘEPTIȚCHI, V., VASILICIUC, A., GARBUZNEAC, A., LEORDA, A., MANGUL, O., BURȚEVA, S., FILIPENCO, E., TIHONENCOVA, L. *Influența consumului pe termen lung al biomasei tulpinilor *Streptomyces massasporeus* CNMN-06 și *Streptomyces fradiae* CNMN Ac-II asupra învățării și memoriei reflector- condiționate a șobolanilor albi de diferite vârste*. În: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*, 2021, nr. 2 (344), p. 72-82. ISSN 1857-064X.
18. GOTO, A., BOTA, A., MIYA, K., WANG, J., TSUKAMOTO, S. et al. *Synaptic plasticity events drive the early phase of memory consolidation*. In: *Science*, 374, 2021, p. 857-863.
19. HAYASHI, Y. *Molecular mechanism of hippocampal long-term potentiation - towards multiscale understanding of learning and memory*. In: *Neurosci. Res*, 175, 2022, p. 3-15.
20. ORMEROD, B. K., BENINGER, R. J. *Water maze versus radial maze: differential performance of rats in a spatial delayed match-to-position task and response to scopolamine*. In: *Behavioural Brain Research*, 2002, 128: 139-152.
21. WANG, L. Y., XING, M. Y., DI, R., LUO, Y. P. *Isolation, identification and antifungal activities of *Streptomyces aureoverticillatus* HN6*. In: *J. Plant Pathol. Microb.*, 2015, vol. 6, p. 281.
22. WANG, P., XI, L., LIU, P. et al. *Diketopiperazine derivatives from the marine-derived actinomycete *Streptomyces* sp. FXJ7.328*. In: *Mar. Drugs*, vol. 11, 2013, p. 1035-1049.
23. WANG, Y., WANG, L., ZHUANG, Y. et al. *Phenolic Polyketides from the Cultivation of Marine-Derived *Penicillium* sp. WC-29-5 and *Streptomyces fradiae* 007*. In: *Marine Drugs*, vol. 12, 2014, p. 2079-2088.
24. ВИНОГРАДОВА, К. А., БУЛГАКОВА, В. Г., ПОЛИН, А. Н. *Стрептомицеты в свете концепции «многоклеточности» бактерий*. В: *Материалы конференции*, 2016, с. 33-47.
25. ГОЛЬДИН, Е. Б. *Биологическая активность микроводорослей и значение в межвидовых взаимоотношениях*. В: *Экосистемы, их оптимизация и охрана*, 9, 2013, с. 49-76.
26. ARAI, M. A., KORYUDZU, K., ISHIBASHI, M. *Inubosins A, B, and C are acridine alkaloids isolated from a culture of *Streptomyces* sp. IFM 11440 with Ngn2 promoter activity*. In: *Journal of Natural Products*, 2015, vol. 78, nr. 2, p. 311-314.
27. HULME, A. J., MAKSOOR, S., ST-CLAIR GLOVER, M. et al. *Making neurons, made easy: The use of Neurogenin-2 in neuronal differentiation*. *Stem*. In: *Cell. Reports*, 2022, vol. 17, nr. 1, p. 14-34.
28. SER, H. L., TAN, T.-H., PALANISAMY, U. D. et al. **Streptomyces antioxidans* sp. nov., Novel Mangrove Soil Actinobacterium with Antioxidative Potentials*. In: *Frontiers in Microbiology*, 2016, nr. 7, p. 899.
29. KIM, W. G., ICK-DONG, Y. *Benzastatin J. New Demethylated Derivative of Benzastatin B Produced by Controlled Fermentation of *Streptomyces nitrosporeus**. In: *J. Microbiol. Biotechnol*, vol. 12, nr. 5, 2002, p. 838-840.
30. VARESI, A., CHIRUMBOLO, S., CAMPAGNOLI, L. I. M. et al. *The Role of Antioxidants in the Interplay between Oxidative Stress and Senescence*. In: *Antioxidants*, 2022, vol. 11, p. 1224.
31. SPINOSA, H. S., GERENUTTI, M., BERNARDI, M. M. *Anxiolytic and anticonvulsant properties of dora-mectin in rats: behavioral and neurochemistic evaluations*. In: *Comp. Biochem. Physiol. & Toxicol. Pharmacol.*, 2000, vol. 127, nr. 3, p. 359-366.
32. MURPHY, H. M., EKSTRAND, D., TARCHICK, M., WIDEMAN, C.H. *Modafinil as a cognitive enhancer of spatial working memory in rats*. In: *Physiol. Behav.* 142, 2015, p. 126-130.
33. DUFF, S.J., HAMPSON, E. *Половые различия в новой задаче пространственной рабочей памяти у людей*. In: *Brain and Cognition*, vol. 47, 3, 2001, p. 470-493.
34. КОРОЛЬ, Д. Л., МАЛИН, Э. Л., БОРДЕН, К. А., БАСБИ, Р. А., КУПЕР-ЛЕО, ДЖ. *Сдвиги в предпочтительной стратегии обучения в течение эстрального цикла у самок крыс*. В: *Гормоны и поведение*, т. 1, с. 45, 5, 2004, стр. 330-338.
35. GARBUZNEAC, A., BIRSA, M., BURTSEVA, S. et al. *Changes in lipid composition of *Streptomyces massasporeus* CNMN-Ac-06 biomass after long-term storage*. In: *Микробиологический журнал*, Украина, г. Киев, том 80, № 5, 2020, с. 41-47.
36. ARAI, M. A., KORYUDZU, K., ISHIBASHI, M. *Inubosins A, B, and C are acridine alkaloids isolated from a culture of *Streptomyces* sp. IFM 11440 with Ngn2 promoter activity*. In: *Journal of Natural Products*, 2015, vol. 78, nr. 2, p. 311-314.

37. HULME, A. J., MAKSOUR, S., ST-CLAIR GLOVER, M. et al. *Making neurons, made easy: The use of Neurogenin-2 in neuronal differentiation. Stem.* In: *Cell. Reports*, 2022, vol. 17, nr. 1, p. 14-34.
38. JESPERSEN, N., EHRENBOLGER, K., WINIGER, R. R. et al. *Structure of the reduced microsporidian proteasome bound by PI31-like peptides in dormant spores.* In: *Nat. Commun.* 2022: 6962.
39. ŌMURA, S., CRUMP, A. *Lactacystin: first-in-class proteasome inhibitor still excelling and an exemplar for future antibiotic research.* In: *The Journal of Antibiotics*, 2019, vol. 72, p. 189-201.

Date despre autori:

Anastasia GARBUZNEAC, doctorandă, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-0649-7006

E-mail: 11_lav_11@mail.ru

Vladimir ȘEPTIȚCHI, doctor habilitat în științe biologice, conferențiar cercetător, cercetător științific principal, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-6306-7021

E-mail: septitchi@mail.ru

Ana LEORDA, doctor în științe biologice, conferențiar cercetător, cercetător științific coordonator, Institutul de Fiziologie și Sanocreatologie, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-2923-8843

E-mail: leorda-ana64@mail.ru

Svetlana BURȚEVA, doctor habilitat în științe biologice, profesor-cercetător, cercetător științific principal, Universitatea Tehnică a Moldovei.

ORCID: 0000-0001-7412-7897

E-mail: svetlana.burteva@imb.utm.md

Maxim BÎRSA, doctor în biologie, cercetător științific superior, Universitatea Tehnică a Moldovei.

ORCID: 0000-0003-3068-1719

E-mail: maxim.birsa@imb.utm.md

Prezentat la 28.03.2024

CZU: 581.9(282.247.314)(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_15](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_15)

ФЛОРА ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ ПОЛОСЫ НИЖНЕГО УЧАСТКА РЕКИ ДНЕСТР И ЕЕ ПРИТОКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

Виктория ЕРОШЕНКОВА,*Молдавский Государственный Университет*

Исследованный участок р. Днестр и его притоков представлен 113 видами, 103 родами из 55 семейств высших растений (Magnoliophyta). Наибольшим разнообразием характеризуются семейства сложноцветные (Asteraceae) 21 вида и злаковые (Poaceae) 8 видов. Около 1/3 из общего количества видов представлены Евразийским элементом. Спонтанный элемент исследуемой флоры представлен 54 видами, а рудеральный 36 видами. Инвазивные элементы представлены видами *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Acer negundo* L., *Amorpha fruticosa* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Grindelia squarrosa* Willd.

Проводилось, также, для всех видов: определение процентного соотношения жизненных форм, биологических индексов, экологических групп по отношению к влажности, соотношение видов растений по происхождению, распределение видов-индикаторов по азоту (N) в процентном соотношении и соотношение видов растений по отношению к категории трофности.

Ключевые-слова: флора, вид, семейство, видовое разнообразие.

FLORA OF THE RIVERSIDE-WATER SIDE OF THE LOWER SECTION OF THE DNIESTR RIVER AND ITS TRIBUTARIES ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA

The studied section of the river. The Dniester and its tributaries are represented by 113 species, 103 genera from 55 families of higher plants (Magnoliophyta). The greatest diversity is found in the Asteraceae (21 species) and Poaceae (8 species) families. About 1/3 of the total number of species are represented by the Eurasian element. The spontaneous element of the studied flora is represented by 54 species, and the ruderal element by 36 species. Invasive elements are represented by the species *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Acer negundo* L., *Amorpha fruticosa* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Grindelia squarrosa* Willd..

It was also carried out for all species: determination of the percentage ratio of life forms, biological indices, ecological groups in relation to humidity, the ratio of plant species by origin, the distribution of indicator species by nitrogen (N) in percentage terms and the ratio of plant species in relation to the category trophicity.

Keywords: flora, species, family, species diversity.

Введение

На современном этапе развития человечества возросло отрицательное влияние антропогенного фактора на водные ресурсы Земли. Увеличение объема промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, химизация сельского хозяйства, гидростроительство и интенсивное водопотребление, приводит к ухудшению качества воды и снижению биопродуктивности водоемов.

Река Днестр, особенно в нижнем участке, ниже городов Бендеры и Тирасполь, значительно загрязнена сточными водами [1, 6]. Хозяйственная деятельность человека вблизи естественных и искусственных водоемов приводит к существенным изменениям комплексов растений, которые обеспечивают продуктивность и стабильность этих экосистем. Источником загрязнения реки Днестр являются также притоки с левого и правого берега реки, которые имеют низкие показатели качества воды из-за высоких концентраций биогенных веществ, особенно в реке Бык, где поступают воды очистных сооружений г. Кишинев [7]. Водная и прибрежно-водная растительность р. Днестр и ее хозяйственное значение, была изучена в разные периоды времени [8, 9, 10, 11, 12]. Если в 80-е годы

XX века погруженная и полупогруженная высшая водная растительность произрастала обильно в основном в приустьевой части реки, то в конце прошлого столетия произрастание реки водными макрофитами стало почти повсеместным [12]. Данные по прибрежно-водной растительности р. Днестр и ее классификация по разным критериям, указывают на присутствие в этой экосистеме: 14 видов кормовых растений, 9 видов лекарственных, 7 видов прибрежно-водной, технической, 6 видов-укрепляющие почвенный аллювий, 10 видов - зарастающие мелководья, 14 видов- заболочивающие кромки низких берегов, 11 видов- закрепленные на дне водоема, 8 видов плавающие на поверхности и в толще воды, 9 инвазивных видов, 7 редких и 3 ядовитые [8].

Применяемые методы и материалы

Изучение флористического разнообразия нижнего участка р. Днестр и его притоков проводилось на 13 стационарных участках, из которых 5 располагались в прибрежно-водной полосе притоков: Реут, Икель, Бык, Ботна, Колкотовая Балка вблизи устьев этих рек, а 8 участков располагались примерно в 100 м выше и ниже места слияния притоков с р. Днестр. Полевые исследования проводились по методу линейных трасс [2-4]. Определение обнаруженных видов растений проводились в лабораторных условиях по Определителю высших растений Молдавской ССР, автор Т. С. Гейдеман [5], 1986. Исследования проводились в сентябре месяце 2023 года.

Полученные результаты и обсуждение

В исследуемых станциях нами определены: 113 видов из 103 родов принадлежащих 55 семействам высших растений (Magnoliophyta). Наибольшим разнообразием характеризуются семейства сложноцветные (Asteraceae) 21 вида и злаковые (Poaceae) 8 видов, произрастающие в большинстве в прибрежной полосе. Остальные семейства в большинстве представлены 1-3 видами растений (Таблица 1). В водной среде возле берега нами обнаружены свободно плавающие виды: *Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*, *C. submersum* закрепленные на дне: *Vallisneria spiralis*, *Alisma plantago-aquatica*, *Sparganium erectum*, *Phragmites australis*, *Butomus belatus* и др.

Таблица 1. Таксономическая структура и биоэкологические индексы флоры нижнего участка реки Днестр и ее притоков.

1	2	3	4	Элементы		Шкала		Места отбора проб															
				Экологические	Геоботанические	Азот	Трофность	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	17	18	19	20	21	22	23	24			
I. Fam. Typhaceae																							
1.	<i>Typhala xmannii</i> Lepech	G(HH)	Cn	Гидр.	Евр., Центр. Азия																		+
II. Fam. Sparganiaceae																							
2.	<i>Sparganium erectum</i> L.	G(HH)	Cn.	Гидр.	Евраз.							+											
III. Fam. Potamogetonaceae																							
3.	<i>Potamogeton lucens</i> L.	Hd	Cn.	Гидр.	Евраз.								+				+					+	
IV. Fam. Alismataceae																							
4.	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	Hh	Cn.	Гидр-гидр.	Чукунт.							+											

V. Fam. Butomaceae															
5.	<i>Butomusum belatus L.</i>	HH	Cn.	Гидр-гидр.	Евраз.										
VI. Fam. Hydrocharitaceae															
6.	<i>Vallisneria spiralis L.</i>	Hd	Cn.	Гидр.	Адв. Трон.										
VII. Fam. Poaceae															
7.	<i>Cynodon dactylon (L.)</i>	G	Се. руд.	Ксеромез.	Косм.										
8.	<i>Dactylis glomerata L.</i>	H	Cn.	Ксеромез. мез.	Евраз.										
9.	<i>Elytrigia repens (L.) Desv. ex Nevski</i>	G	Cn.	Мез.	Чиркумп.										
10.	<i>Echinochloa crus-galli (L.) Beauv.</i>	T	P.	Мез. мезохигр.	Косм.										
11.	<i>Lolium perenne L.</i>	H	Cn.	Мез.	Косм.										
12.	<i>Phragmite saustralis (Cav.) Trin. ex Steud.</i>	G(Hh)	Cn.	Хигр.	Косм.										
13.	<i>Poa pratensis L.</i>	H	Cn.	Мез. мезохигр.	Чиркумп. косм.										
14.	<i>Poa trivialis L.</i>	H	Cn.	Мезо-хигр.	Евраз.										
VIII. Fam. Cyperaceae															
15.	<i>Carex riparia Curt</i>	H	Cn.	Мезохигр. хигр.	Евраз.										
16.	<i>Cyperus glomeratus L.</i>	TH (HH)	Cn.	Мезохигр. хигр.	Евраз., Средиз.										
17.	<i>Cyperus fuscus L.</i>	T	Cn.	Мезохигр.	Евраз.										
IX. Fam. Lemnaceae															
18.	<i>Lemna minor L.</i>	Hd	Cn.	Гидр.	Косм.										
X. Fam. Araceae															
19.	<i>Acorus calamus L.</i>	G(HH)	Cn.	Гидр.	Аз., СЕ										
XI. Fam. Juncaceae															
20.	<i>Juncus compressus Jacq</i>	G	Cn.	Мезогигр.	Евраз.										
XII. Fam. Salicaceae															
21.	<i>Salix triandra L.</i>	Ph	Cn.	Гигр.	Евраз.										
22.	<i>Populus canescens (Ait.) Smith</i>	Ph	Cn.	Мезогигр.	Евраз.										
23.	<i>Populus alba L.</i>	Ph	Субсп. Сп.	Мезогигр.	Евраз.										
XIII. Fam. Juglandaceae															
24.	<i>Juglans regia L.</i>	Ph	Субсп. Сп.	Мезоксер.	Центр. Евр., Балк., Кавказ										
XIV. Fam. Fagaceae															
25.	<i>Qercus robur L.</i>	Ph	Cn.	Мезоксер. ксеромез.	Евр.										
XV. Fam. Ulmaceae															
26.	<i>Ulmus carpinifolia Rupp. Ex G. Suckow</i>	Ph	Cn.	Ксеромез.	Евр.										
XVI. Fam. Moraceae															
27.	<i>Morus nigra L.</i>	Ph	Субсп. Сп.	Ксеромез.	Средиз.										
XVII. Fam. Cannabaceae															
28.	<i>Cannabis ruderalis Janisch</i>	T	P.	Ксеромез.	Косм.										
29.	<i>Humulus lupulus L.</i>	H	Субсп. Сп.	Мезогигр.	Косм.										
XVIII. Fam. Urticaceae															
30.	<i>Urtica dioica L.</i>	H	R.	Мезме-зогигр.	Косм.	N4-5									

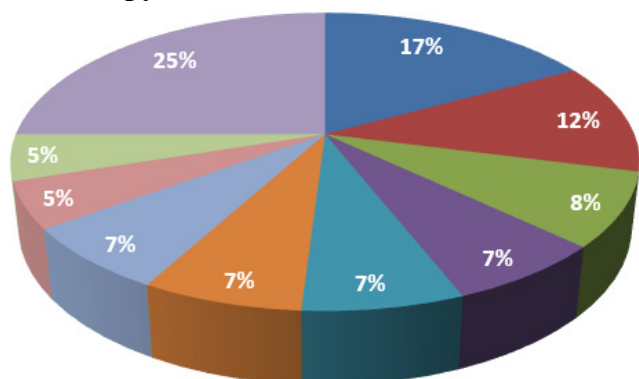
XIX. Fam. Aristolochiaceae																	
31.	<i>Aristolochia clematitis L.</i>	G	Cez. P.	Мезоксер.	Средиз.												+
XX. Fam. Polygonaceae																	
32.	<i>Polygonum aviculare L.</i>	T	Cez. P.	Еуриф.	Косм.	N4			+	+	+	+					+
33.	<i>Polygonum hydropiper L.</i>	T	P.	Гигр.	Чиркумт.									+		+	+
34.	<i>Rumex conglomeratus Murr.</i>	H	P.	Мезогигр.	Чиркумт.					+							
XXI. Fam. Chenopodiaceae																	
35.	<i>Atriplex tatarica L.</i>	T	P.	Мезоксер.	Евраз.												+
XXII. Fam. Amaranthaceae																	
36.	<i>Amaranthus retroflexus L.</i>	T	P.	Ксеро-мезмез	Сев. Ам.												+
XXIII. Fam. Caryophyllaceae																	
37.	<i>Stellaria media (L.) Vill</i>	T-Ht	P.	Мез.	Косм.	N4											+
XXIV. Fam. Portulacaceae																	
38.	<i>Portulaca oleracea L</i>	T	P.	Мезоксер.	Косм.												+
XXV. Fam. Ceratophyllaceae																	
39.	<i>Ceratophyllum demersum L</i>	Hd	Cn.	Гидроф.	Косм.												+
40.	<i>Ceratophyllum submersum L</i>	Hd	Cn.	Гидроф.	Евр.												+
XXVI. Fam. Ranunculaceae																	
41.	<i>Ranunculus acris L.</i>	H	Cn.	Мезогигр.	Евраз.												+
42.	<i>Ranunculus sceleratus L.</i>	H	Cn.	Мезогигр.	Евр.												+
43.	<i>Consolida regalis S. F. Gray</i>	T	P.	Мезоксер.	Средиз. Евр.												+
XXVII. Fam. Papaveraceae																	
44.	<i>Chelidonium majus L.</i>	H	P. Cn.	Мез.	Евраз.												+
45.	<i>Papaver rhoeas L</i>	T	P.	Мезоксер.	Косм.												+
XXVIII. Fam. Brassicaceae																	
46.	<i>Cardaria draba (L.) Des (Lepidium draba L.)</i>	H	P.	Ксеромез.	Евраз. Средиз.												+
47.	<i>Descurainia sophia (L.) Webb ex Prantl</i>	T-Ht	P.	Ксеро-мезмез	Евраз.	N3-4											+
48.	<i>Rorippa austriaca (Crandt) Bess.</i>	H	Ce.	Гигр.	Понт.												+
49.	<i>Rorippa amphibia (L.) Bess.</i>	HH	Cn.	Гигр.	Понт.												+
50.	<i>Berteroa incana (L.) DC</i>	T, HT	Cn.	Ксеро-мезмез	Евраз.												+
XXIX. Fam. Resedaceae																	
51.	<i>Reseda lutea L.</i>	HT, H	P.	Ксеромез.	Евраз.												+
XXX. Fam. Crassulaceae																	
52.	<i>Sedum acre L.</i>	Ch	Cn.	Ксероф.	Евраз.												+
XXXI. Fam. Rosaceae																	
53.	<i>Agrimonia eupatoria L</i>	H	P.	Ксеромез.	Евраз.												+
54.	<i>Potentilla reptans L.</i>	H	P.	Мезохигр.	Евраз.												+
55.	<i>Prunus spinosa L.</i>	H	Cn.	Ксеромез.	Евраз.	N2											+
56.	<i>Rosa canina L.</i>	Ph	Cn.	Ксеро-мезмез	Евр.												+
57.	<i>Crataegus monogina L.</i>	Ph	Cn.	Мезоксермез	Евр.												+
XXXII. Fam. Fabaceae																	
58.	<i>Amorpha fruticosa L.</i>	Ph	Суб. Cn.	Ксеромез.	Сев. Ам.												+

Экологические элементы: Ксеромезофиты (Ксеромез.) - 17 %, Мезофиты (Мез.) - 12%, Ксеромезофиты-мезофиты (Ксеромезмез) - 8%, Мезоксерофиты (Мезоксер.) - 7%. Гигрофиты (Гигр.) - 7 %, Гидрофиты (Гидр.) - 7%, Мезофиты-мезогигрофиты (Мезмезогигр.) - 7%, Мезофиты-мезогидрофиты (Мезмезогидр.) - 5%, Ксерофиты-ксеромезофиты (Ксерксеромез.) - 5%. Остальные группы, представленные 1-4 видами составляют вместе 25 %.

Исследуемая флора представлена 25 геоботаническими элементами, преобладающим является Евразийский элемент, представленный 37 видами, что составляет 37% от общего количества (рис. 4).

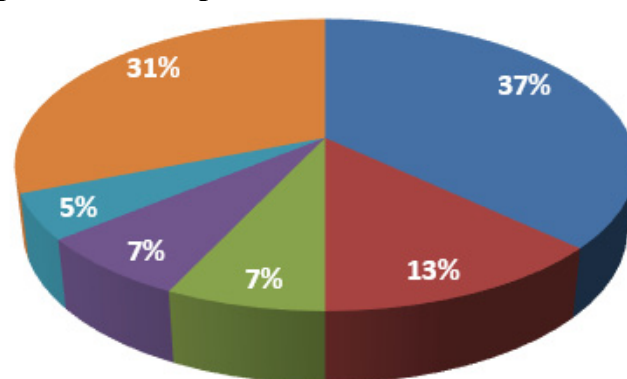
Геоэлементы, согласно рисунку 4 представлены в следующих соотношениях: Евразийские виды (Евраз.) - 37%, Космополитные (Косм.) - 13%, Европейские (Евр.) - 7%, Чиркумпольярные (Чиркумп.) - 7%, Североамериканские (Сев. Ам.) - 5%. Остальные геоэлементы представлены 1 – 4 видами растений и вместе составляют 31 %.

Рис. 3. Процентное соотношение экологических групп по отношению к влажности.



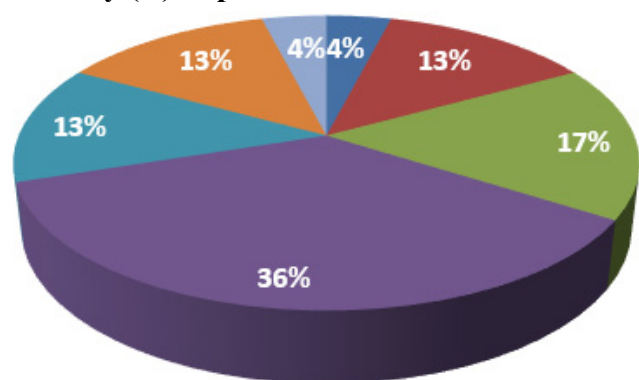
Ксеромезофиты - 17% Гидрофиты - 7 %
 Мезофиты - 12% Мезофиты-мезогигрофиты - 7%
 Ксеромезофиты-мезофиты - 8% Мезофиты-мезогидрофиты - 5%
 Мезоксерофиты - 7% Ксерофиты-ксеромезофиты - 5%
 Гигрофиты - 7% Остальные группы - 25 %

Рис. 4. Процентное соотношение видов растений по происхождению.



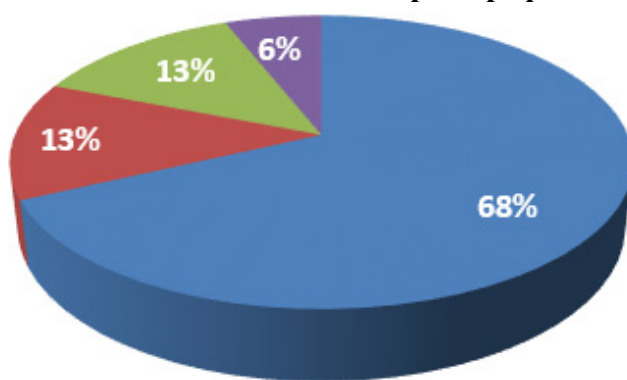
Евразийские виды - 37% Остальные группы - 31 %
 Космополитные - 13%
 Европейские - 7%
 Чиркумпольярные - 7%
 Североамериканские - 5%

Рис. 5. Распределение видов-индикаторов по азоту (N) в процентном соотношении.



N2 – 4% N4 -13%
 N2-3 - 13% N4-5 - 13%
 N3 – 17% N5 -4%
 N3-4 – 36%

Рис. 6. Процентное соотношение видов растений по отношению к категории трофности.



Эвтрофные виды - 68%
 Мезотрофные - 13%
 Олиготрофные - 13%
 Эвтрофные-мезотрофные - 6%

Виды-индикаторы азота (N) в среде представлены 6 группами (рис. 5). Преобладают виды интервала N3-4 (36%), 32 вида являются индикаторами трофности, эвтрофная группа представлена 22

видами, что составляет около 68 % от общего количества (рис. 6). Распределение видов-индикаторов по азоту (N): N2 – 4%, N2-3 - 13%, N3 – 17%, N3-4 – 36%, N4 -13%, N4-5 - 13%, N5 -4%.

Категории трофности: Эвтрофные виды - 68%, Мезотрофные - 13%, Олиготрофные – 13%, Евтрофные мезотрофные - 6%.

Исследуемая флора распределена неоднородно и в некоторых станциях отмечали незначительное разнообразие, к примеру у ручья Колкотова Балка обнаружили 16 видов, вдоль берега Днестра, ниже и выше притока Ботна вегетировали всего по 12 и 11 видов соответственно. Следует отметить, что вдоль берега реки Днестр, во всех исследуемых станциях отмечалось интенсивная хозяйственная деятельность человека. Обработанные земельные участки в некоторых местах располагались вблизи берегов реки. Выпас крупного рогатого скота, овец, коз и других домашних животных оказывают отрицательное воздействие на растительное разнообразие, что приводит к ухудшению состояния окружающей среды.

Выводы

Флористический состав исследуемых станций представлен 113 вида из 103 родов принадлежащих 55 семействам высших растений (Magnoliophyta). Наибольшим разнообразием характеризуются семейства сложноцветные (Asteraceae) 21 вида и злаковые (Poaceae) 8 вида, произрастающие в основном в прибрежной полосе реки Днестр и ее притоков.

Присутствие инвазивных видов *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle, *Acer negundo* L., *Amorpha fruticosa* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Grindelia squarrosa* Willd. и др на исследуемых станциях указывают на глубокие нарушения в экосистеме Нижнего Днестра.

Проводилось, также, для всех видов: определение процентного соотношения жизненных форм, биологических индексов, экологических групп по отношению к влажности, соотношение видов растений по происхождению, распределение видов-индикаторов по азоту (N) в процентном соотношении и соотношение видов растений по отношению к категории трофности.

Интенсивная хозяйственная деятельность человека в экосистеме Нижнего Днестра оказывает отрицательное воздействие на растительное разнообразие, нарушая экологическое равновесие, что приводит к ухудшению состояния окружающей среды.

Литература:

1. Bulimaga, C., Rusnac, A., Eroșencova, V., Ganja, E. *Sursele de poluare majoră a râului Bâc și impactul acestora asupra ecosistemului Nistrului inferior* // Академику Л. С. Бергу - 140 лет: Сб. науч. статей / Международная ассоциация хранителей реки „Еко-TIRAS” / Образовательный фонд им. Л. С. Берга / Бендерский историко-краеведческий музей. – Bendery: Eco-TIRAS, 2021, 512 с., стр. 307-311. ISBN 978-9975-3404-9-6. CZU: 57:551:91(082) A15.
2. CIOCÂRLAN, V. *Flora ilustrată a României. Pteridophyta et Spermatophyta*. București: Ed. a II Ceres, 2000, 1141 p.
3. CRISTEA, V., GAFTA, D., PEDROTTI, F. *Fitosociologie*. Ed. Presa universitară Clujeană, Cluj–Napoca, 2004, 394 p.
4. CRISTEA, V. *Fitocenologie și vegetația României*. Îndrumător de lucrări practice. Cluj–Napoca, 1991, 149 p.
5. ГЕЙДЕМАН, Т. С. *Определитель высших растений Молдавской ССР*. Кишинев: Штиинца, 1986, 638 с.
6. Ерошенкова, В. А. *Динамика гидрохимических показателей реки Днестр на участке Каменка – Слободзея за период 2013-2017 гг.* // Materialele Conferinței științifice a doctoranzilor. Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători, Volumul I, Chișinău, 2020, с. 267-171.
7. ЕРОШЕНКОВА, В., БУЛЬМАГА, К., СПИРИДОНОВА, А. *Внутригодовая динамика изменения качества речной воды реки Бык по биогенным показателям* // Conferința științifică națională cu participare internațională „Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective” (ediția a 7-a), Bălți, 19-20 mai 2023 / coordonator (editor): Valeriu Capcelea. – Chișinău: S. n. 2023 (BonsOffices). – 681, p. 459-461. ISBN 978-9975-81-128-6. 082=135.1=111=161.1 § 83
8. СЕМЕНЮК, Е. *Краткий справочник прибрежно-водной растительности реки Днестр в пределах Республики Молдова*. Еко-TIRAS. Кишинев, 2021, 124 с.

9. СМІРНОВА-ГАРАЕВА, Н. В. *Эколого-фитоценотическая характеристика прибрежно-водной растительности Днестра на территории МССР и юга УССР. Охрана природы Молдавии*, 1972, с. 119-124.
10. СМІРНОВА-ГАРАЕВА, Н. В. *Растительность Днестра*. Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1976, 45 с.
11. СМІРНОВА-ГАРАЕВА, Н. В. *Водная растительность Днестра и ее хозяйственное значение*. Кишинев: Штиинца, 1980, 136 с.
12. *Экологические проблемы Среднего Днестра*. Издательско-полиграфическая фирма «Центральная типография». Кишинев, 1999, 88 с.

Данные об авторе:

Виктория ЕРОШЕНКОВА, докторанд, Молдавского Государственного Университета, преподаватель ГОУ СПО «Училище Олимпийского Резерва».

ORCID: 0009-0006-0781-7840

E-mail:

Представлено 27.03.2024

CZU: 582.232:615.27

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_16](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_16)

CYANOBACTERIIE- SURSE DE COMPUȘI BIOACTIVI CU PROPRIETĂȚI ANTIOXIDANTE

*Alina TROFIM, Valentina BULIMAGA,
Liliana ZOSIM, Daniela ELENCIUC,*

Moldova State University, Republic of Moldova

Valeriu RUDIC,

*„Nicolae Testemitanu” State University
of Medicine and Pharmacy, Republic of Moldova*

În ultimele decenii, interesul cercetătorilor față de cianobacterii și alge a crescut mult, fiind privite nu doar ca produse alimentare sau nutraceutice, ci și ca surse de substanțe bioactive naturale cu efecte benefice asupra sănătății, care ar servi drept alternativă la medicamentele de sinteză, precum și ar lărgi spectrul de remedii naturale utilizate în prevenirea și combaterea unor maladii. Această lucrare prezintă rezultatele cercetărilor mondiale recente privind identificarea compușilor bioactivi cu activitate antioxidantă produși de alge și cianobacterii, analizate metodele de determinare a activității antioxidante a diferitelor clase de compuși biochimici, precum și speciile de cianobacterii cu un conținut bogat de substanțe cu efecte antioxidante în vederea evaluării tulpinilor de cianobacterii de interes biotehnologic și a preparatelor obținute pe baza acestora cu activitate antioxidantă ridicată.

Cuvinte-cheie: *activitate antioxidantă, cianobacterii, compuși bioactivi, radicali liberi.*

CYANOBACTERIA- SOURCES OF BIOACTIVE COMPOUNDS WITH ANTIOXIDANT PROPERTIES

In recent decades, the interest of researchers towards cyanobacteria and algae has increased not only as functional foods or nutraceuticals, but also as sources of natural bioactive components with beneficial health effects, which would serve as an alternative to synthetic drugs, as well as to broaden the spectrum of natural remedies used in the prevention and combating of some diseases. This review presents the results of recent research on the world map regarding the identification of bioactive compounds with antioxidant activity produced by algae and cyanobacteria, analyzed the methods of determining the antioxidant activity of different biochemical compounds classes, as well as the species of cyanobacteria with a rich content of substances with antioxidant effects in order to evaluate the cyanobacterial strains of biotechnological interest and the preparations obtained based on them with high antioxidant activity.

Keywords: *antioxidant activity, cyanobacteria, bioactive compounds, free radicals.*

Introduction

Oxidative stress is the main cause of many chronic diseases, including atherosclerosis, obstructive pulmonary disease, Alzheimer's disease, cancer [1], diabetes [2], as well as of cardiovascular and prostatic diseases [3]. Antioxidant molecules are molecules with the ability to inhibit the oxidation of other molecules. In the composition of algae and cyanobacteria, there are such bioactive substances with effects similar to synthetic antioxidants, the use of which sometimes causes adverse reactions in the body. Bioactive compounds from different species of algae and cyanobacteria, including phytochemicals and pigments can prevent oxidative stress by scavenging free radicals and active oxygen, which can contribute to the prevention of cancer and other chronic diseases [4]. Algae and cyanobacteria in natural environments are often exposed to increased irradiance and high oxygen levels. As a result, these microorganisms have developed defense mechanisms through the synthesis of bioactive compounds with antioxidant action [5-7].

Cyanobacterial and algal compounds with antioxidant and other properties

Bioactive substances that act as antioxidants are compounds isolated from cyanobacteria and algae,

such as cyanovirin, polyunsaturated fatty acids (oleic acid, linolenic acid and palmitoleic acid), vitamin E, B12, β -carotene, phycocyanin, lutein and zeaxanthin, which can manifest antimicrobial, and anti-inflammatory effects, helping to reduce or prevent disease [4, 8-11]. Green microalgae are evaluated as rich sources of chlorophylls as well as carotenoids (β -carotene and astaxanthin being quantitatively dominant). The green microalga *Dunaliella salina*, which is recognized as an important source of β -carotene, can produce up to 14% β -carotene from dry biomass [12, 13]. Astaxanthin is a xanthophyll carotenoid, obtained from green microalgae, which is mainly used as a food coloring. Green microalga *Haematococcus* sp. contains a high content of astaxanthin (about 3.4-3.5%) with an antioxidant effect and is used as a food supplement [12,14].

Pigments in cyanobacterial cells, such as chlorophyll a, carotenoids, phycobiliproteins, phenolic compounds and other substances, also exhibit antioxidant activity. Chlorophyll a and its derivatives have structural functional properties and pharmaceutical applications. Based on the structural properties of chlorophyll, which contains a heme portion similar to the hemoglobin structure, it may serve to facilitate CO₂/O₂ exchange. Due to this fact it is used in the treatment of ulcers, stimulation of cell growth, acceleration of tissue formation and increase of healing rate. Other chlorophyll derivatives have demonstrated antioxidant and antimutagenic properties by trapping mutagens in the gastrointestinal tract [15]. It was established that different strains of *Spirulina* sp. are rich sources of protein-pigments, such as phycobiliproteins, as well as other pigments that include chlorophyll a, B-carotene (49.6 -319.5 $\mu\text{g g}^{-1}$), followed by xanthophyll carotenoids (myxoxanthophyll, zeaxanthin, etc.) [8]. The presence of pigments varies by species. Phycobiliproteins are important pigments in red algae and cyanobacteria soluble in water and possess high antioxidant capacity and other therapeutic properties (anti-inflammatory, anti-carcinogenic, anti-viral, and anti-neurodegenerative) [16-18]. In the species of *Spirulina* sp. phycocyanin predominates quantitatively, and allophycocyanin is in more reduced quantities.

Studies have shown that both C-phycocyanin as well as allophycocyanin from cyanobacteria acts as strong antioxidants [18-20]. Phycobiliproteins from the filamentous cyanobacteria *Oscillatoria limosa* and *Scytonema aquatilis* included phycocyanin and allophycocyanin. Phycobiliproteins *N. spongiaeforme* contain phycoerythrin, phycocyanin and allophycocyanin. As a result of some research it was shown that all these pigments have the ability to annihilate hydroxyl radicals, superoxide and alkoxy radicals [21].

Significant antioxidant properties were also recorded for Se-phycocyanin. Thus, the study undertaken by Chen and Wong revealed that Se-phycocyanin, obtained from spirulina biomass enriched with selenium, exhibits more pronounced antioxidant effects thanks to the presence not only of phycocyanobilin, but also to the presence in the protein of selenium-containing amino acid residues [22]. Other research undertaken on the antioxidant activity of phycocyanin from the biomass of the cyanobacterium *S. platensis* demonstrated a higher antioxidant capacity in the extracts of phycobiliproteins obtained from zinc and germanium enriched biomass [19,20].

Apart from pigments and other compounds, such as lipids from cyanobacteria also exhibit antioxidant and anti-inflammatory activity. The research carried out by E. da Costa and the co-authors allowed the identification of 162 molecular components of a lipid nature (glycolipids, glycerolipids of the betaine lipid type and phospholipids) in the lipid extracts from the cyanobacterium *Gloeothece* sp. Some of the lipid compounds identified in the mixture are known for their bioactives. The antioxidant capacity of polar lipid extracts was evaluated by neutralization tests of superoxide radicals (O₂^{•-}) and nitric oxide radical (NO[•]). Their anti-inflammatory capacity was also examined using the COX-2 Enzyme Activity Assay Kit [23]. In addition to pigments and lipids, other components of cyanobacterial biomass with antioxidant activity are polysaccharides. Polysaccharides from microalgae and cyanobacteria have been described in detail by Delattre et al.[24]. Algal and cyanobacterial polysaccharides represent a class of components with applications in the food industry, cosmetics, as well as biomedical applications [25, 26]. Many microalgal polysaccharides can modulate the immune system by activating macrophages, inducing different types of cytokines/chemokines. A significant antioxidant activity of polysaccharides was established in the cyanobacterium *Nostoc commune*, recording a hydroxyl radical annihilation activity of 92.71% and a reducing power of 0.445 [27]. Thus, polysaccharides possess valuable properties for be used as food additives and therapeutic agents. Sulfated polysaccharides

have also found application as antiviral and antioxidant agents, as well as potential therapeutic agents in neurodegenerative diseases [4, 28]. Some studies have shown that sulfated polysaccharides, extracted from algae and cyanobacteria, show high antiviral activity in vitro against HIV-1 and other strains of viruses. These compounds interfere with the attachment of the virus to its target cells, thereby inhibiting the fusion between viral cells and blocking the entry of the virus into the cells. Purified sulfated polysaccharide from *S. platensis* Calcium spirulan (Ca-Sp) has shown the capacities to prevent replication of several viruses and exhibit antiviral activity against human immunodeficiency virus type 1 (HIV-1), HSV-1, influenza virus, herpes simplex virus-1, cytomegalovirus human (HVMV and other viruses [29].

There are others antioxidant substances produced by cyanobacteria, such as phenol compounds, antioxidant enzymes SOD, catalase, peroxidase and some pigments which will be discussed lower.

Methods for determination of antioxidant activity. Compounds that readily release electrons or hydrogen atoms and form more stable radicals may be potential antioxidants. It is known that there are two main mechanisms by which antioxidant molecules can deactivate free radicals: hydrogen atom transfer (HAT) and single electron transfer (SET). One of them can dominate depending on the conditions and the structure of the antioxidant. For more than two decades one of the most used methods for determining the antioxidant capacity is the test called Trolox equivalent antioxidant activity (TEAC). This assay applies the radical cation ABTS^{•+} (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) as a model radical and differs from the original version of the TEAC assay by a radical initiator - potassium persulfate (PP) instead of metmyoglobin/H₂O₂ [30].

The method with ABTS^{•+} presents some advantages. The cation radical cationic ABTS^{•+} is soluble in both organic and aqueous media, unlike the DPPH[•] radical, which is soluble only in organic media. The ABTS^{•+} test can thus be used to estimate the antioxidant activity of both lipophilic and hydrophilic samples [31]. It can be used to determine the antioxidant capacity of numerous compounds, namely carotenoids, phenolic compounds, flavonoids, phycobiliproteins (phycocyanin.) etc. The ABTS^{•+} radical is stable for more than two days when stored in the dark at room temperature, compared to DPPH, which has a rather short life. The redox activity of the antioxidant compounds can also be evaluated by the ability to interact with the stable radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH[•]). Delocalization of the radical in the aromatic rings of DPPH[•] ensures its stability [3]. Therefore, this method is widely used to determine the radical scavenging action of antioxidant compounds. In the DPPH assay, the reaction proceeds according to the one hydrogen atom transfer (HAT) mechanism. SET-based assays measure the reducing capacity of the antioxidant, while HAT-based assays quantify the hydrogen atom donating capacity [32].

Antioxidant activity can also be assessed by the CUPRAC assay based on the ability of the antioxidant to reduce Cu²⁺ complexed with 2,9-dimethyl-1,10-phenanthroline (neocuproine) or by Fe³⁺ reducing power (FRAP similar to CUPRAC). Trolox, the water-soluble vitamin E analogue, is used as a standard. [33].

Phenolic compounds with chemo-preventive and therapeutic values have been of scientific interest in the management of countless chronic diseases since 1990. The main contributors to the antioxidant capacity of fruit, vegetable, grain or plant samples are phenolic compounds. The Folin-Ciocalteu (F-C) test is the most commonly used to determine the total content of phenolic compounds in various plant or food samples. The Folin-Ciocalteu test is a colorimetric method based on SET reactions between F-C reagent and phenolic compounds. [34].

Another test that allows the evaluation of the antioxidant capacity is the β-carotene decolorization test based on the oxidation of linoleic acid which produces free radicals derived from hydroperoxide that attack the β-carotene chromophore, leading to the partial decolorization of the reaction emulsion, and the antioxidant activity is expressed as percent inhibition relative to control [5].

Besides of described methods, some researchers determine also the ability of cyanobacterial extracts to chelate Fe²⁺. The determination of unchelated Fe²⁺ is carried out by the reaction with ferrozine (0.25mM) [35].

There is also a known method for determining the antioxidant activity based on the nitric oxide (NO[•]) radical elimination test. It has been established that flavonoids can quickly neutralize NO[•] radicals and this test could be applied in the case of determining the antioxidant activity in samples containing not only flavonoids but also polar lipids [36].

The oxygen radical absorbance capacity (ORAC) method is also used to determine the antioxidant capacity. The (ORAC) assay is widely used to quantify the peroxy radical scavenging capacity of pure natural and synthetic compounds, as well as to determine the antioxidant capacity of both cyanobacterial phycocyanin biopreparations and organometallic coordinating compounds with antiproliferative action [37]. The test is based on the fluorescence method using fluorescein. The ORAC test has been one of the most commonly used tests for the determination of antioxidant activity in biomedical research and the food industry. The given method presents some disadvantages related to the need for special equipment (fluorimeters), which may not be routinely available in all analytical laboratories [38, 39].

In the following, the results of research on the antioxidant potential of extracts and biopreparations obtained from various genera and species of cyanobacteria are presented

Antioxidant activity of bioactive substances from cyanobacteria.

Reactive oxygen species (ROS) are known to play an important role in a variety of cellular functions, including signal transduction and regulation of enzyme activity [40, 41]. An excessive amount of reactive oxygen species, on the other hand, can also interact with biological molecules and generate secondary products such as peroxides and aldehydes, which can cause damage to cell structure and function [42, 43]. Under normal conditions, cells have an antioxidant defense system, including enzymatic antioxidants such as superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPx), and non-enzymatic antioxidants such as glutathione and vitamins, to combat excessive ROS [44, 45]. Cyanobacteria eliminate ROS with the help of antioxidant substances, such as carotenoids, α -tocopherol as well as with antioxidant enzymes, including peroxidases, catalases and superoxide dismutases (SOD) [13, 46, 47].

Phenolic compounds cyanobacteria also possess a high level of specific antioxidant activity. In your research Blagojević et al. evaluated the phenolic content and antioxidant activity of ethanolic extracts of ten cyanobacterial strains, including 8 nitrogen-fixing from the genera *Nostoc* (6 strains) and *Anabaena* (2 strains), grown under different nitrogen conditions, as well as 2 strains of the genus *Arthrospira*. The amount of detected phenolic compounds varied from 14.86 to 701.69 $\mu\text{g/g}$. HPLC-MS/MS analysis revealed the presence of the following phenolic compounds: gallic acid, chlorogenic acid, quinic acid, catechin, epicatechin, kaempferol, rutin and apigenin. Only catechin, among the detected phenolic compounds, was present in all tested strains, while quinic acid was the most dominant compound in all tested *Nostoc sp.* Strains. The results also indicated that by manipulating the amount of nitrogen in the cultivation medium, an increase in the phenolic content of the cyanobacterial biomass of *Nostoc 2S7B* strain was observed, especially quinic acid (from 70.83 to 594.43 $\mu\text{g/g}$). The highest radical scavenging activity by DPPH test was recorded for the alcoholic *Nostoc LC1B* extract with an IC50 value of 0.04 ± 0.01 mg/mL, while the *Nostoc 2S3B* extract much lower [48]. Through the FRAP test, the reducing power of the alcoholic extracts was determined within the limits of 8.36 ± 0.08 - 21.01 ± 1.66 mg AAE/g, registering significantly different values, which in the case of the *Arthrospira S1* strain was approximately twice higher compared to those in nitrogen-fixing strains. This study highlights cyanobacteria of the genera *Nostoc*, *Anabaena* and *Arthrospira* as producers of antioxidants and phenolic compounds with pharmacological and health-beneficial effects, namely quinic acid and catechin, in particular [48].

In another study performed the screening and characterization of the antioxidant profile as well as the evaluation of the anticancer effect of 12 species of cyanobacteria and two species of microalgae strains isolated from soil and agricultural runoff [49]. The data demonstrated that total phenolic content was highest in *Anabaena oryzae* and *Aphanizomenon gracile* (27.39 and 26.83 mg GAE/g, respectively), followed by *Leptolyngbya fragilis* (22.96 mg GAE/g). Among the identified 14 species, the cyanobacterium *Dolichospermum flos-aquae HSSASE2* showed the highest antioxidant activity in terms of NO• radical scavenging activity and anti-lipid peroxidation potential (IC50 = 28.7 ± 0.1 and, respectively 11.9 ± 0.2 $\mu\text{g/ml}$) and the lowest DPPH radical scavenging activity. (467.7 $\mu\text{g/ml}$) [49].

In the study presented by Ismaiel and co-authors, the antioxidant activity of the aqueous extracts and the activity of the antioxidant enzymes SOD, catalase and peroxidase, obtained by extraction from 11 species of freshwater cyanobacteria with phosphate buffer solution (pH 7.0), were evaluated. The content of phycobiliproteins in the biomass was also determined, with the highest content of phycobiliproteins (150.68

mg/g), including phycocyanin (91.16mg/g) identified in the strain of *Spirulina platensis*. Antioxidant activities were determined by testing free radical scavenging activity, reducing power and chelating activity. The results revealed that activity and reducing power (524 and 244%, respectively, more than the control). The highest chelating activity (195%) was observed for the *Nostoc linkia* extract. The pigments such as chlorophyll a, carotenoids and phenolic compound content was also examined and *S. platensis* was found to have the highest chlorophyll a content (10.6 mg/g), followed by carotenoids (2.4 mg/g). Phenolic compounds content from *S. platensis* was 9.7 mg gallic acid equivalent /g [50].

Qi et al. mentioned that sulfated polysaccharides with low molecular mass have a potential ability to stop free radical reactions from the very beginning thus inhibiting the damage induced by the excess of free radicals [51]. The antioxidant activity may be due to the –OH and –OSO₃H groups in polysaccharide molecules that can have a significant effect on free radical scavenging. Therefore, sulfated polysaccharides in *S. platensis* exert antioxidant action by breaking the chain of free radicals by donating a hydrogen atom.

Abd El Baky et al. studied the antioxidant activity of sulfated polysaccharides from cyanobacterium *S. platensis* using 2 methods: DPPH• (BHA and BHT as standard) and ABTS•+ (Trolox standard). Polysaccharide extracts were obtained by extraction with 85% alcohol (80°C) and hot water (100°C) from biomass grown on Zarrouk medium enriched with nitrogen in concentrations: 45, 128, 293, 412 and 622 ppm. The highest scavenging activity was shown in the polysaccharide extract (300 µg) obtained by hot water extraction from *S. platensis* grown on medium containing 128 ppm nitrogen. Highest ABTS•+ radical scavenging activity. was highlighted in the case of the polysaccharide sample (400 µg) obtained by hot water extraction from the biomass of *S. platensis* grown on medium with the addition of 293 ppm nitrogen [52].

Guerreiro and co-authors evaluated the antioxidant potential of 8 distinct cyanobacterial strains, of which 6 strains were isolated from freshwater environments), a soil strain (*Nostoc (LMECYA 291)*) and a strain (*Planktothrix mougeotii* (LEGE 06224)) from wastewater. Ethanol and methanol extracts were obtained from the lyophilized biomass of in vitro cultures of these strains. The antioxidant potential was evaluated by the DPPH radical scavenging method, and the determination of total phenolic compounds and total flavonoids by the β-carotene discoloration test. The methanolic extracts from the biomass of *M. aeruginosa* (LMECYA 127), *Leptolyngbya sp.* (LMECYA 173), *Dolichospermum flos-aquae* (LMECYA 180), *Planktothrix agardhii* (LMECYA 257) and *P. mougeotii* (LEGE 06224) showed high yields of antioxidant activity by the DPPH• test (inhibition % up to 10.7%), which corresponds with 20.7 Trolox equivalent (TE) µg/mL). The (ethanolic) extracts of *Aphanizomenon gracile* (LMECYA 009) and *A. flos-aquae* (LMECYA 088) showed significantly higher values in the β-carotene bleaching test (690.47 and 828.94 AAC, respectively) than the other tested strains. A significant content of phenolic compounds (102.3 and 123.16 mg GAE/g dry biomass), as well as flavonoids (606 and 900.60 mg QE/g dry biomass) was established also in ethanolic extracts of these strains [5].

Researchers Hossain et al. evaluated the content of total phenolic compounds (TPC), total flavonoid content (TFC), antioxidant activity, phycobiliproteins content (PBP) and other bioactive compounds in four species of cyanobacteria: *Oscillatoria sp.*, *Lyngbya sp.*, *Microcystis sp.* and *Spirulina sp.*, isolated from freshwater sources in Sri Lanka. In this study, *Lyngbya sp.* demonstrated the highest content of total phenols and flavonoids (5.02 ± 0.20 mg/g and 664.07 ± 19.76 mg/g, respectively) and total phycobiliproteins (127.01 mg/g). Ferric reducing antioxidant power (FRAP) was recorded the highest in *Oscillatoria sp.* (39.63 ± 7.02), while the scavenging activity of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radicals was reported in the extracts of *Oscillatoria sp* with a maximum value of 465.31 ± 25.76 and of 248.39 ± 11.97 in the case of the extract of *Lyngbya sp.*[53].

A valuable component of aqueous extracts obtained from *Spirulina sp.* with antioxidant activity are phycobiliproteins, especially phycocyanin. The antioxidant action of phycocyanin on hydroxyl and peroxy radicals is due to the presence of conjugated bonds in phycocyanobilin as well as some amino acid residues in the polypeptide chain [55, 56]. Romey et al. 2003; and Safari et al. 2017 studied the antioxidant and antibacterial activity of C-phycocyanin (C-PC) extracted from *S. platensis* and subjected to purification using lysozyme and ammonium sulfate precipitation [57, 56]. Radical scavenging activity by DPPH•, ferric reducing antioxidant power (FRAP) and Fe²⁺ chelating activity were used to highlight the antioxidant ac-

tivity of C-PC. In the result of this study, it was established that the activity with DPPH• constituted 45.75% of inhibition, the activity of FRAP - 0.051 mg equivalent of Trolox /g, and 40.23% the activity of chelating Fe^{2+} [56]. The antioxidant activity of phycocyanin was also determined by the ORAC method. Benedetti et al. applied this method to investigate the ability of phycocyanin (PC) and phycocyanobilin (PCB) purified from the cyanobacterium *Aphanizomenon flos-aquae* to directly neutralize peroxy radicals compared to well-known antioxidant molecules used as standard (Trolox, ascorbic acid, reduced glutathione). As a result, PCB was found to have an ORAC value (22.18 μmol of Trolox/ μmol of compound), comparable to that of PC (20.33 μmol of Trolox/ μmol of compound) demonstrating that both phycocyanobilin and phycocyanin exhibit antioxidant properties and can be used in the treatment of clinical conditions related to oxidative stress [38].

Indian researchers Ananya and Aisha Kamal evaluated the antioxidant capacity of the total polar lipid fraction obtained from the cyanobacterium *Nostoc muscurum*. Antioxidant analysis of total polar lipids was performed by the DPPH• free radical scavenging assay. The highest percentage of free radical inhibition (65%) was detected at the concentration of 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$, which could be due to the presence of hexadecanoic acid in the extract. In the mixture of summary lipids, other bioactive compounds were also identified, especially phthalic acid and the ethyl ester of 9-octadecenoic acid, the latter predominating quantitatively and it was also proven to have antimicrobial, anti-inflammatory, anticarcinogenic, hypocholesterolemic, antiandrogenic activities etc. [57].

Thus, cyanobacteria are important sources of bioactive substances with an antioxidant effect: phycobiliproteins, pigments (carotenoids, chlorophylls, xanthophylls), sulfated polysaccharides, polar lipids, phenolic compounds (including quinic acid and catechin), flavonoids, antioxidant enzymes (SOD, catalase, peroxidase) et al., many of which are structurally bioactive metabolites that may have cytotoxic, antiviral, anticancer, antimutagenic, antimicrobial, specific enzyme inhibitory, and immunosuppressive activities.

Conclusions

Cyanobacteria are producers of a wide range of bioactive substances including substances with an antioxidant effect, having a high potential for biotechnological applications. Such natural bioactive substances can find applications in the pharmaceutical, cosmetic, medicine, food industry, as an alternative to synthetic chemical compounds. Oxidative stress is the cause of many diseases, including neurodegenerative diseases, cancer, cardiovascular diseases, atherosclerosis, obstructive pulmonary diseases, etc. In order to overcome all the unwanted effects following the installation of oxidative stress, the application of natural products is welcome due to the presence in their composition of biologically active compounds with antioxidant properties, including phycobiliproteins, phenolic compounds, pigments, sulfated polysaccharides, etc. which are certainly preferable to synthetic analogues. The results obtained by some researchers highlighted the fact that cyanobacteria from the genera *Nostoc*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Lynxbya*, *Phormidium*, *Dolichospermum*, *Leptolyngbya*, *Planktothrix Aphanizomenon*, *Arthrospira* etc. can be used as producers of antioxidants: phycobiliproteins, pigments (carotenoids, chlorophylls, xanthophylls), sulfated polysaccharides, polar lipids, phenolic compounds, including quinic acid and catechin, flavonoids, antioxidant enzymes (SOD, catalase, peroxidase), as well as other secondary metabolites with therapeutic and beneficial health effects. For the comparative analysis of the antioxidant activity, it is necessary to use the same appropriate antioxidant standard (Trolox, ascorbic acid, BHA, BHT, gallic acid, quercetin) and it is necessary to express the antioxidant activity in the same measurement units. The standard is selected depending on the biochemical composition of the analyzed samples. Many of these properties are also due to the antioxidant effects.

References:

1. FORMAN, H. J., AND ZHANG, H. *Targeting oxidative stress in disease: promise and limitations of antioxidant therapy*. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2021, vol. 20, p. 689-709.
2. GRANOT, E., AND KOHEN, R. *Oxidative Stress in Childhood – In Health and Disease States*. *Clinical Nutrition*, 2004, vol. 23, p. 3-11.

3. GUPTA, D. *Methods for determination of antioxidant capacity: A review. Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2015, vol. 6, p. 546–566.
4. ADITYA, T., BITU, G. AND MERCY, E.. *The Role of Algae in Pharmaceutical Development . Journal of Pharmaceutics and Nanotechnology*, 2016, vol. 4, p. 82-89.
5. GUERREIRO, A., ANDRADE, MA., MENEZES, C., VILARINHO, F., DIAS, E. *Antioxidant and Cytoprotective Properties of Cyanobacteria: Potential for Biotechnological Applications. Toxins (Basel)*, 2020, vol. 12, p. 548.
6. RAI, R., SINGH, S., RAI K. K., RAJ, A., SRIWASTAW, S., RAI, L. C. *Regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems in cyanobacteria. Plant Physiol Biochem*, 2021, vol. 168, p. 353-372.
7. SARKAR, P., STEFI, R.V., PASUPULETI, M. et al. *Antioxidant molecular mechanism of adenosyl homocysteinase from cyanobacteria and its wound healing process in fibroblast cells. Mol Biol Rep.* 2020, vol. 47, p. 1821–1834.
8. EL-BAKY, H. H., EL BAZ, F. K., AND EL-BAROTY, G. S. *Spirulina Species as a Source of Carotenoids and α -Tocopherol and its Anticarcinoma Factors. Biotechnology*, 2003, vol. 2, p. 222-240.
9. IBÁÑEZ, E., CIFUENTES, A. *Benefits of using algae as natural sources of functional ingredients. J. Sci. Food Agric.* 2013, vol. 93, p. 703–709.
10. SANMUKH, S., BRUNO, B., RAMAKRISHNAN, U., KHAIRNAR, K., SWAMINATHAN, S. et al. *Bioactive Compounds Derived from Microalgae Showing Antimicrobial Activities. J Aquac Res Development*, 2014, Vol. 5, p. 224.
11. SMEE, D. F., BAILEY, K. W., WONG, M. H., O’KEEFE, B. R., GUSTAFSON, K. R., MISHIN, V. P., et al.. *Treatment of influenza A (H1N1) virus infections in mice and ferrets with cyanovirin-N. Antiviral Res.* 2008, vol. 80, p. 266–271.
12. RUDIC, V. et al. 2007. *Phycobiotechnology—fundamental research and practical achievements (in romanian)*. Edit „Elena-V.I”. SRL, Chișinău, 2007, 364 p.
13. SPOLAORE, P., JOANNIS-CASSAN, C., DURAN, E., ISAMBERT, A. *Commercial applications of microalgae. J. Biosci. Bioeng.* 2006, vol. 101, p. 87–96.
14. LORENZ, R., CYSEWSKI, G. R. *Commercial potential for Haematococcus microalgae as a natural source of astaxanthin. Trends Biotechnol.* 2000, vol. 18, p. 160–167.
15. FERRUZZI, M. G., BÖHM, V., COURTNEY, P. D., SCHWARTZ, S. J.. *Antioxidant and antimutagenic activity of dietary chlorophyll derivatives determined by radical scavenging and bacterial reverse mutagenesis assays. J. Food Sci.*, 2002, vol. 67, p. 2589–2595.
16. DAGNINO-LEONE, J., FIGUEROA, C. P., CASTAÑEDA, M. L., YOULTON, A. D., VALLEJOS-ALMIRALL, A., AGURTO-MUÑOZ, A., PAVÓN PÉREZ, J., AGURTO-MUÑOZ, C. *Phycobiliproteins: Structural aspects, functional characteristics, and biotechnological perspectives. Comput Struct Biotechnol J.* 2022, vol. 20, p. 1506-1527.
17. ESTRADA, J. E. P., BESCOS, P. B., DEL FRESNO, A. M. V. *Antioxidant activity of different fractions of Spirulina platensis protean extract. Farmaco.* 2001, vol. 56, p. 497–500.
18. GE, B., QIN, S., HAN, L., LIN, F., REN, Y. *Antioxidant properties of recombinant allophycocyanin expressed in Escherichia coli. J. Photochem. Photobiol.* 2006, vol. 84, p. 175-180.
19. BULIMAGA, V., DJUR, S., PISOV, M., RUDI L., RUDIC, V. *Antioxidant capacity of phycocyanin preparations obtained from germanium enriched spirulina biomass Studia Universitatis Moldaviae* 2012 , nr. 1(51), p. 9-13.
20. ZOSIM, L., BULIMAGA, V., TROFIM, A, ELENCIUC, D. *Antioxidant capacity of the extracts of spirulina biomass containing phycocyanin. 5th International Conference on Microbial Biotechnology, October 12-13, 2022, Chisinau, p .86.*
21. DIVYASHREE, M., MANI, M. K., MAMATHA, B. S. AND KINI, S. *Algae and cyanobacteria as a source of novel bioactive compounds for biomedical applications. Chapter 12 In book: Advances in Cyanobacterial Biology*, 2020, pp. 173-194.
22. CHEN TIANFENG., WONG YUM-SHING. *In vitro antioxidant and antiproliferative activities of selenium-containing phycocyanin from selenium-enriched Spirulina platensis. J Agric Food Chem.* 2008, vol. 56, p. 4352-4358.

23. E. DA COSTA, H. M. AMARO, T., MELO, A. GUEDES, M. R. DOMINGUES. *Screening for polar lipids, antioxidant, and anti-inflammatory activities of Gloeotheca sp. lipid extracts pursuing new phytochemicals from cyanobacteria. Journal of Applied Phycology*, 2020, vol. 32: 3015-3030.
24. DELATTRE, C., G. PIERRE, C. LAROCHE, P. MICHAUD. *Production, extraction and characterization of microalgal and cyanobacterial exopolysaccharides. Biotechnol Adv. Nov. 2016*, vol. 34 p. 1159-1179.
25. SEVERO, I., DIAS, R., DEPRÁ, M., MARONEZE, M., ZEPKA, L, JACOB-LOPES, E. *Microalgae-derived polysaccharides: Potential building blocks for biomedical applications. World J Microbiol Biotechnol*, .2022, vol. 38, p. 150.
26. ZHAO, X., XUE, C. H., LI Z. J., Y. P. CAI, H. Y. LIU et al. *Antioxidant and Hepatoprotective Activities of Low Molecular Weight Sulfated Polysaccharide From Laminaria Japonica. J Appl Phyco*, 2004, Vol. 16, p. 111-115.
27. WANG H.-B., WU S.-J., LIU D. *Preparation of polysaccharides from cyanobacteria Nostoc commune and their antioxidant activities. Carbohydrate polymers*, 2014, vol. 99, p. 553-555 .
28. LI H., DING F., XIAO L., SHI R., WANG H., HAN W., HUANG Z. *Food-Derived Antioxidant Polysaccharides and Their Pharmacological Potential in Neurodegenerative Diseases. Nutrients*, 2017, nr. 9, p. 778.
29. HAYASHI, T. *Studies on evaluation of natural products for antiviral effects and their applications. Yakugaku Zasshi*, 2008, vol. 128, p. 61-79.
30. ILYASOV R., BELOBORODOV V. L., SELIVANOVA I. A., AND TEREKHO R. P. *ABTS/PP Decolorization Assay of Antioxidant Capacity Reaction Pathways. Int. J. Mol. Sci.* 2020, vol. 21, p. 1131.
31. KIM, D.-O.; LEE, K. W.; LEE, H. J.; LEE, C. Y. *Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolic phytochemicals. J. Agric. Food Chem.* 2002, Vol. 50, p. 3713–3717.
32. APAK, R., GÜÇLÜ, K., ÖZYÜREK, M., ÇELİK S. E. *Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. Microchim. Acta* 2008, vol. 160, p. 413–419.
33. BAYARSAIKHAN, G., AVAN, A.N., ÇEKIÇ, S. D., APAK, R. *Use of modified CUPRAC and dinitrophenylhydrazine colorimetric methods for simultaneous measurement of oxidative protein damage and antioxidant defense against oxidation. Talanta*, 2019, vol. 204, p. 613–625.
34. SÁNCHEZ-RANGEL, J. C., BENAVIDES, J., HEREDIA, J. B., CISNEROS-ZEVALLOS, L., JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. *The Folin–Ciocalteu assay revisited: Improvement of its specificity for total phenolic content determination. Anal. Methods*, 2013, 5, p. 5990–5999.
35. CHEW Y-L., GOH J-K., LIM Y-Y. *Assessment of in-vitro antioxidant capacity and polyphenolic composition of selected medicinal herbs from Leguminosae family in Peninsular Malaysia. Food Chem.* 2009, vol. 116, p. 13–18.
36. LAKHANPAL, P., RAI, D. K. *Quercetin: A versatile flavonoid. IJMU*, 2007, vol. 2, nr. 22–37.
37. BENEDETTI, S., BENVENUTI, F., SCOGLIO, S., CANESTRARI, F.. *Oxygen Radical Absorbance Capacity of Phycocyanin and Phycocyanobilin from the Food Supplement Aphanizomenon flos-aquae. Journal of Medicinal Food*, 2010, vol. 13, p. 223-227.
38. BIBI SADEER, N., MONTESANO, D., ALBRIZIO, S., ZENGIN, G., MAHOMOODALLY, M. F. *The Versatility of Antioxidant Assays in Food Science and Safety - Chemistry, Applications, Strengths, and Limitations. Antioxidants*, 2020, vol. 9, p.709.
39. ZHONG, Y., SHAHIDI, F. *Methods for the assessment of antioxidant activity in food. Ch.12 in Handbook of Antioxidants for Food Preservation*, 2015, p. 287-333
40. MCCORD, J. M. *The evolution of free radicals and oxidative stress. Am. J. Med.* 2000, vol. 108, p. 652-659.
41. RECZEK, C. R., CHANDEL, N. S. *ROS-dependent signal transduction. Curr. Opin. Cell Biol.* 2015, vol. 33, p. 8–13.
42. AYALA, A., MUÑOZ, M. F., ARGÜELLES, S. *Lipid peroxidation: Production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-hydroxy-2-nonenal. Oxid. Med. Cell. Longev.* 2014. Article ID 360438.
43. DALLE-DONNE, I., ALDINI, G., CARINI, M., COLOMBO, R., ROSSI, R., MILZAN, A. *Protein carbonylation, cellular dysfunction, and disease progression. J. Cell. Mol. Med.* 2006, vol. 10, p. 389-406.
44. AL-DALAEN, S. M., AL-QTAITAT, A.I . *Review article: Oxidative stress versus antioxidants. J. Biosci. Bioeng.* 2014, vol. 2, p. 60.
44. RAHAL A., KUMAR A., SINGH V., YADAV B., TIWARI R., CHAKRABORTY S., DHAMA K. *Oxidative stress, prooxidants, and antioxidants: The interplay. BioMed Res. Int.* 2014. Article ID 761264.

45. LATIFI, A., RUIZ, M. & ZHANG, C. C. *Oxidative stress in cyanobacteria*. *FEMS Microbiol. Rev.* 2009, vol. 33, p. 258–278.
46. MARTÍNEZ-FRANCÉS, E., ESCUDERO-OÑATE, C. *Cyanobacteria and Microalgae in the Production of Valuable Bioactive Compounds*. Chapter in book: *Microalgal Biotechnology*, 2018. Edited by E. Jacob-Lopes, L. Queiroz Zepka and M. I. Qu. Jacob-Lopes, pp. 105-128.
47. BLAGOJEVIĆ, D. K., BABIĆ, O., RASETA, M., ŠIBUL, F.. *Antioxidant activity and phenolic profile in filamentous cyanobacteria: the impact of nitrogen*. *Journal of Applied Phycology*, 2018, vol. 30, p. 2337-2346.
48. SENOUSY, H. H., ABD ELLATIF S., ALI S. *Assessment of the antioxidant and anticancer potential of different isolated strains of cyanobacteria and microalgae from soil and agriculture drain water*. *Environ Sci Pollut Res.* 2020, vol. 27, p. 18463–18474.
49. ISMAIEL, M. M. S., EL-AYOUTY, Y. M. & PIERCEY-NORMORE, M. D. *Antioxidants characterization in selected cyanobacteria*. *Ann Microbiol.* 2014, vol. 64, p. 1223–1230.
50. QI, H., ZHANG, T. Q., LI Z., ZHAO, Z., XING, R. *Antioxidant Activity Of Different Molecular Weight Sulfated Polysaccharides From *Ulva pertusa* Kjellm (Chlorophyta)*. *J Appl Phycol.* 2005, vol. 17, p. 527–534.
51. ABD EL BAKY, H., HANAA EL BAZ, K. F., AND EL-LATIFE, S. A.. *Induction of Sulfated Polysaccharides in *Spirulina platensis* as Response to Nitrogen Concentration and its Biological Evaluation*. *J. Aquac Res Development* 2013, vol. 5, p. 1-8.
52. HOSSAIN, M. F., RATNAYAKE, R. R., MEERAJIN, K., KUMAR, K. L. W. *Antioxidant properties in some selected cyanobacteria isolated from fresh water bodies of Sri Lanka*. *Food Science and Nutrition*. 2016, Vol. 4, nr. 5, p. 753-758.
53. PATEL ANAMIKA, MISHRA SANDHYA, P. K GHOSH. *Antioxidant potential of C-phycoerythrin isolated from cyanobacterial species. *Lyngbya, Phormidium and Spirulina spp.** *Indian J. of Biochem and Biophysics*. 2006, vol. 43, p. 25-31.
54. SAFARI, R., RAFTANI, A. Z., ESMAEILZADEH, K. R. *Antioxidant and antibacterial activities of C-phycoerythrin from common name *Spirulina platensis**. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2020, vol. 19, p. 1911-1927.
55. ROMEY ET AL. *C-phycoerythrin: A biliprotein with antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective effects*. *Current Protein and Peptide Science*, 2003, vol. 4, p. 207-216.
56. ANANYA, AISHA KAMAL. *Fatty acid profiling and antioxidant potential of total polar lipid content of cyanobacterium *Nostoc muscurum**. *Int J Pharm Pharm Sci.* 2016, vol. 8, p. 159-163.

Acknowledgements: The review presented was carried out within the Moldovan-Turkish bilateral project 22.80013.5107.2TR; „Determination of Bioactivity and Antimyeloma Properties of Various Cyanobacteria.”, The authors are grateful to the National Agency for Research and Development (NARD), Moldova, for providing financial support.

Date despre autori:

Alina TROFIM, doctor în biologie, cercetător științific coordinator, Universitatea de stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-4557-9602

Valentina BULIMAGA, doctor în biologie, Universitatea de stat din Moldova.
ORCID: 0000-0002-5042-2952

Liliana ZOSIM, doctor în biologie, conferențiar cercetător, cercetător științific superior, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-0510-8064

Daniela ELENCIUC, doctor în biologie, șef departament „Biologie și Ecologie”, Universitatea de stat din Moldova.
ORCID: 0000-0002-5090-5057

Valeriu RUDIC, doctor habilitat, profesor universitar, acedemician al Academiei de Științe a Moldovei, șef Catedră de Microbiologie, Virusologie și Imunologie, Universitatea de Stat de Medicină și Farmacie „N. Testemițanu”.
ORCID: 0000-0001-8090-3004

Prezentat la 07.12.2023

CZU: 574.1:502.131.1:340.13(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_17](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_17)

IMPACTUL IMPLEMENTĂRII MECANISMULUI DE EVALUARE A BIODIVERSITĂȚII - STUDIU DE CAZ, REPUBLICA MOLDOVA

Irina PUNGA,*Universitatea de Stat din Moldova*

Într-o eră a schimbărilor constante și a adaptării la provocările mediului, conservarea biodiversității devine o prioritate globală. Mecanismul de evaluare a biodiversității, implementat la nivel mondial, joacă un rol esențial în această luptă. Republica Moldova, conștientă de importanța conservării diversității naturale, a adoptat mecanismul de evaluare a biodiversității ca parte integrantă a angajamentelor sale internaționale privind protejarea mediului. Această inițiativă, încorporată în legislația națională, reflectă o preocupare crescândă la nivel global pentru menținerea echilibrului ecologic și conservarea resurselor naturale în beneficiul generațiilor viitoare. În vederea identificării și gestionării amenințărilor potențiale asupra biodiversității, precum și direcționării eforturilor de evaluare către acele activități care prezintă un risc semnificativ pentru biodiversitate, ne propunem o analiză a domeniului de aplicare a mecanismului de evaluare a biodiversității.

Cuvinte-cheie: *evaluarea biodiversității, Directiva Habitate, rețea Emerald, Natura 2000, dezvoltare durabilă, protecția mediului.*

THE IMPACT OF IMPLEMENTING THE BIODIVERSITY ASSESSMENT MECHANISM - CASE STUDY REPUBLIC OF MOLDOVA

In an era of constant change and adaptation to environmental challenges, biodiversity conservation is becoming a global priority. The globally implemented biodiversity assessment mechanism plays a crucial role in this fight. Aware of the importance of preserving natural diversity, Moldova has adopted the biodiversity assessment mechanism as an integral part of its international environmental commitments. This initiative, which has been incorporated into national legislation, reflects a growing global concern to maintain ecological balance and conserve natural resources for the benefit of future generations. In order to identify and manage potential threats to biodiversity and to focus assessment efforts on activities that pose a significant risk to biodiversity, we propose an analysis of the scope of the biodiversity assessment mechanism.

Keywords: *biodiversity assessment, Habitats Directive, Emerald Network, Natura 2000, sustainable development, environmental protection.*

Introducere

Unul din pilonii legislativi orientați către conservarea remarcabilă a biodiversității și a habitatelor din întreaga Europă, impunând un set de cerințe specifice privind gestionarea cu strictețe a zonelor desemnate ca situri Natura 2000 este Directiva Habitate (92/43/CEE) [1]. Acest instrument normativ, conceput pentru a atinge în mod consecvent și durabil obiectivele fundamentale ale protecției mediului, se materializează în principal în prevederile sale cheie, cu precădere art. 6(3) al Directivei Habitate, prin care se instituie mecanismul legal de evaluare de mediu cunoscut pe plan internațional ca „appropriate assessment” (evaluarea adecvată).

Raționamentul creării mecanismului de evaluare adecvată în cadrul Directivei Habitate reflectă preocuparea și responsabilitatea față de conservarea biodiversității și a ecosistemelor naturale. Principiile ce stau la baza acestui mecanism sunt orientate către garantarea unei dezvoltări durabile, care să echilibreze necesitățile umane cu protecția mediului și a speciilor sălbatice.

Obiectivele principale ale mecanismului de evaluare adecvată sunt:

a) *protecția biodiversității:* recunoașterea importanței biodiversității și a habitatelor naturale pentru menținerea echilibrului ecologic. Într-un context global de schimbări climatice și de pierdere accelerată a biodiversității, protecția acestora devine esențială pentru conservarea resurselor naturale și a funcțiilor ecosistemelor.

b) *prevenirea impactului negativ*: anticiparea și prevenirea impactului negativ al proiectelor umane asupra siturilor Natura 2000. Evaluarea oferă o abordare proactivă, identificând potențialele riscuri și propunând măsuri de mitigare înainte ca daunele să devină ireversibile.

c) *asigurarea transparenței decizionale*: luarea deciziilor informate bazate pe date științifice și expertiză. Mecanismul de evaluare adecvată furnizează informații esențiale autorităților competente, societății civile și factorilor de decizie, contribuind la transparență și responsabilitate în procesul decizional.

d) *promovarea dezvoltării durabile*: utilizarea durabilă a resurselor naturale și menținerea echilibrului ecologic, inclusiv asigurarea echilibrului între progresul economic și respectarea limitelor resurselor naturale.

Prin urmare, mecanismul de evaluare adecvată reprezintă un instrument esențial în eforturile Uniunii Europene de a îndeplini angajamentele sale față de conservarea biodiversității și asigurarea unui viitor durabil pentru ecosistemele naturale și comunitățile umane.

În contextul global al conservării biodiversității, siturile naturale protejate reprezintă piloni esențiali în eforturile de menținere a echilibrului fragil al ecosistemelor. În timp ce țările membre ale Uniunii Europene au implementat cu succes rețeaua Natura 2000 pentru a proteja habitatele și speciile sălbatice, statele non-UE au identificat în rețeaua Emerald o continuitate a acestor eforturi cruciale de conservare.

Confirmarea acestui fapt se regăsește în art. 2 al Legii nr. 94/2007 privind rețeaua ecologică [2], conform căruia Rețeaua Emerald este o rețea ecologică compusă din zone speciale de conservare, făcând parte din rețeaua ecologică națională și reprezentând extinderea în țările ne-membre ale Uniunii Europene a rețelei ecologice europene coerente de zone speciale de conservare „NATURA 2000”. Prin urmare, rețeaua Emerald rămâne un element vital în efortul global de conservare a biodiversității, constituind o punte între statele membre UE și cele non-UE pentru promovarea sustenabilității și îngrijirea diversității naturale a planetei.

În Republica Moldova, punerea în aplicare a unui mecanism de evaluare adecvată sau așa cum este prevăzut și intitulat în legislația națională: „evaluarea biodiversității”, a reprezentat o inițiativă legislativă deosebit de semnificativă. Acest mecanism a fost oficial instituit la nivel național la sfârșitul anului 2022 și a devenit funcțional în octombrie 2023, prin transpunerea prevederilor art. 6 alin. (3) și (4) ale Directivei Habitate în cadrul legislației naționale și anume:

- Legea nr. 94/2007 cu privire la rețeaua ecologică;
- Legea nr. 86/2014 privind evaluarea impactului asupra mediului [3];
- Legea nr. 11/2017 privind evaluarea strategică de mediu [4].

Potrivit Legii nr. 94/2007, evaluarea biodiversității este definită drept evaluarea potențialului impact semnificativ al implementării unui document de politici și planificare și al activității planificate asupra siturilor Emerald.

Rezultate

Pentru a pătrunde în inima mecanismului de evaluare a biodiversității, este imperativ să disecăm în detaliu domeniul său de aplicare. Acesta se conturează în lumina prevederilor art. 6 (3) al Directivei Habitate, care furnizează cadrul esențial pentru identificarea și evaluarea planurilor sau proiectelor susceptibile de a afecta semnificativ siturile Natura 2000. Conform acestui articol: *orice plan (document de politici și planificare) sau proiect (activitate planificată) care nu are o legătură directă cu sau nu este necesar pentru gestionarea sitului, dar care ar putea afecta în mod semnificativ aria, per se sau în combinație cu alte planuri sau proiecte, trebuie supus unei evaluări adecvate a efectelor potențiale asupra sitului, în funcție de obiectivele de conservare ale acestuia din urmă [...].*

Una dintre condiționalitățile esențiale stipulate de Directiva Habitate, reglementată de art. 6, alin. (3), prevede că: *„În funcție de concluziile evaluării respective și în conformitate cu dispozițiile alineatului (4), autoritățile naționale competente aprobă planul sau proiectul doar după ce au constatat că nu are efecte negative asupra integrității sitului respectiv și, după caz, după ce au consultat opinia publică.”*

Deși termenul „integritatea sitului” nu este definit în mod explicit de Directiva Habitate, acesta trebuie interpretat în sensul prezenței și funcționalității structurii ecologice a sitului, în conexiune cu funcțiile sale ecologice referitoare la obiectele de conservare ale sitului - tipurile de habitate și/sau speciile pentru care

situl a fost desemnat. Prin urmare, în contextul comun al Uniunii Europene, se consideră că menținerea integrității sitului impune excluderea completă a probabilității unui impact semnificativ advers al unui plan sau proiect specific. Dacă există măcar o probabilitate ca una dintre obiectele de conservare ale sitului să fie afectată în mod negativ de planul sau proiectul respectiv (chiar și în absența unui impact asupra altui obiect de conservare în cadrul aceluși sit), se consideră că integritatea sitului ar fi afectată semnificativ advers, iar planul sau proiectul respectiv nu ar trebui autorizat (cu excepția cazului în care procedura din art. 6 (4) este aplicabilă).

Amplourea evaluării adecvate în conformitate cu Directiva Habitate impune evaluarea efectelor unui plan sau proiect asupra tuturor siturilor teoretic susceptibile de a fi afectate, indiferent de locația activităților planificate (inclusiv dacă acestea se află în interiorul, în apropiere sau la distanță de un sit Natura 2000). Acest proces trebuie să acopere atât efectele directe, cât și cele indirecte ale planului sau proiectului în orice etapă a implementării acestuia.

Din această perspectivă practică, evaluarea adecvată este realizată pentru orice sit Natura 2000 care teoretic ar putea fi afectat de un plan sau proiect, iar în cadrul acestor situri, evaluarea se realizează separat pentru fiecare obiect de conservare al sitului.

Aceeași abordare europeană a fost integrată în legislația națională. Astfel, potrivit art. 12⁶ al Legii nr. 94/2007 cu privire la rețeaua ecologică, obiectul mecanismului de evaluare a biodiversității este multiplu și cuprinde:

(1) *Orice document de politici și planificare, precum și modificările aduse unor astfel de documente care, fie individual, fie în combinație, pot avea un impact semnificativ asupra siturilor Emerald și care nu au o legătură directă cu gestionarea obiectivelor de conservare a siturilor Emerald sau nu sunt necesare pentru gestionarea respectivă sunt supuse evaluării biodiversității, în conformitate cu prevederile Legii nr. 11/2017 privind evaluarea strategică de mediu.*

(2) *Orice activitate planificată, fie individual, fie în combinație cu alte activități, care poate avea un impact semnificativ asupra siturilor Emerald și care nu are o legătură directă cu gestionarea obiectivelor de conservare a siturilor Emerald sau nu este necesară pentru gestionarea respectivă este supusă evaluării biodiversității, în conformitate cu prevederile Legii nr. 86/2014 privind evaluarea impactului asupra mediului.*

Atât din prevederile Directivei Habitate, cât și din prevederile naționale desprindem de asemenea, că documentul de politici și planificare sau activitatea planificată trebuie să fie evaluat împreună cu orice alt document de politici și planificare sau activitatea planificată care ar putea avea efecte cumulative asupra siturilor Emerald. Această cerință reprezintă una dintre aspectele cele mai complexe ale evaluării biodiversității, deoarece datele privind astfel de documente de politici și planificare sau activități planificate lipsesc adesea sau sunt dificil de obținut (este de remarcat că efectele cumulative pot rezulta și din documente de politici și planificare sau activități planificate complet diferite de cele analizate). În plus, în multe situri ale căror condiții nu au fost favorabile de la momentul desemnării lor, este necesar să se ia în considerare fenomenul cunoscut sub denumirea de „preîncărcare”, reprezentând efectele activităților anterioare sau actuale, precum agricultura regulată și fertilizarea, care nu necesită aprobare.

În ceea ce privește activitățile planificate ce pot face obiectul evaluării biodiversității, constatăm faptul că domeniul de aplicare a evaluării biodiversității este mai larg ca cel al evaluării impactului asupra mediului reglementat de Legea nr. 86/2014 privind evaluarea impactului asupra mediului. Astfel, activitățile enumerate în anexele nr.1 și 2 la Legea nr. 86/2014 privind evaluarea impactului asupra mediului trebuie să fie întotdeauna evaluate în ceea ce privește potențialul impact semnificativ asupra siturilor Emerald. Cu toate acestea, **orice altă activitate planificată** care nu este specificată în Legea nr. 86/2014 privind evaluarea impactului asupra mediului trebuie să facă, de asemenea, obiectul evaluării biodiversității, dacă nu poate fi exclusă cu certitudine existența unui impact negativ asupra oricărui sit Emerald. Singura excepție de la această regulă o reprezintă activitățile planificate care au o legătură cu, sau sunt necesare pentru gestionarea siturilor Emerald.

Scopul evaluării biodiversității este de a identifica și de a exclude de la implementare **orice activitate planificată** care poate avea un impact semnificativ asupra sitului Emerald. Necesitatea efectuării evaluării

biodiversității se determină în baza principiului precauției. Aceasta înseamnă că Agenția de Mediu, în calitate de autoritate competentă, trebuie să fie absolut sigură că activitatea planificată în cauză va avea sau nu un impact semnificativ asupra oricărui sit Emerald. Prin urmare, inițiatorii trebuie să furnizeze în cererea lor cât mai multe date și informații posibile, în special, în cazul în care sunt convinși că impactul activității planificate asupra siturilor Emerald este nesemnificativ sau chiar lipsește în totalitate. Atâta timp cât nu se poate exclude, cu certitudine, pe baza unor elemente obiective, că activitatea planificată afectează situl în cauză în mod semnificativ, fie separat, fie în combinație cu alte activități existente și/sau aprobate, Agenția de Mediu este obligată să dispună efectuarea evaluării biodiversității.

În contrast cu proiectele și planurile care intră în domeniul de aplicare a acestei evaluări, există și acele proiecte și planuri care sunt exceptate de la evaluarea biodiversității. Aceste proiecte și planuri reies din prevederile art. 6 (1) al Directivei Habitate, care statuează necesitatea stabilirii unor măsuri adecvate pentru gestionarea siturilor Natura 2000, subliniind esența acestora pentru atingerea obiectivelor de conservare. Astfel, în această perspectivă, proiectele și planurile exceptate de la evaluarea biodiversității sunt cele care:

- a) servesc direct gestionării siturilor și reprezintă inițiative menite să amelioreze starea de conservare a speciilor și habitatelor din interiorul acestora;
- b) sunt strâns legate de gestionare și deși nu au ca scop primar administrarea directă a siturilor Natura 2000, au un impact semnificativ asupra acestora.

În conformitate cu prevederile articolului 6 (1) al Directivei Habitate, gestionarea eficientă a siturilor Natura 2000 impune stabilirea de măsuri adecvate pentru fiecare dintre acestea. Aceste măsuri reprezintă un element esențial pentru atingerea obiectivelor de conservare stabilite pentru fiecare sit în parte.

Este crucial să subliniem că procesul de stabilire a măsurilor de gestionare devine complex sau chiar imposibil în absența unor obiective de conservare bine definite pentru sit. Deși Directiva Habitate a omis să impună explicit această obligație de stabilire a obiectivelor, Comisia Europeană a insistat asupra necesității stabilirii obligatorii a obiectivelor de conservare și măsurilor pentru toate siturile Natura 2000 din Uniunea Europeană [5].

În majoritatea statelor membre ale UE, obiectivele și măsurile corespunzătoare sunt incluse în cadrul planurilor de gestionare a sitului, indiferent de denumirea acestora în țările respective. Aceste documente, elaborate pe termen mediu (de obicei pentru 10 ani), au rolul de a stabili obiectivele și măsurile necesare pentru menținerea pe termen lung a obiectelor de conservare, adică a tipurilor de habitate și specii enumerate în Directivele Habitate și Păsări [6]. Statele membre ale Uniunii Europene au libertatea de a adopta obiective de conservare mai ambițioase, fie în privința extinderii ariei/populației, fie în ceea ce privește calitatea (gradul de conservare) a anumitor tipuri de habitate și specii. Această abordare devine frecventă în situațiile în care obiectul de conservare se află într-o stare precară la momentul desemnării sitului și, pentru asigurarea menținerii sale pe termen lung, se impune o intervenție de restaurare sau îmbunătățire specifică.

Procesul de stabilire a obiectivelor de conservare în termeni de „menținere” sau „îmbunătățire și restaurare” (alături de o cuantificare adecvată) are implicații semnificative asupra procedurii de evaluare a biodiversității. Astfel, planurile de gestionare a sitului care cuprind atât obiective clar definite, cât și măsuri relevante devin documente esențiale pentru gestionarea directă a sitului Natura 2000. Având în vedere că aceste planuri beneficiază de susținerea solidă a datelor științifice și a expertizei specializate, ele exclud necesitatea unei evaluări adecvate suplimentare.

Planurile de gestionare, în special pentru zonele protejate la scară mare, conțin nu doar măsuri care servesc direct gestionării sitului din punctul de vedere al conservării, ci și (multe) alte aspecte adiacente. Adesea, astfel de planuri conțin activități care nu sunt direct necesare pentru gestionarea sitului și uneori au chiar caracter comercial (de obicei exploatarea forestieră în zonele tampon pentru a obține resurse pentru administrația acestor zone protejate sau gestionarea vizitatorilor). Dacă acesta este cazul, acele măsuri ale planului de gestionare care nu servesc direct gestionării conservării a sitului ar trebui să fie supuse evaluării biodiversității, deoarece pot pune în pericol obiectivele de conservare ale sitului. Totodată, reieșind din faptul că planurile de gestionare a siturilor sunt adoptate pe o perioadă mai lungă, ele nu pot anticipa evenimente naturale precum furtuni, alunecări de teren, incendii etc. Dacă un astfel de eveniment are loc, este nevoie să se remedi-

eze consecințele acestor dezastre și să se ia măsuri neplanificate în planul de gestionare, dar necesare pentru menținerea sitului și a obiectelor sale de conservare. Aceasta este a doua categorie de măsuri menționată în prima propoziție a art. 6(3) din Directiva Habitate, care este, de asemenea, scutită de evaluarea biodiversității. Există două abordări distincte în conservarea siturilor Natura 2000/Emerald, conform prevederilor din art. 6(1) și 6(2) ale Directivei Habitate. Aceste dispoziții impun o responsabilitate activă în ceea ce privește aceste situri, cu scopul de a preveni deteriorarea obiectivelor de conservare și de a le menține pe termen lung. Așa cum se specifică în art. 6(1), gestionarea adecvată a siturilor este esențială pentru atingerea obiectivelor de conservare. În paralel, acestea trebuie să fie protejate împotriva intervențiilor care ar putea afecta negativ integritatea lor, conform art. 6(2).

Este crucial să subliniem că interpretarea obișnuită a art. 6(2) ca o obligație de a preveni schimbările naturale în situri, cum ar fi cele rezultate din succesia naturală, de fapt, reprezintă o „dispoziție de tranziție” către o altă responsabilitate, și anume cea reactivă, stipulată în art. 6(3) și 6(4) ale Directivei Habitate. Aceasta constă în evaluarea și prevenirea impactului negativ al planurilor sau proiectelor asupra siturilor, asigurând astfel că intervențiile umane nu compromit integritatea ecologică a acestor zone protejate.

Teoretic, există probabilitatea ca anumite documente de politici și planificare și activități planificate să aibă consecințe semnificativ pozitive pentru un sit. Cu toate acestea, în practică, astfel de cazuri sunt rare, deoarece măsurile propuse pentru restaurarea sau îmbunătățirea siturilor sunt de obicei integrate în planurile de gestionare a sitului Emerald. Este dificil de conceput un document de politici și planificare sau activitate planificată care să nu facă parte din gestionarea sitului și, în același timp, să aducă o îmbunătățire semnificativă sitului. Prin urmare, în practică, procedura de evaluare a biodiversității devine crucială pentru documentele de politici și planificare și activitățile planificate care pot afecta negativ biodiversitatea siturilor Emerald, iar acest proces contribuie la identificarea și gestionarea riscurilor asociate implementării acestora. Activitățile planificate precum extinderea infrastructurii, dezvoltarea urbană sau exploatarea resurselor naturale necesită o atenție specială în cadrul evaluării biodiversității pentru a asigura compatibilitatea lor cu obiectivele de conservare ale siturilor Emerald.

Concluzii

Abordarea diferențiată între documentele de politici și planificare și activitățile planificate exceptate de la evaluarea biodiversității și cele care fac obiectul acestei evaluări reflectă complexitatea și diversitatea implicațiilor asupra biodiversității. Menținerea echilibrului între facilitarea implementării măsurilor de conservare și protecția siturilor Emerald de impactul negativ al unor documente de politici și planificare și activități planificate reprezintă o provocare esențială pentru gestionarea durabilă a acestor situri. Prin evaluarea biodiversității, a documentelor de politici și planificare și activităților planificate, se asigură că intervențiile umane în aceste ecosisteme sensibile sunt în concordanță cu principiile durabilității și conservării pe termen lung.

Referințe:

1. *Directiva 92/43/CEE a Consiliului din 21 mai 1992 privind conservarea habitatelor naturale și a speciilor de faună și floră sălbatică*, publicată în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* nr. L 206 din 22 iulie 1992.
2. *Legea nr. 94/2007 cu privire la rețeaua ecologică*. În: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, 2007, nr. 90–93, art.395. În vigoare din 29.06.2008.
3. *Legea nr. 86/2014 privind evaluarea impactului asupra mediului*. În: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, 2014, nr. 174-177 art. 393. În vigoare din 04.01.2015.
4. *Legea nr. 11/2017 privind evaluarea strategică de mediu*. În: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, 2017, nr. 109-118 art. 155. În vigoare din 07.04.2018.
5. *Comunicarea Comisiei. Evaluarea planurilor și proiectelor în raport cu siturile Natura 2000 Orientări metodologice privind dispozițiile articolului 6 alineatele (3) și (4) din Directiva 92/43/CEE privind habitatele. (2021/C 437/01)*. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:52021XC1028\(02\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:52021XC1028(02)).
6. *Directiva 79/409/CEE a Consiliului din 2 aprilie 1979 privind conservarea păsărilor sălbatice*, publicată în *Jurnalul Oficial al Uniunii Europene* L103 din 25 aprilie 1979.

Date despre autor:

Irina PUNGA, doctorand, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-6004-9338

E-mail: iri.punga@gmail.com

Prezentat la 01.04.2024

CZU:581.132:634.13:634.22

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_18](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_18)

INFLUENȚA BIOSTIMULATORULUI REGLALG ȘI MICROELEMENTELOR ASUPRA PRODUCTIVITĂȚII FOTOSINTETICE A SOIURILOR DE PRUN DE SELECȚIE AUTOHTONĂ ȘI STRĂINĂ

*Alina GÎSCĂ,**Universitatea de stat din Moldova*

Cercetările efectuate cu plantele de prun în condiții controlate (lizimetre, Institutul de Genetică Fiziologie și Protecția Plantelor) cu soiuri de selecție locală și străină în anul 2023 au relevat efectul stimulator în rezultatul tratamentelor cu soluții ce conțin Reglalg și amestec de microelemente – B, Zn, Mn, Mo privind formarea și activitatea aparatului fotosintetic ce a contribuit la realizarea potențialului producțional al plantelor.

Lucrările în această direcție cu plante de prun de șase ani au ca scop de a scoate în evidență cei mai informativi indicatori ai fondului pigmentar și activității fotosintetice a diferitelor soiuri de prun sub influența exogenă a substanțelor biologice active și microelemente.

Cuvinte-cheie: *pomi de prun, biostimulator Reglalg, microelemente B, Zn, Mn, Mo, pigmenți fotosintetici, potențial fotosintetic, index clorofilic, frunze.*

THE INFLUENCE OF THE REGLALG BIOSTIMULATOR AND MICRO ELEMENTS ON THE PHOTOSYNTHETIC PRODUCTIVITY OF NATIVE AND FOREIGN PLUM VARIETIES

The research carried out with plum plants under controlled conditions (lysimeters, Institute of Genetics, Physiology and Plant Protection) with varieties of local and foreign selection in 2023 revealed the stimulatory effect as a result of treatments with solutions containing Reglalg and a mixture of trace elements - B, Zn, Mn, Mo regarding the formation and activity of the photosynthetic apparatus that contributed to the realization of the production potential of plants.

The work in this direction with plum plants for six years aims to highlight the most informative indicators of the pigment background and photosynthetic activity of different plum varieties under the exogenous influence of biologically active substances and microelements.

Keywords: *plum trees, Reglalg biostimulator, trace elements B, Zn, Mn, Mo, photosynthetic pigments, photosynthetic potential, chlorophyll index, leaves.*

Introducere

Utilizarea diversilor regulatori naturali de creștere în producția vegetală este unul dintre principalele domenii de cercetare în fiziologie pentru optimizarea productivității plantelor. Ele prezintă o gamă largă de activitate fiziologică și asigură metabolismul plantelor la un nivel stabil, indiferent de efectele factorilor de mediu nefavorabili [1].

Una dintre cele mai importante modalități de a obține o productivitate și un randament ridicat este cercetarea începută în ultimii ani asupra influenței compușilor naturali biologici activi asupra creșterii și dezvoltării plantelor fructifere [2].

Este cunoscut faptul că utilizarea regulatorilor de creștere naturali și sintetici în anumite perioade de ontogeneză a plantelor poate asigura implementarea optimă a relațiilor dintre creștere, fotosinteză, respirație și productivitate maximă. Obiectivul cercetării reflectate în articol a fost acela de a studia aparatul fotosintetic ca unul dintre criteriile obiective de evaluare a influenței biostimulatorului vegetal Reglalg, izolat din biomasa de alge din genul Spirogira [3], asupra performanței procesului de producție a plantelor de prun [4]. Relația unor indicatori fotosintetici importanți precum conținutul de clorofilă, indicele de clorofilă și potențialul fotosintetic și procesul de producție a fost studiată mai mult pe plantele anuale. Studiile au arătat capacitatea mare de răspuns a plantelor de prun la tratamentul cu substanța biologic activă Reglalg

și microelementele studiate, stimularea metabolismului, creșterea, acumularea de pigmenți. S-a evidențiat sincronicitatea sezonieră și o strânsă corelație între aceste procese și indicele de clorofilă, potențialul de clorofilă și productivitatea netă a fotosintezei, ceea ce asigură un ritm uniform de creștere, dezvoltare și productivitate a plantelor. În perioada proceselor intensive de creștere a plantelor, creșterea lăstarilor și extinderea suprafeței frunzelor, când aparatul foliar devine un donor deosebit de activ pentru cultivarea fructelor, s-a manifestat cel mai clar efectul stimulator al preparatului biologic activ utilizat. Analiza literaturii și a datelor noastre arată că utilizarea regulatorilor naturali este necesară ținând cont de caracteristicile creșterii și dezvoltării unor specii și soiuri specifice de plante fructifere[5].

Materiale și metode

Obiect de studiu au servit 4 soiuri tardive de prune: soiurile locale Udlinennaia și Superprezident și soiurile de selecție străină Stanley și Prezident. După înflorire, în perioada de creștere intensivă a lăstarilor anuali, și respectiv, a formării potențialului fotosintetic, plantele au fost tratate conform următoarei scheme: cu soluție de 0,05 % a produsului Reglalg împreună cu o soluție apoasă de 0,05 % dintr-un amestec de săruri de microelemente (B, Zn, Mn, Mo). În calitate de martor au servit plantele stropite cu apă.

După două săptămâni de la tratare și în continuare în perioada de vegetație în fazele principale de dezvoltare a plantelor au fost determinați cei mai importanți indici: dinamica formării potențialului fotosintetic (suprafeței foliare și masei specifice a frunzelor și conținutului de pigmenți în frunze).

Datele obținute au fost prelucrate statistic (Programa EXEL).

Rezultatele cercetării

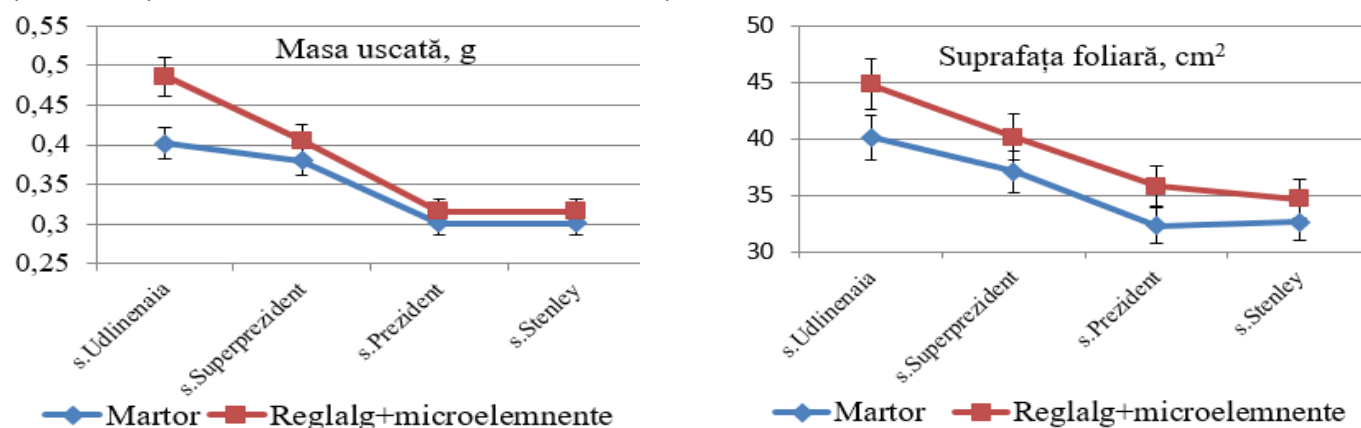
La începutul perioadei de vegetație a anului 2023 a fost evidențiat efectul ulterior al tratamentului foliar efectuat în anul precedent (2022) asupra creșterii plantelor. A fost stabilit efectul pozitiv al preparatului și microelementelor la formarea lăstarilor anuali constatând o majorare semnificativă a numărului lor (tab. 1). Acest lucru a afectat starea și viabilitatea plantelor de prune studiate. După cum se observă din datele prezentate influența este diferită în dependență de soi ce prezintă importanța reacției genotipului.

Tabelul 1. Numărul lăstarilor la plantele de prune, buc. a. 2023.

Soi / Variant	s. Udlinennaia	s. Superprezident	s. Prezident	s. Stanley
Martor	70 ± 3,5	39 ± 1,6	38 ± 1,9	46 ± 1,8
Reglalg+microelemente	95 ± 5,7	61 ± 4,2	65 ± 3,2	49 ± 1,8

Cât privește dinamica creșterii lăstarilor în lungime și în diametru, precum și numărul de frunze de pe un lăstar sunt identice pentru toate soiurile și variantele studiate. Suprafața totală a frunzelor este mai mică la martor, fiind mai pronunțată la soiurile locale în comparație cu cele de selecție străină (fig. 1).

Fig. 1. Comparația influenței efectului Reglalg în amestec cu microelemente asupra masei uscate și suprafeței foliare medii în perioada de vegetație la diferite soiuri a plantelor de prune.



Este stabilit faptul că condițiile climaterice au o influență considerabilă asupra creșterii și productivității plantelor. În acest an, în lunile iunie-iulie temperatura medie din timpul zilei a fost ceva mai mare față de cea normală și cantitatea de precipitații mai joasă decât norma, ce a cauzat scăderea suprafeței foliare a frunzelor și respectiv a acumulării biomasei a plantelor în perioada de vegetație în care au servit ca obiect de studiu. Compararea indicelui masei uscate a frunzei (g) la soiurile de prun în perioada de vegetație a anului 2023 a arătat o creștere semnificativă a acestei mase la soiul Udlinennaia în comparație cu alte soiuri de prun (fig.1). Influența Reglalgului în amestec cu microelementele la acest indice la soiul Udlinennaia a fost în medie 132% față de martor, în timp ce la celelalte soiuri aceasta valoare a fost de 105-106%.

În aprecierea situației în plantații și prognozarea recoltei se utilizează astfel de indici, precum indexul foliar și potențialul fotosintetic [6]. Indexul suprafeței foliare caracterizează mărimea aparatului fotosintetic, suprafața frunzelor (m^2) în raport la $1 m^2$ de sol. S-a stabilit că la plantele de prun de diferite soiuri raportul depinde de numărul de lăstari și este la martor 2,6-4,5 m^2 și la tratate 7,0-5,1 m^2 (tab. 2). Soiurile locale Udlinennaia și Superprezident s-au evidențiat prin valori mai ridicate a indexului foliar.

Tabelul 2. Indexul foliar la diferite soiuri de prun sub influența Reglalgului în combinație cu microelemente, $m^2 \cdot m^{-2}$, în perioada de vegetație a anului 2023.

Soi / Variant	s. Udlinennaia	s. Superprezident	s. Prezident	s. Stenley
Martor	4,48 ± 0,23	2,54 ± 0,10	1,59 ± 0,09	2,59 ± 0,13
Reglalg+microelemente	7.16 ± 0,35	5,12 ± 0,28	3,39 ± 0,16	2,83 ± 0,14

În același raport a fost stabilit și indexul potențialului fotosintetic la plantele în control așa și la variantele tratate, care se corelează îndeaproape [6, 8] atât cu productivitatea biologică, cât și cea economică a plantelor (tab. 3).

Tabelul 3. Potențial fotosintetic la diferite soiuri de prun sub influența Reglalgului în combinație cu microelemente, $million m^2 \cdot 10^9 zi \cdot ha^{-1}$, în perioada de vegetație a anului 2023.

Soi / Variant	s. Udlinennaia	s. Superprezident	s. Prezident	s. Stenley
Martor	2,26	1,34	0,89	1,41
Reglalg+microelemente	3,73	2,85	1,82	1,58

Unul din indicii principali ce caracterizează influența condițiilor externe asupra creșterii și dezvoltării plantelor este conținutul pigmentilor fotosintetici în frunze. A fost stabilit, că dinamica acumulării pigmentilor fotosintetici în timpul perioadei de vegetație indiferent de soi și variante a fost identică. În ceea ce privește conținutul mediu de clorofilă în frunzele pomilor de prun tratate și martor diferențele fiind de 7 -15 % și după conținutul de caratenoizi 1 – 5 % (fig. 2).

În perioada caldă a vegetației din iunie-iulie, concentrația pigmentilor în frunze scade, însă, la plantele tratate cu Reglalg în combinație cu microelemente, acest proces este mai puțin pronunțat decât la martor, datorită efectului protector al tratamentului.

Există o legătură cunoscută între parametri atât de importanți ai aparatului fotosintetic precum conținutul de clorofilă, indicele de clorofilă, potențialul fotosintetic al clorofilei cu un indicator cantitativ al productivității fotosintetice [6, 8]. Indicele de clorofilă, care caracterizează conținutul total de clorofilă la o plantă sau plantație la un anumit moment de dezvoltare, a fost calculat în g de clorofilă la 1 plantă, sau în g de clorofilă pe m^2 de plantație[9].

Conținutul total de clorofilă la o plantă într-o anumită perioadă de vegetație caracterizează potențialul fotosintetic. Acest indicator s-a evidențiat mai semnificativ la diferitele soiuri de prune atunci când au fost tratați cu Reglalg în combinație cu microelemente (fig. 3). Soiurile autohtone Udlinennaia și Superprezident sunt mai superioare față de soiurile străine cu 30-50 %, ceea ce în comun contribuie la stimularea acestor procese, inclusiv ale aparatului fotosintetic, ce contribuie la optimizarea productivității fotosintetice a plantelor de prun.

Fig. 2. Acțiunea Reglalgului în combinație cu microelemente asupra conținutului de pigmenți în frunzele pomilor de prun, datele medii în perioada de vegetație a. 2023, (mg·dm⁻²).

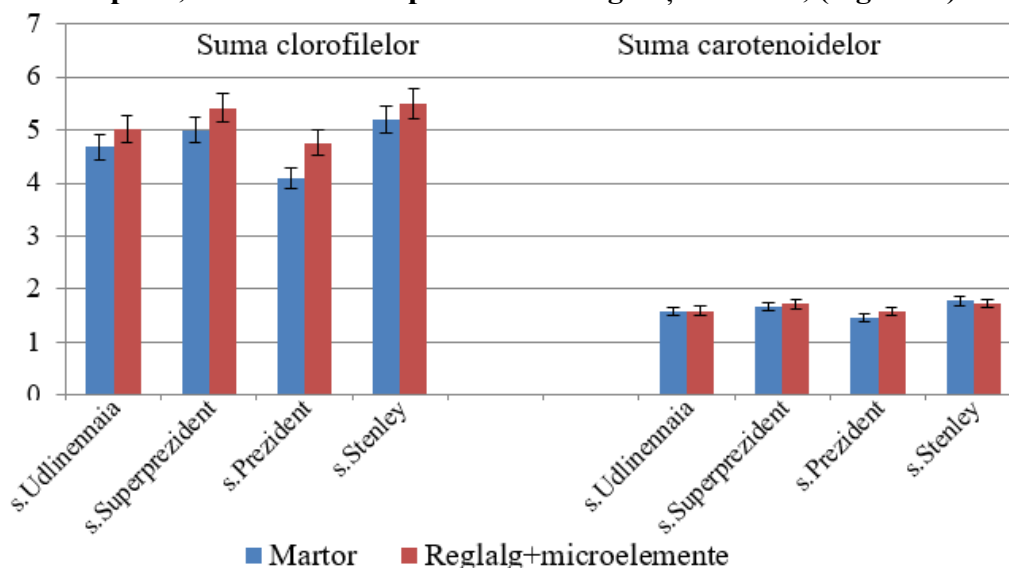
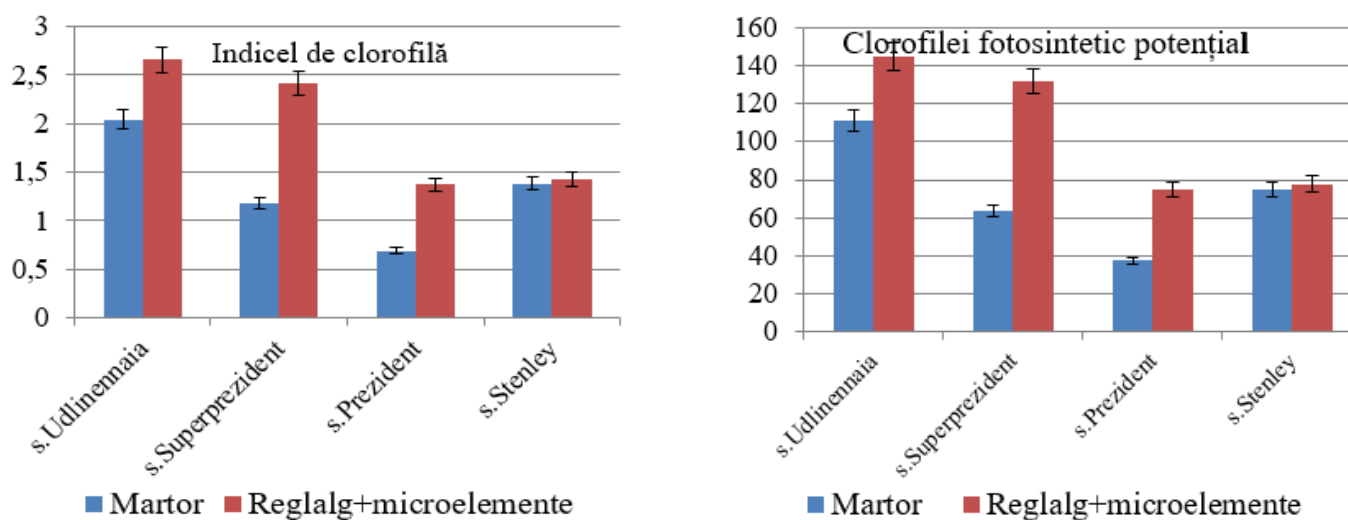


Fig. 3. Influența Reglalgului și microelementelor asupra indexului de clorofilă 01.08.23 (g clorofilă·plantă⁻¹) și potențialului fotosintetic (g de clorofilă la o plantă în perioadă 109 zile de vegetație 15 aprilie - 01 august anul 2023) în frunzele pomilor de prun, anul 2023.



Intensitatea activității fotosintetice a plantațiilor, precum și rezultatul indicat al acțiunii Regalg împreună cu microelementele asupra activității fotosintetice a plantelor de prun a fost evaluată prin valoarea productivității fotosintetice netă a frunzelor.

Dinamica productivității fotosintetice netă a frunzelor în toate plantele de prun studiate sunt de același tip. Ca și masa și suprafața frunzelor, productivitatea fotosintetică a frunzelor din prima jumătate a lunii iunie este ridicată la cea tratată, iar sub influența Reglalgului în combinație cu microelementele acestea sunt superioare față de martor în medie cu 15-20%, după care treptat scade în perioada uscată din iulie (Fig. 5).

Valoarea medie a productivității netă a fotosintezei pentru întregul sezon de vegetație la toate soiurile reflectă efectul stimular al Reglalgului în combinație cu microelemente asupra activității fotosintetice a plantelor studiate.

Soiurile locale s-au distins printr-o productivitate fotosintetică netă mai mare la tratarea cu Regalg în combinație cu microelemente și a fost de 111% pentru varianta tratată la soiul Udlinennaia și 108% la soiul Superprezident, în timp ce la plantele de prune introduse această valoare a fost de 3 - 4% [6, 8].

Fig. 5. Efectul SBA Reglalg și microelemente asupra fotosinteza netă a frunzelor pomilor de prun s. Udlinennaia în perioadă vegetației a/2023.

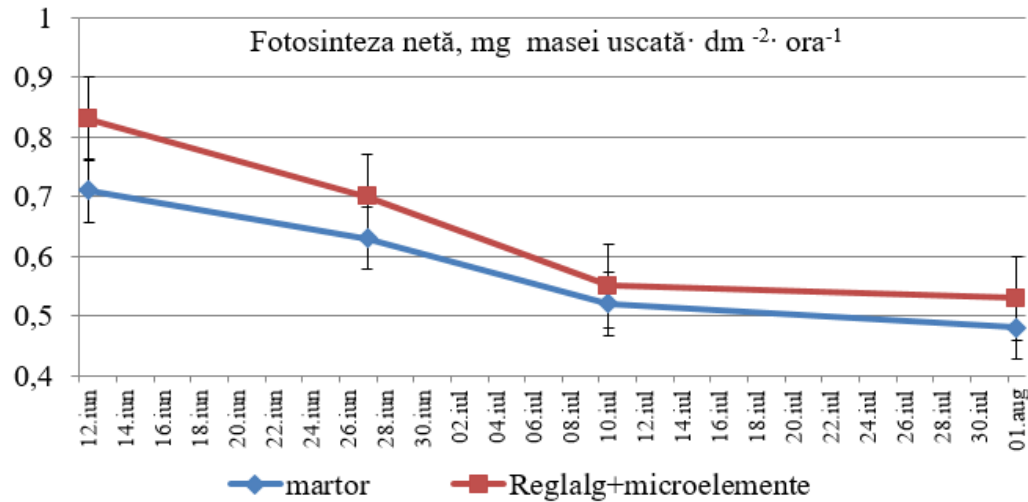
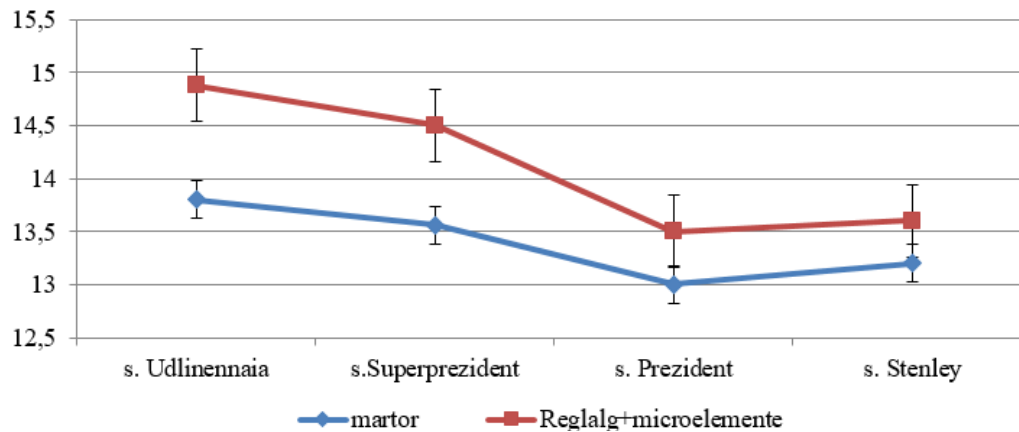


Fig. 6. Influența SBA Reglalg și microelemente asupra fotosintezei netă la diferite soiuri de prun tratate cu preparatul Reglalg în complex cu microelemente, datele medii în perioada vegetație (15 aprilie - 01 august anul 2023), mg masei uscată · dm⁻² · ziua⁻¹.



Concluzie

Analiza rezultatelor obținute argumentează influența considerabilă a preparatului Reglalg în complex cu microelemente B, Zn, Mn, și Mo asupra proceselor metabolice ce caracterizează activitatea sistemului producțional la plantele de prun. A fost stabilită influența asupra indicilor principali ai aparatului fotosintetic: acumularea pigmentilor, indexul clorofilic, potențialul fotosintetic și activitatea enzimelor cheie catalaza și peroxidaza în procesul de oxido-reducere. A fost stabilită reacția diferitor soiuri la plantele de prun. Soiurile de selecție locală în comparație cu cele de selecție străină au avut o productivitate mai mare în rezultatul influenței Reglalg în complex cu microelemente. De asemenea, a fost stabilită reacția diferitor soiuri la condițiile de stres a factorului de secetă în perioada anului 2023. Dinamica formării și funcționalitatea potențialului fotosintetic în perioada vegetației la diferite soiuri în majoritatea cazurilor nu se deosebește.

Referințe:

1. ШЕВЕЛУХА, В. Г. *Современные проблемы гормональной регуляции живых систем и организмов // Регуляция роста и развития растений*. Тез. докл. IV межд. конфер. М, 1997, с. 3-4.
2. BABUC, V. *Pomicultura*. Chișinău: T. Centrală, 2012, 664 p.
3. *The Certification AA No.0448 for utilization in the Republic of Moldova agriculture of the stimulator of growth Reglalg1, The State Center for Certification of Chemical and Biological Means of Plant Protection and Growth Regulators*, 12 February 2003.

4. DASCALIUC, A., VOINEAC, V., RALEA, T. *Native substanses in plant protection* // Bul. AȘM, *Științele vieții*, 2006, Nr. 3(300), p. 46-51.
5. ТИТОВА, Н., БУЖОРЯНУ, Н., ШИШКАНУ, Г., СКУРТУ, Г. *Влияние природных биорегуляторов на фотосинтетическую деятельность растений груши*, Институт генетики, физиологии и защиты растений.
6. НИЧИПОРОВИЧ, А. А. *Физиология фотосинтеза и продуктивность растений* // *Физиология фотосинтеза*. М.: Наука, 1982, с.7-33.
7. ТАРЧЕВСКИЙ, И. А., АНДРИАНОВА, Ю. Е. *Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы*. *Физиология растений*, 1980, т. 27, вып. 2, с. 341-347.
8. АНДРИАНОВА, Ю. Е., ТАРЧЕВСКИЙ, И. А. *Хлорофилл и продуктивность растений*. Москва: Наука, 2000, 135 с.
9. ШЛЫК, А. А. *Определение хлорофилов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев*.// *Биохимические методы в физиологии растений*. Москва: Колос, 1971, с. 154-170.

Notă: Cercetarea a fost realizată în cadrul proiectului Programului de Stat 20.80009.5107.18 „Formarea direcționată a calității și sistemului imunitar la fructele soiurilor tardive de prun preconizate păstrării de lungă durată”, finanțat de Agenția Națională pentru Cercetare și Dezvoltare.

Date despre autor:

Alina GÎSCĂ, cercetător științific, Institutul de genetică, fiziologie și protecția plantelor, Universitate de stat din Moldova.

ORCHID: 0009-0001-8770-673X

E-mail: alina.gisca@sti.usm.md

Prezentat la

CZU: 556.51(282.247.31)(478):551.583

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_19](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_19)

CARACTERIZAREA CONDIȚIILOR GEOGRAFICE ALE BAZINULUI RÂULUI BOTNA ÎN RAPORT CU SCHIMBĂRILE GLOBALE

*Aliona ISAC,**Serviciul Hidrometeorologic de Stat*

Conform metodologiei de lucru în geografie, lucrarea a fost elaborată în mai multe etape, combinate pe parcurs, respectând următoarea ordine: etapa documentară, etapa de teren și etapa de laborator. În cadrul cercetării temei date au fost utilizate rapoarte, atlase, cât și datele statistice din baza de date a Serviciului Hidrometeorologic de Stat, Biroul Național de Statistică și altele. Bazinul râului Botna, ca afluent al Nistrului, este totalmente pe teritoriul Republicii Moldova și se caracterizează prin grad înalt de valorificare. Respectiv, acest bazin prezintă și un grad sporit de vulnerabilitate în contextul interacțiunii proceselor globale, regionale și a celor locale.

Cuvinte-cheie: bazin hidrografic, râu, condiții fizico-geografice, relief, climă, soluri.

CHARACTERIZATION OF THE GEOGRAPHICAL CONDITIONS OF THE BOTNA RIVER BASIN IN RELATION TO GLOBAL CHANGES

According to the working methodology in geography, the work was developed in several stages, combined along the way, respecting the following order: the documentary stage, the field stage and the laboratory stage. In the research of the given theme, reports, atlases, as well as statistical data from the database of the State Hydrometeorological Service, the National Bureau of Statistics and others were used. The Botna river basin, as a tributary of the Dniester, is entirely within the territory of the Republic of Moldova and is characterized by a high degree of capitalization. Respectively, this basin presents an increased degree of vulnerability in the context of the interaction of global, regional and local processes.

Keywords: hydrographic basin, river, physical-geographical conditions, relief, climate, soils.

Introducere

Valorificarea și managementul durabil al resurselor acvatice reprezintă temeiul pentru supraviețuirea umană. Actualmente problema păstrării apelor naturale a devenit o problemă globală.

Problema cercetării resurselor de apă afectează toate laturile problemelor socio-economice ale Republicii Moldova. În acest context este necesar un studiu cu privire la funcționarea ecosistemelor acvatice, determinarea ponderei factorilor naturali și antropici, care afectează structura hidrobiocenozelor și calitatea apelor.

Râul Botna este unul dintre râurile semnificative din Republica Moldova, contribuind la rețeaua hidrologică și peisajul geografic al țării. Prin urmare, bazinul râului Botna, ca afluent de dreapta al Nistrului, este totalmente amplasat geografic pe teritoriul Republicii Moldova și se caracterizează printr-un grad înalt de valorificare. Respectiv, acest bazin prezintă și un grad sporit de vulnerabilitate în contextul interacțiunii proceselor globale, regionale și a celor locale.

Înțelegerea schimbărilor în evoluția scurgerii într-o anumită regiune, în acest caz, bazinul râului Botna, este crucială pentru factorii de decizie locali și regionali, administratorii resurselor de apă și agențiile de mediu. O cercetare minuțioasă, poate oferi suport în luarea deciziilor legate de valorificarea apei, dezvoltarea infrastructurii și pregătirea pentru eventuale dezastre naturale, inundații, secete etc.

Această cercetare poate ajuta factorii de decizie și comunitățile să planifice și să se adapteze la condițiile de mediu în schimbare. Constatările din studiu pot conduce la elaborarea unor strategii pentru atenuarea impactului negativ al schimbării evoluției scurgerii râului Botna, cum ar fi implementarea unor practici mai bune de gestionare a apei, îmbunătățirea infrastructurii și dezvoltarea strategiilor locale de adaptare, în special la climă.

Metode și materiale aplicate

Obiectivele cercetării au fost realizate prin utilizarea metodologiei clasice pentru studii geografice, metodele principale fiind: cartografică, inductivă, a analizei, sintezei, comparativă, istorică, statistică ș.a. În același timp, au fost utilizate rapoarte periodice, atlase, cât și datele statistice din baza de date a Serviciului Hidrometeorologic de Stat, Biroul Național de Statistică și alte lucrări publicate. Din arhiva SHS au fost analizate date factologice și materiale privind precipitațiile în bazinul râului Botna, de la postul hidrometric Căușeni, pentru perioada sfârșitul sec. XX - începutul sec. XXI. Baza de date colectată a fost structurată în cadrul programului Microsoft Excel, apoi datele în formă tabelară au fost sistematizate și analizate. În prelucrarea statistică a acestei informații și în prezentarea spațio-temporală s-au utilizat și alte programe, cum ar fi ArcGIS, Qgis etc [1].

Din punctul de vedere al metodologiei, lucrarea a fost elaborată în mai multe etape, combinate pe parcurs, respectând următoarea ordine: etapa de documentare, etapa de teren și etapa de laborator (cartografiere, analiză și interpretare a datelor colectate) [2].

Rezultate obținute și discuții

Factorul morfologic

Relieful, cu caracteristicile sale, altitudini, energie, pante etc., influențează modul de scurgere a apelor și este unul dintre factorii importanți care formează scurgerea de suprafață. Cunoașterea principalelor particularități ale formelor de relief din bazinul de recepție înlesnește analiza și înțelegerea regimului scurgerii râurilor ca factor ce participă în formarea resurselor de apă dintr-un teritoriu dat. De asemenea, de caracteristicile reliefului depind și pierderile scurgerii – prin retențiile de suprafață, de exemplu.

Bazinul râului Botna este situat în partea centrală a Republicii Moldova și trece prin două regiuni fizico-geografice: Podișul Codrilor și Câmpia Bâcului Inferior, ceea ce determină ca partea superioară a bazinului să fie caracterizată prin relief mai accidental și fragmentat, iar cea inferioară prin relief de câmpie. Râul Botna trece prin 3 raioane administrative: Strășeni, Ialoveni și Căușeni și este unul din râurile interne ale Republicii Moldova și afluent de dreapta a fluviului Nistru.

Râul își începe cursul său în apropierea satului Stejăreni, raionul Strășeni, la aproximativ 2 km N-E de această localitate la o altitudine de 298 m [3] și se revărsă în râul Nistru la o altitudine de aproximativ 8,18 m, baza erozională constituind 316,21 m. Are o formă alungită de la nord-vest spre sud-est (fig. 1). Bazinul râului ocupă o suprafață de 1517,18 km² și se mărginește în partea sa inferioară cu lunca râului Nistru, iar altitudinea minimală a râului constituie 8,18 m. Râul Botna are o lungime de 152 km cu un grad mijlociu de înclinație de 0,24°. Fragmentarea orizontală a teritoriului este foarte puternică și constituie 0,67 km/km² [4].

Rețeaua hidrografică din bazinul râului Botna este relativ bine dezvoltată (0,55 km/km²) și include 273 de râuri și râulețe cu o lungime totală de 841 km. Predomină râurile cu lungimea sub 10 km (263 de râuri), șapte râuri au lungimi de 10-20 km și unul singur are 23 km. Toate acestea se varsă în Botna - râul colector. Afluenții principali ai Botnei sunt Botnișoara, Baccialia, Căinar, Larga, Valea Puhoiului și Valea Văratului [5]. Aceste râuri și râulețe, alături de precipitațiile atmosferice, reprezintă resursele principale de apă din bazinul râului Botna și alcătuiesc scurgerea acestuia. Regimul hidrologic al bazinului este monitorizat de către Serviciul Hidrometeorologic de Stat, la postul hidrometric Căușeni, orașul Căușeni. Postul este situat în partea inferioară a bazinului. Observațiile asupra regimului hidrologic al râului Botna se efectuează din 1949 până în prezent, cu mici întreruperi. Astfel, în perioada 1949-2020 înregistrările arată că media multianuală a debitului este de 0,61 m³/s [6]. Stratul scurgerii medii multianuale a râului Botna constituie 21 mm. În cadrul bazinului Botna au fost evidențiate 266 lacuri cu suprafața de 1618,91 ha dintre care cele mai mari sunt lacurile Costești de 213 ha, Rezeni (203 ha), Rezeni 1 (84 ha) și Ulmu (74 ha). Cele mai mari bazine hidrografice a afluenților r. Botna sunt: r. Botnișoara, ce se caracterizează cu 191 obiecte acvatice pe o suprafață de 258 ha și o lungime totală de 103387 m; r. Puhoi - 52 obiecte - 63 ha - 51450 m corespunzător; r. Horodca cu 29 obiecte de 44 ha suprafață și - 26387 m lungime totală, r. Căinari (34 - 24 ha - 25430 m, r. Larga (93 - 186 ha - 56378 m), r. Baccealia (116 - 82 ha - 27572 m) și altele [4, 9, 10].

Fig. 1. Poziția fizico-geografică a bazinului râului Botna.

Sursa: Secția cercetări aplicative, Serviciul Hidrometeorologic de Stat.

Factorul climatic

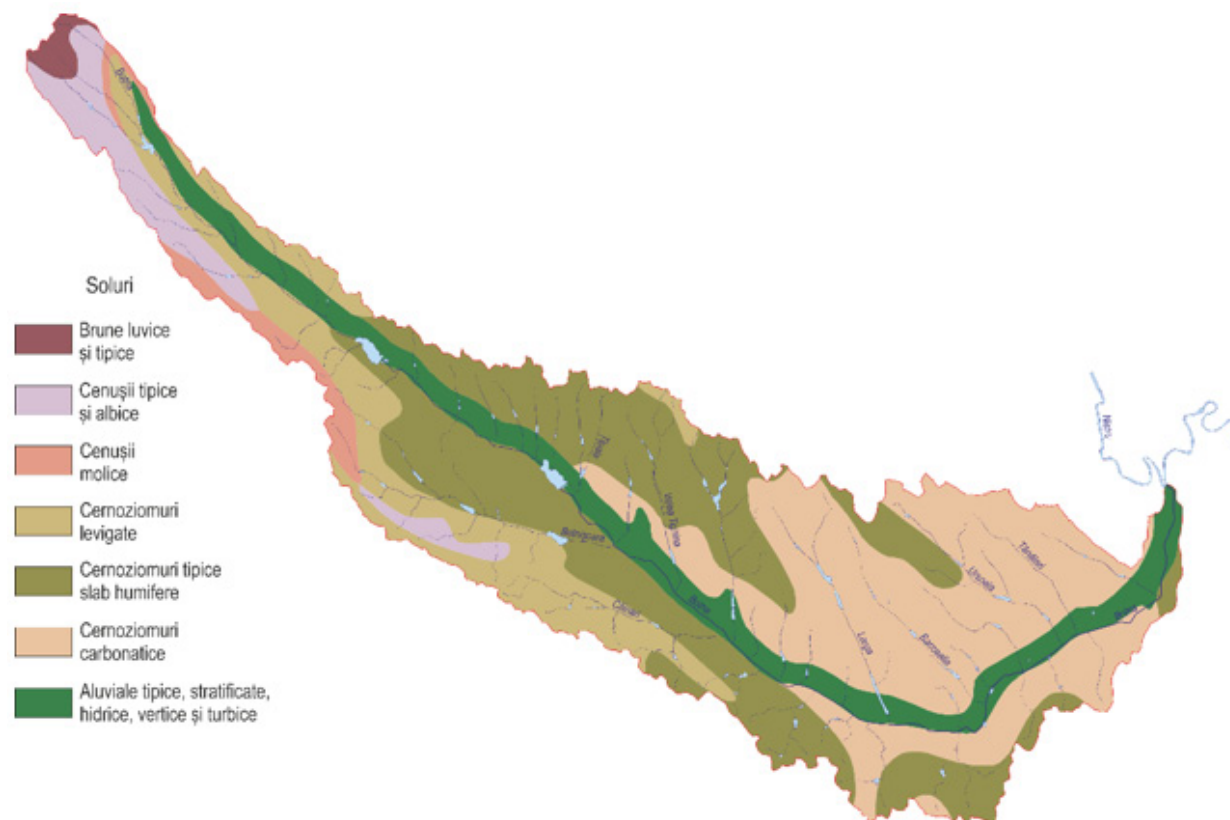
Bazinul hidrografic Botna se caracterizează prin climă temperat-continentală, cu ierni scurte, blânde și cu puțină zăpadă, cu veri lungi și umiditate redusă.

Temperatura medie anuală este de 10°C. Cele mai ridicate temperaturi sunt înregistrate în lunile de vară și sunt egale în medie cu 20-21°C, iar temperaturi puțin sub 0°C sunt evidențiate în lunile de iarnă [7]. Pe parcursul lunilor calde ale anului sunt frecvente ploile torențiale, care, în unii ani (1948, 1969, 1994, 2008, 2010) au provocat viituri puternice. Specificul condițiilor climatice ale bazinului este determinat de procesele și factorii geografici de climatogeneză (dinamica maselor de aer, radiația solară, relieful, influența bazinului Mării Negre, vegetația). Procesele și factorii geografici de climatogeneză determină caracteristicile temporale și repartiția spațială a elementelor climatice, în primul rând a precipitațiilor atmosferice și temperaturii aerului. Precipitațiile atmosferice sunt elementul cel mai important în formarea rezervelor de apă din spațiul bazinului hidrografic, structurii rețelei hidrografice și, în anumită măsură, de calitatea apelor.

Factorul pedologic

La baza bazinului sunt roci terțiare reprezentate de calcare și nisipuri. Solurile din bazinul hidrografic Botna fac parte dintr-o gamă largă, având diverse caracteristici fizico-chimice. Această diversitate se datorează specificului componentelor de mediu, a elementelor climatice, structurii geologice, vegetației și reliefului [8]. Așadar, predomină solurile de cernoziom (64,7% din total), urmate de solurile aluviale (11,9%), solurile cenușii (10,9%), solurile deluviale (4,12%) și solurile brune (1,7%) (fig. 2).

Fig. 2. Tipurile de sol din bazinul râului Botna.



Sursa: *Atlas Republica Moldova, Geografia fizică, clasa VIII-a.*

În general, condițiile geografice din bazinul râului Botna reflectă un peisaj divers, modelat de procese naturale și activități antropice, evidențiind importanța strategiilor de management integrat pentru a asigura sănătatea și durabilitatea acestuia pe termen lung.

Concluzii

1. Râul Botna curge în întregime pe teritoriul Moldovei. Are originea în partea central-nordică a țării și traversează Podișul Codrilor și Câmpia Bâcului Inferior, revărsându-se în râul Nistru.
2. Râul Botna are o lungime de aproximativ 152 de kilometri. Este alimentat de mai mulți afluenți atât semnificativi, cât și minori, care contribuie la debitul și bazinul de drenaj al acestuia.
3. Regimul de curgere al râului Botna este influențat de variațiile sezoniere ale precipitațiilor, topirea zăpezii și aportul de apă subterană. La fel ca alte râuri, se confruntă cu fluctuații ale debitului pe parcursul anului, cu valori mai mari în timpul dezghețului de primăvară și a anotimpurilor ploioase.
4. În bazinul râului Botna predomină solurile de cernoziom (64,7% din total), urmate de solurile aluviale (11,9%), solurile cenușii (10,9%), solurile deluviale (4,12%) și solurile brune (1,7%).
5. Un studiu aprofundat a proceselor, care influențează starea condițiilor de mediu din bazinul râului Botna, va fi un suport important pentru realizarea politicilor economice pentru autoritățile locale din acest spațiu geografic.

Referințe:

1. BUNDUC, T. *Relații pedo-geomorfologice în bazinul hidrografic Larga: (Colinele Tigheciului)*, Ministerul Educației și Cercetării, Institutul de Ecologie și Geografie. – Chișinău: 2021 (Impressum SRL). – 164 p., ISBN 978-9975-62-440-4.
2. COTEȚ, P. V., NEDELCU, E. P. *Principii, metode și tehnici moderne de lucru în geografie*. Editura Didactica și pedagogică, București, 1976.
3. BEJAN, I., ANGHELUȚA, V., ȚÎȚU, P., BACAL, P., STRATAN, L., IURCIUC, B. *Planul de gestionare a bazinului hidrografic al râului BOTNA*, Chisinau, 2020.
4. ROZLOGA, I., PARAȘCIUC, V. *Caracteristica hidrografică a bazinului râului Botna*, *Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie* al AȘM, Nr. 1, 2014.
5. CAZAC, V., MIHAILESCU, C., BEJENARU, Gh., GÂLCĂ, G. *Apele de suprafață*, Vol. I, Ch.: Î.E.P. Știința, 2007, 248 p.
6. *Fondul de date Hidrometeorologice al Serviciului Hidrometeorologic de Stat*.
7. NEDEALCOV, M., RĂILEANU, V., CHIRICĂ, L. ș.a. *Resursele climatice ale Republicii Moldova*, Acad. de Științe a Moldovei, Ministerul Mediului al Rep. Moldova, Inst. de Ecologie și Geogr. – Ch.: Î.E.P. Știința (în colaborare cu editura Strih SRL), 2013 (Combinatul Poligr.) – 76 p.
8. URSU, A. *Solurile Moldovei*. Ch.: Î.E.P. Știința, 2011, 323 p.
9. ROZLOGA, I., FILIPCIUC, V., JELEAPOV, A., *Pretabilitatea la irigație a apelor de suprafață din raionul Ialoveni*, Institutul de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului „Nicolae Dimo”, Științe Agricole, Akademos 4/2017.
10. JELEAPOV, A., KRALISCH, S., FINK, M.. *Evaluarea impactului modificărilor utilizării terenurilor asupra formării viiturilor pluviale în bazinul râului Botna*, Institutul Național de Hidrologie și Gospodărire a Apelor Conferința științifică anuală, 2-4 noiembrie 2015.

Date despre autor:

Aliona ISAC, Serviciul Hidrometeorologic de Stat.

ORCID:

E-mail: isacaliona0224@gmail.com

Prezentat la 15.03.2024

CZU: 634.11:631.563

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_20](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_20)

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПЛОДОВ ЯБЛОНИ

Валентина СВЕТЛИЧЕНКО,

Молдавский Государственный Университет

В статье представлены результаты исследований плодов яблони: поздних сортов Idared, Golden Spur и Mantuanskoe. Доказано, что после применения пленкообразующего препарата «Пелекол» за счет снижения концентрации кислорода и повышения углекислого газа в тканях плодов, снижается потребление сахаров (сахарозы и суммы сахаров) по сравнению с контролем. Более интенсивное расщепление сахарозы наблюдалось в плодах, хранившихся в обычных условиях. Полученные данные показали, что в конце хранения, потребление сахаров плодами яблони Idared, обработанными 1,0% - ным пленкообразующим препаратом, снизилось в большей степени по сравнению с другими сортами.

Ключевые слова: хранение, плоды яблони, сахар, Пелекол, пеликологеновое покрытие.

INFLUENCE OF STORAGE CONDITIONS ON CHANGES IN SOME QUALITY INDICATORS OF APPLE TREE FRUITS

The article presents the results of studies conducted on apple fruits of late varieties Idared, Golden Spur and Mantuanskoe. It was shown that as a result of the use of the film-forming preparation „Pelecol” in fruit tissues, due to a decrease in oxygen concentration and an increase in carbon dioxide, the consumption of sugars (sucrose and the sum of sugars) was reduced compared to the control. A more intense decomposition of sucrose was observed in fruits when stored under normal atmosphere conditions. The data obtained showed that at the end of storage, the sugar consumption of apple fruits of the Idared variety treated with a film-forming preparation at a concentration of 1,0% decreased to a greater extent compared to other varieties.

Keywords: storage, apple fruits, sugar, Pelecol, film-forming coating.

Введение

Плоды яблони обладают питательными, энергетическими и биологически-активными веществами (БАВ). К ним относятся органические кислоты, сухие вещества, сахара, аскорбиновая кислота, Р - активные вещества, пектиновые соединения и др.[8]. В процессе хранения содержание, как питательных веществ, так и БАВ изменяется, тем самым изменяя вкусовые характеристики плодов [2]. Чтобы снизить интенсивность расходования вышеуказанных веществ, необходимо создать оптимальные условия для их хранения. Одним из таких условий является обработка плодов пленкообразующим покрытием «Pelecol». Пленочное покрытие изменяет количество поступающего кислорода и выделяющегося углекислого газа и создает пароизоляционный барьер, который снижает скорость транспирации воды из тканей, что влияет на интенсивность процессов послеуборочного созревания плодов.

Объект и методы исследований

Объектом исследования являлись, обработанные препаратом «Pelecol» плоды яблони поздних сортов Айдаред, Голден Спур, Мантуанское. Исследуемые сорта районированы во всех зонах плодородия Республики Молдова.

Яблоки перед закладкой на хранение были поверхностно обработаны раствором «Pelecol», концентрация раствора составляла - 0,5 и 1,0%. Плоды, после обработки препаратом подсушивали, упаковывали в яблочные ящики. Контролем служили плоды без обработки. Исследуемые образцы хранились в холодильных камерах экспериментальной базы «Карпотрон» при температуре 1 °С и относительной влажности воздуха 85 – 90%.

Определение содержания сахаров проводили по методике Ермакова А. И. и др.[7]. Математическую обработку полученных результатов проводили в программе Excel.

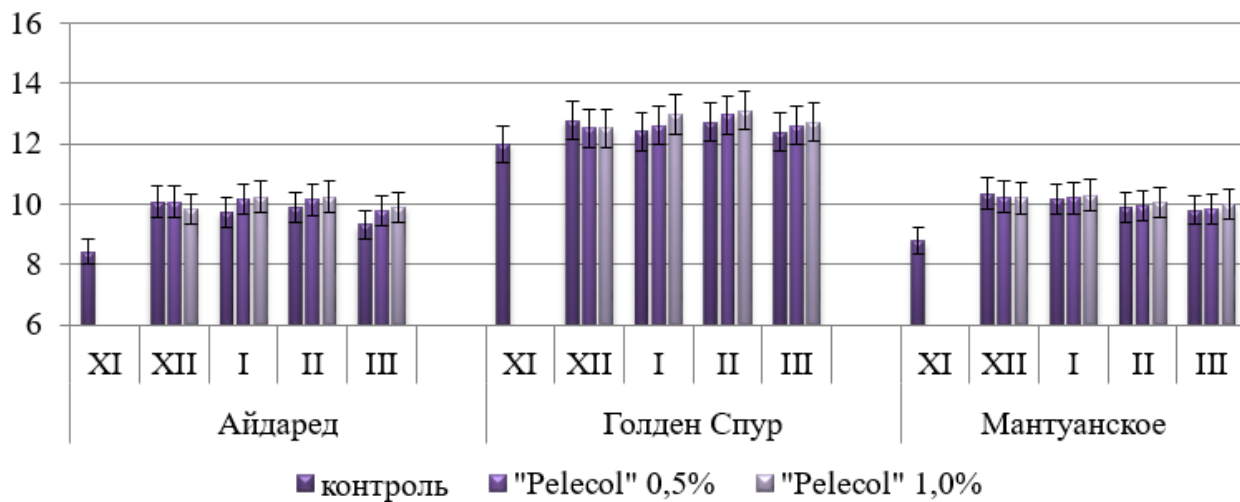
Результаты исследований

Преимущество хранения плодов яблони в условиях измененной газовой среды обусловлено ее влиянием на расход сахаров в процессе дыхания. При исследовании биохимического состава плодов, основное внимание необходимо уделять изучению изменения в них содержания сахаров, т.к. с их превращением связаны разные свойства яблок – вкус, консистенция мякоти, аромат и длительность хранения [6].

В плодах при хранении происходят процессы дозревания и перезревания, связанные с изменением их качества [4]. В эти периоды активизируются обменные процессы, сопряженные с дыханием, в которых непосредственное участие принимают сахара в качестве энергетических субстратов окислительного фосфорилирования [6]. Многие исследователи [1, 3] полагают, что интенсификация данного процесса во время хранения связана с периодом климактерикса в плодах. Расход сахаров при этом характеризует изменение их качественного состава при хранении [10].

Содержание сахаров в плодах может снижаться в течение всего периода дозревания. Однако, некоторые исследователи [1, 5] считают, что содержание общих сахаров при хранении плодов яблони увеличивается. Количество сахаров, в том числе сахарозы может увеличиваться за счет гидролиза крахмала и других высокомолекулярных полисахаридов, таких как гемицеллюлозы, целлюлоза и пектиновые вещества [3, 4]. Полученные данные показали повышение уровня содержания общих сахаров (рисунок 1).

Рис. 1. Содержание сахаров в плодах, обработанных пленкообразующим препаратом «Pelecob», в %.



Увеличение суммы сахаров коррелировало с уменьшением содержания полисахаридов. В конце хранения наблюдалось небольшое снижение количества общих сахаров, что характеризовало наступление этапа перезревания плодов.

Анализ полученных данных показал, что сумма сахаров в плодах в контрольном варианте в конце хранения была ниже, чем в опытных образцах, и в зависимости от применяемой концентрации раствора «Pelecob», эта разница составила у сорта Айдаред - 0,44 - 0,57%, у сорта Голден Спур - 0,22 - 0,33%, а у сорта Мантуанское - 0,19% (рисунок 1).

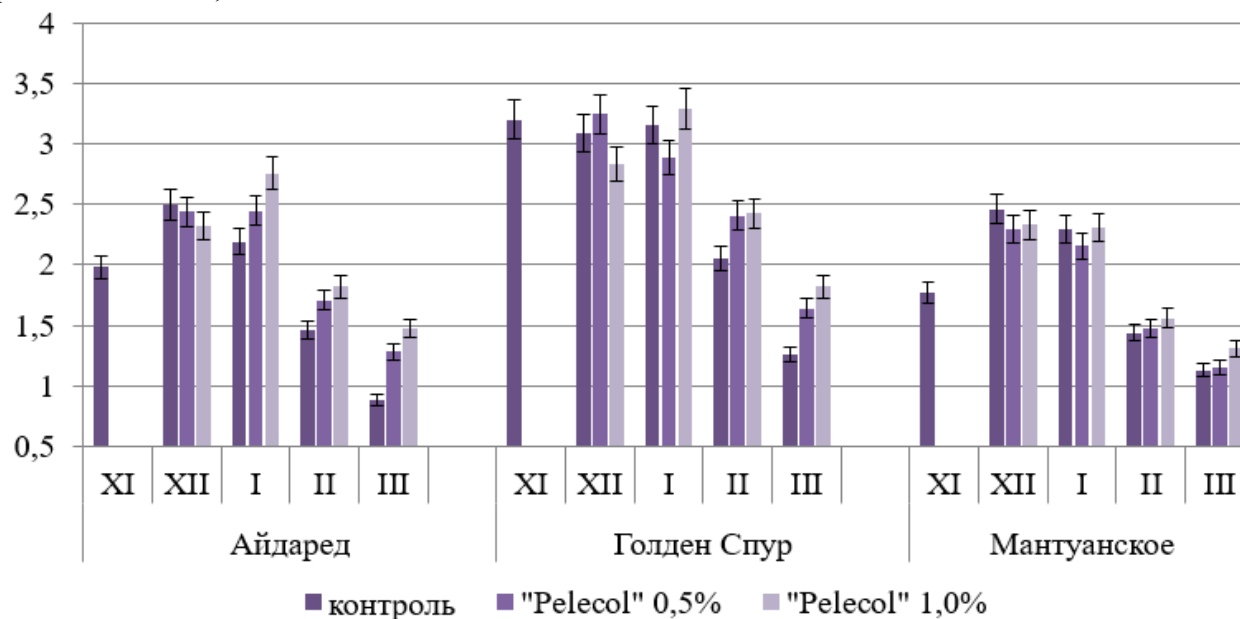
При созревании плодов в период хранения интенсивность обменных процессов обеспечивается за счет легкодоступных для метаболизма веществ – моносахаридов и органических кислот [6]. С вовлечением в процессы метаболизма резервных веществ клетки, связана интенсификация процессов созревания плодов – резко снижается содержание сахарозы (связанной формы сахаров), органических кислот, а также подвергаются превращениям и полисахариды [4].

Превращение пектиновых веществ - протопектина (трудногидролизуемая форма), переходит в водорастворимую фракцию, что связано с ухудшением водоудерживающей способности клетки и нарушением тургора ткани [1]. В этот период могут возникнуть нарушения целостности клеток на ультраструктурном уровне, сопровождающиеся дезинтеграцией составных частей органелл клетки, вследствие чего плоды теряют свою жизнеспособность и становятся непригодными для дальнейшего хранения [6].

Анализы, проведенные при закладке плодов яблони на хранение и по окончании этого периода, показали, что процесс созревания их в условиях измененной газовой среды, и при свободном доступе воздуха проходил с разной интенсивностью. При рассмотрении изменений, происшедших в плодах исследуемых сортов, выявлено, что содержание редуцирующих сахаров было больше в образцах, которые хранились при свободном доступе кислорода (таблица 3.4), что связано с интенсификацией процессов созревания и расходом сахаров. Таким образом, в условиях обычной атмосферы хранения процессы созревания и гидролиз полисахаридов в плодах происходили более интенсивно по сравнению с образцами, которые хранились в условиях измененной газовой среды.

Менее интенсивный процесс распада полисахаридов при хранении плодов яблони в условиях измененной газовой среды сказался на содержании сахарозы, после хранения больше сахарозы сохранилось в опытных плодах и меньше в контрольных (рисунок 2).

Рис. 2. Изменение содержания сахарозы в плодах, обработанных пленкообразующим препаратом «Pelecol», в %.



В конце хранения было выявлено, что сахароза в меньшей степени расходовалась в плодах сортов Айдаред и Голден Спур, обработанных препаратом с концентрацией раствора 1,0 %. Так, у сорта Айдаред, в зависимости от используемой концентрации раствора «Pelecol», эта разница между опытными и контрольными плодами составила - 0,40 - 0,60 %, у сорта Голден Спур - 0,38 – 0,56 %. Небольшая разница между вариантами опыта наблюдалась и у плодов сорта Мантуанское (рисунок 2).

Наши данные подтверждают мнение некоторых авторов, которые полагают, что снижение интенсивности обменных процессов в условиях измененной газовой среды, в данном случае расхода сахарозы, напрямую связано с изменением состава газовой среды в тканях плодов. В результате низкой концентрации O_2 и повышенной концентрации CO_2 , замедляется дыхание плодов, снижается активность таких ферментов как сахараза (β -фруктозидаза), которая специфична для расщепления сахарозы [9].

Выводы:

1. Увеличение суммы сахаров коррелировало с уменьшением содержания полисахаридов (крахмал, пектиновые вещества, гемицеллюлоза, целлюлоза).
2. Установлено, что плоды, обработанные препаратом «Pelecol» в конце хранения, содержали большой резерв сахаров (сахароза, сумма сахаров) по сравнению с контрольным вариантом. Лучшие результаты были получены у плодов сортов Айдаред и Голден Спур. Используемый для обработки 1,0% - ный раствор изучаемого препарата дал большой эффект.

Литература:

1. BUJOREANU, N. *Formarea direcționată a fructelor pentru păstrare îndelungată*. Chișinău, 2010, 256 p. ISBN 978-9975-4132-1-3.
2. BUJOREANU, N., MARINESCU, M. *Modificarea în conținutul substanțelor plastice la fructele de măr pe parcursul perioadă postrecoltare în funcție de particularitățile biologice ale soiului*. În: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei*. 2004, nr. 1, p. 53-61. ISBN 978 -9975–56-015-3.
3. АРАСИМОВИЧ, В., ПОНОМАРЕВА, Н. *Обмен углеводов при созревании и хранении плодов яблони*. Кишинев: Штиинца, 1976, 122 с.
4. АРАСИМОВИЧ, В. В. *Биохимия созревания плодов*. В: *Физиология сельско-хозяйственных растений*. Москва: Издательство МГУ. 1968, т. 10, с. 62-81.
5. БАНТАШ, В. Г. *Формирование пектинового и фенольного комплексов яблок в условиях интенсивной культуры и обработки кальцием в связи с качеством плодов*: дис. канд. биол. наук. Кишинев, 1984, 178 с.
6. ГАЙКОВСКАЯ, Л., ПРОХОРОВА, Л. *Сахарокислотный индекс у плодов яблони при хранении*. В: *Известия АН МСССР*. Сер. биол. и хим. наук. Кишинев: Штиинца, 1985, №1, с. 30-32. ISSN 0568-5192.
7. ЕРМАКОВ, А. И. и др. *Методы биохимического анализа растений*. Ленинград: Агропромиздат, 1987, ИБ № 4256, 430 с.
8. МАКАРКИНА, М. А. и др. *Биохимическая характеристика и лежкоспособность новых сортов яблони*. В: *Садоводство и виноградарство*. Орел, 2007, № 2, с. 21-24. ISSN 0238-2591.
9. МЕТЛИЦКИЙ, Л. В. *Биохимия плодов и овощей*. Москва: Экономика, 1970, 271 с.
10. *Физиологические и биохимические процессы, протекающие в плодах и овощах при хранении*. https://studwood.net/1906803/agropromyshlennost/fiziologicheskie_biohimicheskie_protssesy_rotokayuschie_plodah_ovoschah_hranenie

Данные об авторе:

Валентина СВЕТЛИЧЕНКО, научный сотрудник Института генетики, физиологии и защиты растений, Молдавский государственный университет.

ORCID: 0000-0002-7376-949X

E-mail: fructele2008-@mail.ru

Представлено 29.03.2024

CZU: 544.142.3:546.562:547.497.1

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_21](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_21)

COMBINAȚII COORDINATIVE ALE Cu(II) ÎN BAZA N-HEXIL-2-[(PIRIDIN-2-IL)METILIDEN]HIDRAZINE-1-CARBOTIOAMIDEI: PROIECTARE, SINTEZĂ, EVALUAREA PROPRIETĂȚILOR ANTIMICROBIENE ȘI ANTIFUNGICE

*Aliona PÎNTEA, Andrei CIURSIN,
Roman RUSNAC, Aurelian GULEA,*

Universitatea de Stat din Moldova

Dezvoltarea rezistenței la antibiotice, noile pandemii și creșterea cazurilor de cancer sunt unele din provocările principale pentru societatea modernă. Rezolvarea acestor probleme este direct legată cu sinteza substanțelor noi cu efectele biologice pertinente. O perspectivă majoră prezintă clasa de substanțe numită tiosemicarbazone, reprezentanții cărora deja sunt utilizați în industria farmaceutică, spre exemplu, Ambazona sau Triapina. În general, tiosemicarbazonele manifestă un șir larg de activități biologice utile, printre care sunt antibacteriene, antifungice și anticancer. Este cunoscut că coordinarea tiosemicarbazonei în majoritatea cazurilor duce la îmbunătățirea activității biologice. În această lucrare au fost sintetizați 5 compuși coordinați noi ai cuprului(II) în baza unei tiosemicarbazone HL, cu denumirea IUPAC - N-hexil-2-[(piridin-2-il)metiliden]hidrazine-1-carbotioamida. La substanțele sintetizate au fost evaluate proprietățile antimicrobiene și antifungice.

Cuvinte-cheie: *compuși coordinați, tiosemicarbazone, antimicrobian, 2-formilpiridina.*

COORDINATION COMPOUNDS OF Cu(II) WITH N-HEXYL-2-[(PYRIDIN-2-YL)METHYLIDENE]HYDRAZINE-1-CARBOTHIOAMIDE: DESIGN, SYNTHESIS, EVALUATION OF ANTIMICROBIAL AND ANTIFUNGAL PROPERTIES

The development of antibiotic resistance, new pandemics and the rise of cancer cases are among the main challenges for modern society. Solving these problems is directly linked to the synthesis of new substances with the necessary biological effects. A big perspective presents the class of substances called thiosemicarbazones. Their representatives are already used in the pharmaceutical industry, for example Ambazone or Triapine. In general, thiosemicarbazones exhibit a wide range of useful biological activities, including antibacterial, antifungal and anticancer. It is known that coordination of thiosemicarbazones in many cases leads to enhanced biological activity. In this work, 5 copper (II) coordinative compounds based on a thiosemicarbazone have been synthesized. Antimicrobial and antifungal properties of the synthesized substances were evaluated.

Keywords: *coordination compounds, thiosemicarbazones, antibacterial activity, 2-formylpyridine.*

Introducere

Cancerul rămâne o maladie care se află pe locul doi, după bolile cardiovasculare, în cauzele de deces a oamenilor. Cercetările arată că numărul de cazuri noi de cancer în următorii 20 de ani va fi în creștere majoră [1]. Din păcate, la moment nu există medicamentele care satisfac complet cerințele industriei medicinale moderne. Aceasta determină necesitatea de elaborare a noilor metode mai eficiente de tratare a acestei boli. Chimioterapia nu-și pierde actualitatea sa și arată rezultate bune, precum și în combinație cu alte metode. În general chimioterapia rămâne o etapă crucială în tratarea cancerului. Însă ea este asociată cu multe reacții adverse, uneori destul de grave [2]. Acest neajuns poate fi înlăturat sau cel puțin diminuat dacă vom elabora noi substanțe cu efectul anticancer dorit.

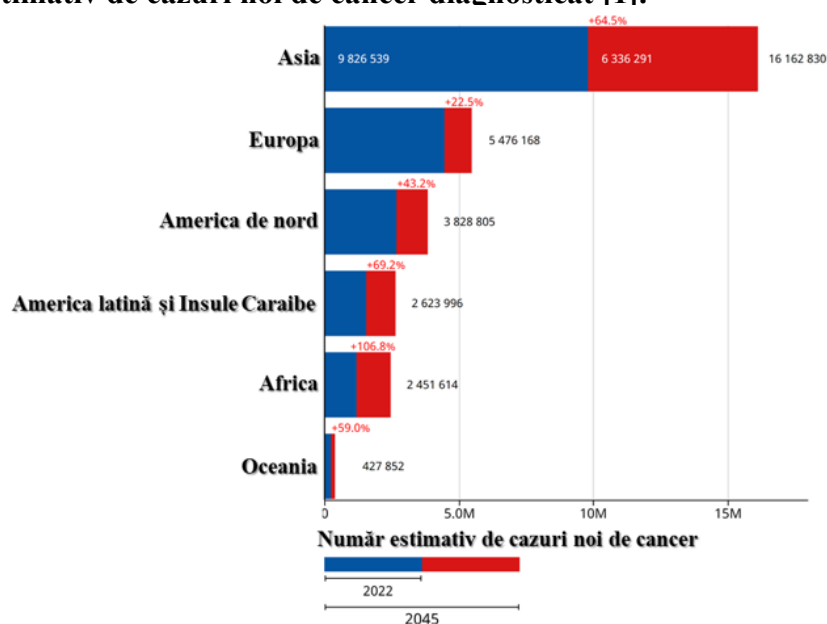
Primele încercări în tratarea cancerului cu compuși sintetici au început atunci când a fost descoperit efectul antineoplasic al compusului coordinați *cis*-platina. Acestea fiind descoperite, au determinat dezvoltarea unui domeniu nou de cercetare. Au fost descoperiți derivați a *cis*-platinei care au inclus în structura

sa liganzi de natură organică, anume carboplatin și oxaliplatin, care tot au efect anticancer puternic. Succesul introducerii liganzilor de natură organică a provocat sinteza miilor de compuși coordinați a platinei noi, cu o mulțime de liganzi organici diferiți. În ciuda eforturilor depuse, proprietățile multor din ei nu au fost pe nivelul așteptărilor, iar cei care au demonstrat un anumit efect citotoxic, nu au avut un efect esențial terapeutic în timpul testărilor *in vivo* [3].

Paralel cu cercetările mecanismului de acțiune a preparatelor cu efect anticancer și cu sinteza compușilor coordinați noi ai platinei, au început și cercetările altor clase de substanțe. O atenție deosebită au atras bazele Schiff. Fiind descoperite demult [4], proprietățile lor biologice sunt cercetate până în ziua de azi. Literatura de specialitate indică că aceste substanțe manifestă activități: antifungice [5], antibacteriene [6], antimalarice [7], antiproliferative [8], anti-inflamatoare [9], antivirale [10], antipiretice [11] și anticancer [12].

În urmă cercetărilor bazelor Schiff a fost elaborată o nouă clasă de compuși - tiosemicarbazonele. La momentul dat aceste substanțe deja și-au demonstrat valoare lor practică fiind utilizate în diverse domenii farmaceutice [13]. Spre exemplu, Triapina utilizată în calitate de agent anticancer sau Ambazona utilizată ca substanța activă în pastilele contra durerii de gât. În general tiosemicarbazone manifestă un șir larg de activități biologice similare cu cele manifestate de bazele Schiff [14-15], printre care și activitățile anticancer [16]. Datorită acestora, tiosemicarbazonele au fost și rămân o direcție de cercetare cu perspectivă. Structura lor permite modificarea ușoară a fragmentelor structurale ce la rândul lor duc la posibilitatea de sinteză selectivă a compușilor cu structura și proprietățile dorite.

Fig. 1. Număr estimativ de cazuri noi de cancer diagnosticat [1].



Mare interes prezintă tiosemicarbazonele care conțin fragmente heterociclice, un exemplu clasic ar putea servi tiosemicarbazona 2-formilpiridinei care manifestă o activitate antileucemică sporită [17]. La fel, se cunoaște că coordinarea tiosemicarbazonelor cu unii ioni ai biometalelor poate să crească semnificativ proprietățile lor biologice [18]. Din aceste considerente mulți cercetători încearcă să obțină derivații tiosemicarbazonici coordinați la ioni de Cu^{2+} , Fe^{3+} , Ni^{2+} , $\text{Co}^{2+/3+}$, Mn^{2+} , Zn^{2+} [19-21]. Acestea nu numai că posedă proprietăți mai pronunțate, dar și deseori duc la o selectivitate sporită [22]. Însă o mare atenție totuși trebuie să fie acordată selectării ligandului pentru sinteza compusului coordinați. Anume ligandul determină activitatea biologică și toxicitatea compusului final.

Activitatea biologică a tiosemicarbazonelor, precursorilor și derivaților lor a fost cercetată destul de mult, ce ne permite formularea anumitor concluzii în baza datelor acumulate. Cum a fost menționat mai sus, ea se află într-o corelare directă cu natura și compoziția substituenților folosiți. Substituenți diferiți cauzează mecanisme diferite de acțiune. În general se disting următoarele mecanisme de acțiune biologică a tiosemicarbazonelor [23]:

- Inhibirea/Inactivarea ribonucleotid reductazei
- Inhibirea tirozinazei
- Generarea speciilor reactive de oxigen

- Ribonucleotid reductaza este o enzimă, ce conține în compoziția sa atomi de fier (II). Ea face parte din clasa reductazelor, deci ea este implicată în procesele redox în reacțiile biochimice și anume, efectuează reducerea substratului. Ribonucleotid reductaza joacă un rol crucial pentru menținerea nivelului echilibrat al Deoxiribonucleotid Trifosfatului, care este implicat în procesele de sinteză și repararea ADN-ului. Inhibirea Ribonucleotid reductazei duce la scăderea concentrației ale Deoxiribonucleotid Trifosfatului, ceea ce la rândul său inhibă sinteza și repararea ADN-ului. Aceasta duce la oprirea ciclului celular și apoptoza [24]. Ribonucleotid reductaza conține în situsul său activ din centrul R1 grupările tiolice care sunt direct implicate în reducerea substratului. Compușii care interferează cu aceste grupări, blochează funcția lor redox ce duce la inhibirea activității enzimei. Ele se numesc inactivatorii ai grupărilor tiolice. Cel mai bine cunoscut și larg răspândit exemplu al acestei clase de inhibitori este *cis*-platina.

- A doua enzimă, inhibirea cărei va duce la apariția efectelor biologice dorite este Tirozinaza. În situsul său activ ea conține atomi de cupru(II). Ei pot fi ușor legați cu tiosemicarbazone, din cauza prezenței atomilor de sulf și azot în compoziția sa. A fost stabilit, că prezența atomului de sulf în compoziție este un factor crucial și utilizarea fragmentelor heterociclice duce la îmbunătățirea semnificativă a activității [23].

În baza celor menționate mai sus, în lucrarea dată au fost sintetizați 5 compuși coordinativi noi cu sărurile de cupru(II). Ligandul utilizat este alcătuit din fragmentul care conține radicalul *n*-hexil în poziția 4 a tiosemicarbazonei, iar în calitate de fragment carbonilic a fost utilizat 2-formilpiridina.

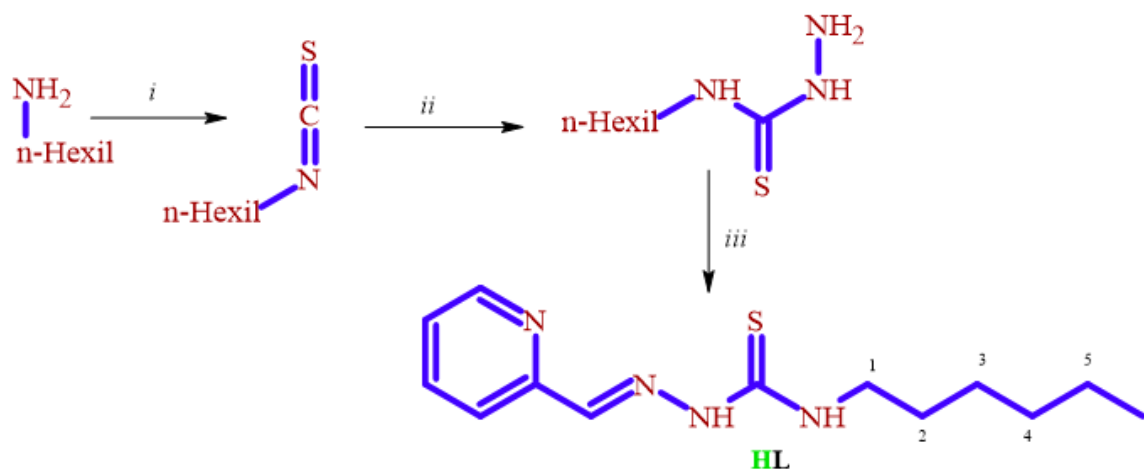
Material și metode

Cercetările științifice au avut loc în cadrul Laboratorului de cercetări științifice „Materiale Avansate în Biofarmaceutică și Tehnică” al Institutului de Chimie a Universității de Stat din Moldova. Sintezele au fost efectuate cu reagenți procurați de la companiile „Sigma-Aldrich”, „Acros Organics” sau „Alfa Aesar”, fiind folosiți în sinteză fără o purificare prealabilă. Spectrele FTIR au fost înregistrate pe probe în formă de pulbere la aparatul Bruker ALPHA, în diapazonul numerelor de undă 4000-400 cm^{-1} . Spectrul de Rezonanță Magnetică Nucleară (RMN) a fost înregistrat la temperatura camerei utilizând spectrometrul Bruker DRX-400. În calitate de solvent s-a folosit acetona- d_6 . Analiza activității antimicrobiene și antifungice a fost efectuată conform metodei diluțiilor succesive descrise în literatură. Testările au fost efectuate în Laboratorul de Microbiologie al Agenției Naționale de Sănătate Publică din Chișinău.

Procedura de sinteză

Ligandul HL au fost sintetizat conform proceduri descrise în cadrul lucrării [25].

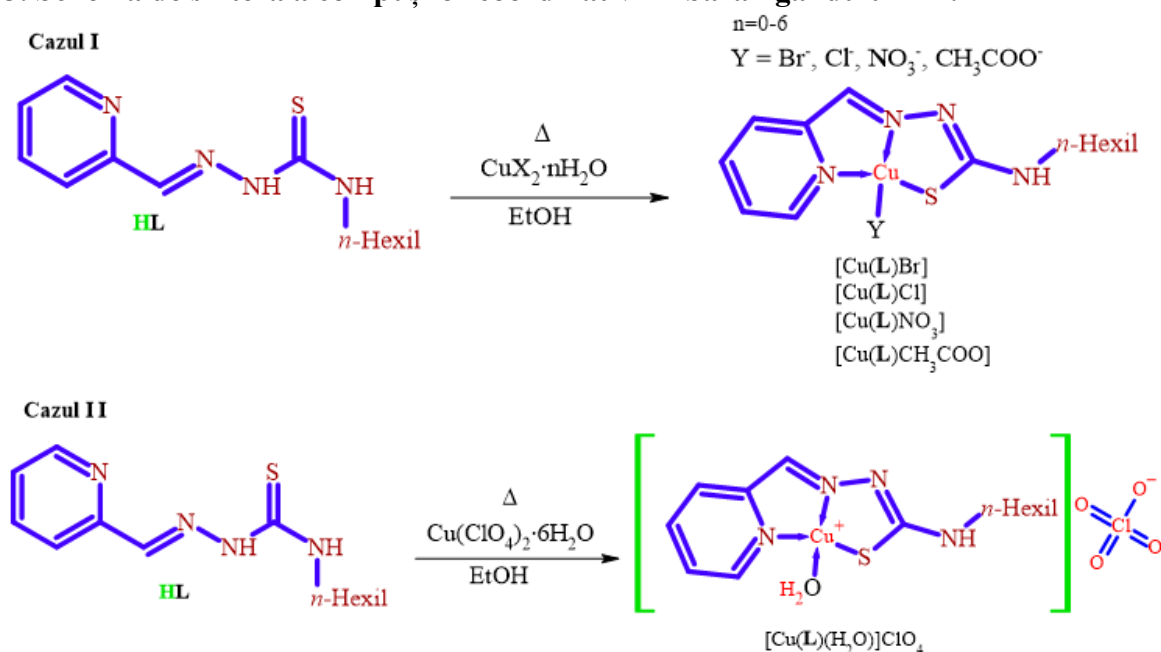
Fig. 2. Schema de sinteză a tiosemicarbazonei HL.



Reagenți și condiții: *i*- CSCl_2 , $(\text{Et})_3\text{N}$; *ii*- $\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$; *iii*-piridin-2-carbaldehidă, cat. $\text{AcOH}_{\text{glacial}}$

Sinteza compușilor coordinativi a fost efectuată conform procedurii generale de sinteză descrisă în sursă [26]. Într-un balon conic se introduce 1 mmol de ligand, 1 mmol de $\text{CuX}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ în 20 mL etanol (descriere cazul I și II). Amestecul reactant se agită timp de 1–1.5 h la temperatura de 70–75 °C. După amestecare se răcește, la temperatura camerei, sedimentul obținut se filtrează, se spală cu etanol rece și se usucă în exsicator până la o masă constantă.

Fig. 3. Schema de sinteză a compușilor coordinativi în baza ligandului HL.



Metodica studierii activității antimicrobiene

Activitatea antimicrobiană a fost determinată în mediul nutritiv lichid bulion peptonat din carne 2%, pH 7,0] prin metoda diluțiilor succesive. În calitate de cultură de referință în experimentul *in vitro* au fost folosite tulpinile standard de *Staphylococcus aureus* (*S.aureus* G+), *Escherihia coli* (*E.coli* G-), *Klepsiella pneumoniae* (*Kl. pneumoniae* G-). Dizolvarea substanței studiate în dimetilsulfoxid, cultivarea microorganismelor, obținerea suspensiei, determinarea concentrației minime de inhibare (CMI) și a concentrației minime bactericide (CMB), prezentate în Tabelul 1, au fost efectuate după metoda standard descrisă în [27].

Metodica studierii activității antifungică

Proprietățile antimicotice ale compușilor (IV-VI) au fost cercetate „*in vitro*” pe tulpini de laborator *Candida albicans*; *Candida krusei*; *Candida parapsilosis*; *Cryptococcus neoformans*. Activitatea s-a determinat în mediul nutritiv lichid Sabouroud (pH=6.8). Inoculatele se pregătesc din tulpini de fungi recoltate în decurs de 3-7 zile. Concentrația lor în suspensie constituie $(2-4) \cdot 10^6$ unități formatoare de colonii într-un mililitru [28]. Datele experimentale obținute, privind studierea proprietăților antimicotice ale (IV-VI), sunt prezentate în Tabelul 2.

Analiza elementală

În balonul Kjeldal se adaugă 0,05 g de compus complex și amestec de 1-2 picături acid sulfuric și 10 mL acid azotic concentrat. Conținutul se încălzește până la distrugerea compusului complex. După ce rezidul se răcește se adaugă apă distilată. Soluția obținută se trece cantitativ într-un balon cotat de 100 mL, se omogenizează și se adaugă apă, până la cotă. Se ia o parte alicotă de 10 mL într-un balon de titrare, se adaugă soluție tampon de $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$ pentru stabilirea pH~8-9, se adaugă murexid până la obținerea culorii galben. Se titrează cu Trilon B până la apariția culorii violet pal. Conținutul de Cu se determină după formula:

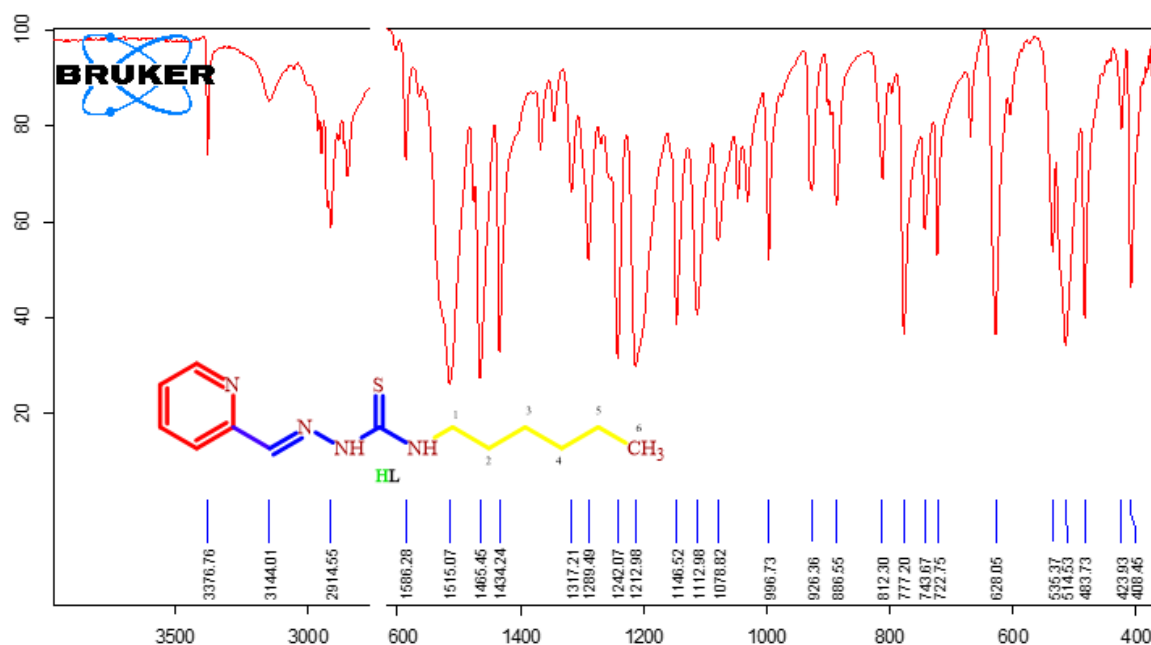
$$\omega_{\%}(\text{Cu}) = \frac{V(\text{TrilB}) \times C(\text{TrilB}) \times V \times M(\text{Cu})}{V_a \times m \times 10} \quad (1)$$

unde: V(Tril B) – volumul de trilon B folosit la titrarea părții alicote (mL) ; C(Tril B) – concentrația trilonului B (0,01 M) ; V_a – volumul părții alicote (mL) ; V – volumul balonului cotat (mL) ; m – masa probei ; M(Cu) – masa molară a cuprului (g/mol).

Rezultate și discuții

Tiosemicarbazona HL a fost confirmată cu ajutorul spectroscopiei FTIR, la numărul de undă 3376 cm^{-1} a fost confirmată gruparea funcțională N-H din poziția N^2 atomul de azot hidrazinic la 3144 cm^{-1} este caracteristică absorbția pentru gruparea tiocarbamidică de la atomul N^4 din structura tiosemicarbazonei HL. La 2914 cm^{-1} și 2850 cm^{-1} este confirmată gruparea alchil din fragmentul hexil, la 1586 cm^{-1} este confirmată gruparea iminică care se formează la condensarea tiosemicarbazidei și piridin-2-carbaldehida. Astfel, cu ajutorul spectrului IR din figura 4 a fost dedusă formula de structură care corespunde produsului preconizat.

Fig. 4. Spectrul FTIR al N-hexil-2-[(piridin-2-il)metiliden]hidrazin-1-carbotioamida HL.



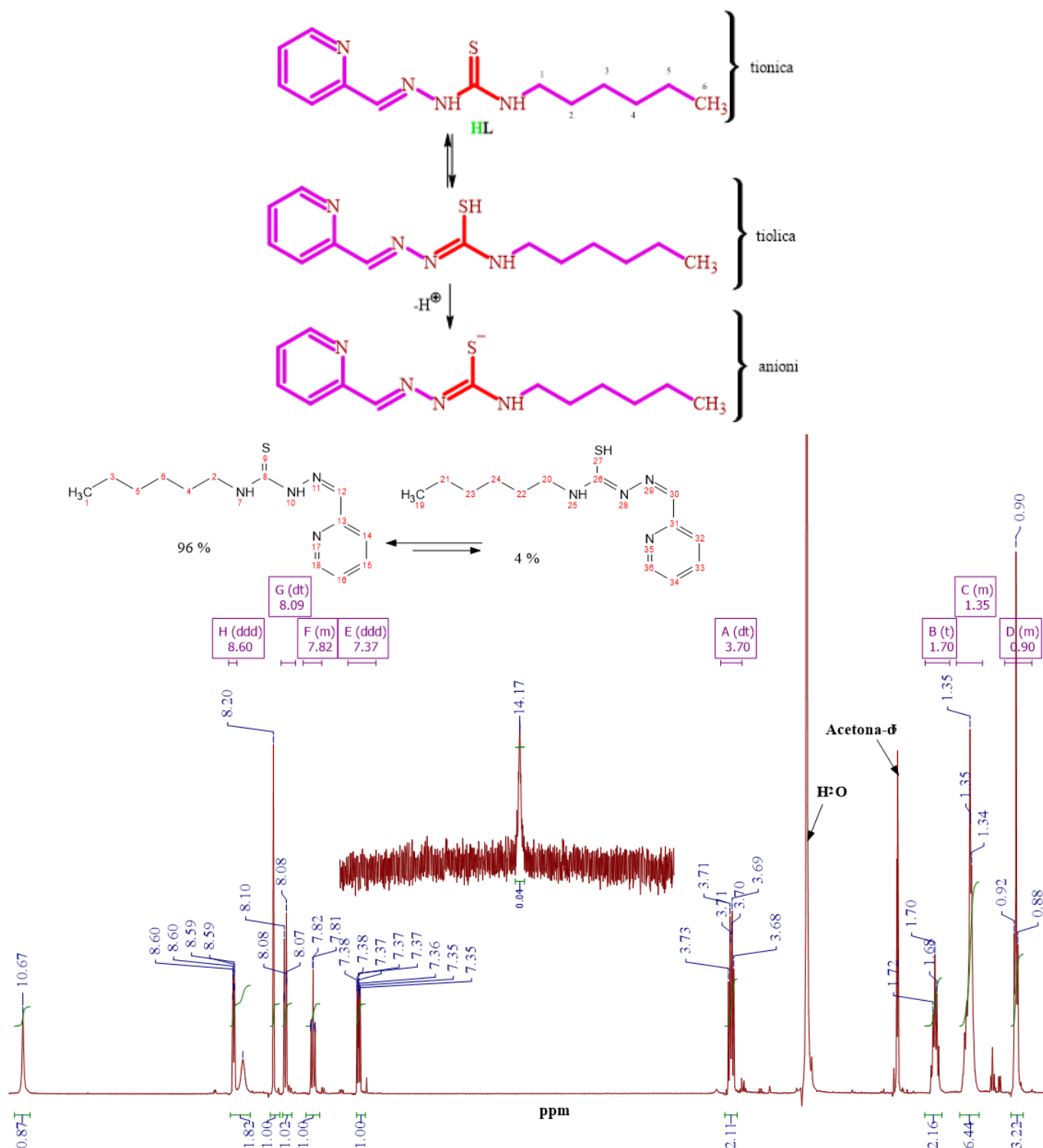
Rezonanța magnetică nucleară a confirmat structura propusă a tiosemicarbazonei HL. Din figura 5 în partea dreaptă a spectrului în diapazonul 0.8 – 1.8 ppm pot fi observate picurile ce corespund atomilor de hidrogen din componența radicalului alifatic - hexil. De la 7 ppm până la 8.2 ppm se observă picurile atribuite atomilor de hidrogen din sistemul aromatic (inelul piridin-2-il). La 13,5-14 se observă singlet este cauzată de hidrogenul din gruparea (N-H) legată cu gruparea azometinică (Figura 5).

În soluția de acetonă deuterată a fost observată prezența a două forme tautomere tiol-tiol, iar la deprotare HL se transformă în anion L.

Compușii coordinativi 1-5 au fost cercetați prin metoda titrimetrică. Datele obținute foarte bine corelează cu calculele teoretice ce confirmă o corelație logică a produselor de sinteză (Tabelul 1).

Tabelul 1. Partea de masă a metalului în complecși sintetizați.

Substanța	ω (metal) %	
	practic	teoretic
[Cu(L ¹)(H ₂ O)]ClO ₄	14,22	14,30
[Cu(L ¹)NO ₃]	16,77	16,34
[Cu(L ¹)CH ₃ COO]	16,64	16,46
[Cu(L ¹)Br]	15,86	15,62
[Cu(L ¹)Cl]	17,42	17,54

Fig. 5. Spectrul ^1H RMN N-hexil-2-[(piridin-2-il)metiliden]hidrazin-1-carbotioamida HL.

^1H NMR (400 MHz, Acetona) δ 14.17, 10.67, 8.60, 8.60, 8.60, 8.60, 8.59, 8.59, 8.59, 8.59, 8.51, 8.20, 8.10, 8.10, 8.09, 8.08, 8.08, 8.07, 7.84, 7.84, 7.83, 7.83, 7.82, 7.81, 7.80, 7.80, 7.79, 7.79, 7.38, 7.38, 7.37, 7.37, 7.37, 7.36, 7.35, 7.35, 3.73, 3.71, 3.71, 3.70, 3.69, 3.68, 1.72, 1.70, 1.68, 1.35, 1.35, 1.34, 0.92, 0.90, 0.88.

^1H NMR (400 MHz, Acetona) δ 8.60 (ddd, $J = 4.9, 1.7, 1.0$ Hz, 1H), 8.09 (dt, $J = 8.0, 1.0$ Hz, 1H), 7.91 – 7.73 (m, 1H), 7.37 (ddd, $J = 7.5, 4.9, 1.2$ Hz, 1H), 3.70 (dt, $J = 7.4, 6.0$ Hz, 1H), 1.70 (t, $J = 7.4$ Hz, 1H), 1.49 – 1.23 (m, 3H), 1.01 – 0.75 (m, 2H).

Compușii coordinativi 1-5 au fost cercetați prin metoda titrimetrică. Datele obținute foarte bine corelează cu calculele teoretice ce confirmă o corelație logică a produselor de sinteză (Tabelul 1).

Corelația spectroscopiei IR și analiza la metal a permis elucidarea formulelor de structură pentru compușii coordinativi sintetizați. Pentru determinarea aplicării practice complecși sintetizați 1-5 au fost cercetați față de o serie de microorganisme patogene Figurile 6-8.

Analiza activității antimicrobiene

Fig. 6. Proprietățile antimicrobiene ale compușilor coordinativi sintetizați față de microorganismele gram-pozitive.

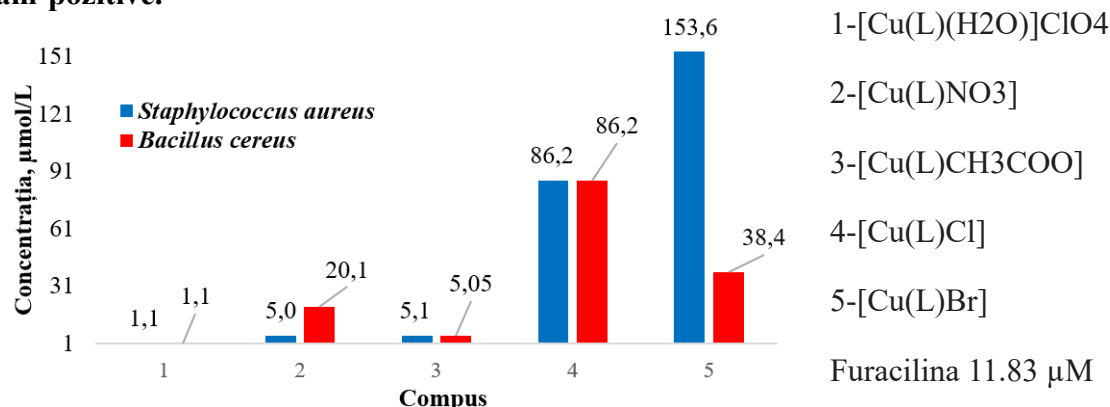


Fig. 7. Proprietățile antimicrobiene ale compușilor coordinativi sintetizați față de microorganismelor gram-negative.

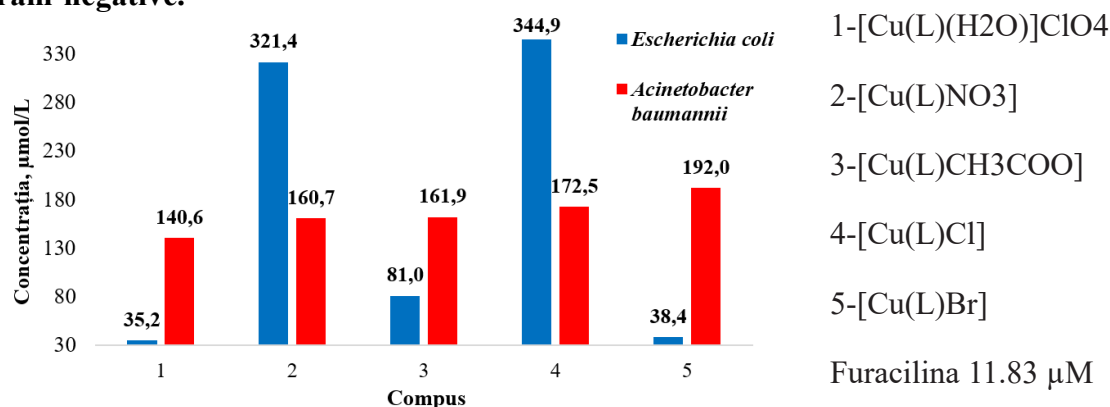
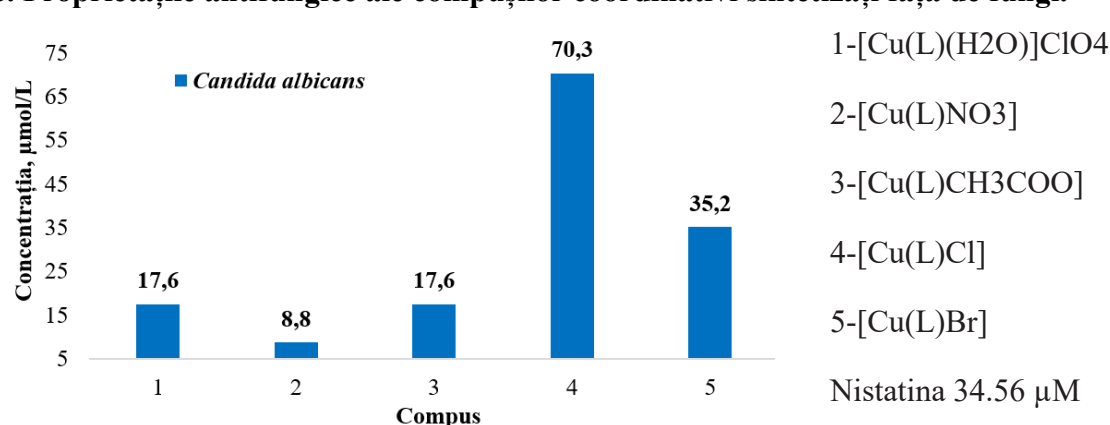


Fig. 8. Proprietățile antifungice ale compușilor coordinativi sintetizați față de fungi.



Concluzii

Au fost obținuți 5 compuși coordinativi ai cuprului(II) în baza ligandului HL care are în structura sa fragment lipofil. Structura produșilor final a fost confirmată cu ajutorul spectroscopiei FTIR în baza pulberilor studiate. Cercetarea antimicrobiană a scos în evidență precum că complecși 1-3 {[Cu(L)(H₂O)]ClO₄, [Cu(L)NO₃]și [Cu(L)CH₃COO]} față de microorganismele gram-pozitive manifestă o selectivitate înaltă care depășește substanța de comparație Furacilina de aproximativ 11 ori. Cercetarea proprietăților

antimicotice a permis la fel să fie evidențiați compușii coordinativi ai cuprului(II) cu anioni: nitrat, acetat și perclorat care sunt mai activi decât Nistatina de 4 ori.

Referințe:

1. FERLAY, J., LAVERSANNE, M., ERVIK, M., LAM, F., COLOMBET, M., MERY, L., PIÑEROS, M., ZNAOR, A., SOERJOMATARAM, I., BRAY, F. *Global Cancer Observatory: Cancer Tomorrow* (version 1.1). Lyon, France: International Agency for Research on Cancer (2024). <https://gco.iarc.fr/tomorrow>,
2. BEHRANVAND, N., NASR, F., ZOLFAGHARI EMAMEH, R., KHANI, P., HOSSEINI, A., GARSSSEN, J., FALAK, R. *Chemotherapy: a double-edged sword in cancer treatment. Cancer immunology, immunotherapy*, 2022 Mar. 71(3):507-26.
3. MICHAEL, A., JAKUPEC, MATHEA, S. GALANSKI, VLADIMIR B. ARION, CHRISTIAN G. HARTINGER AND BERNHARD K. KEPPLER. *Antitumour metal compounds: more than theme and variations. Dalton transactions*, 2008, 2:183-194.
4. SCHIFF, H. *Mittheilungen aus dem universitatlaboratorium in Pisa: Eine neue reihe organischer basen. Justus Liebigs Ann Chem* 1864, 131(1):118–9.
5. WEI, L., ZHANG, J., TAN W., WANG G, LI Q., DONG F., GUO Z. *Antifungal activity of double Schiff bases of chitosan derivatives bearing active halogeno-benzenes. International Journal of Biological Macromolecules*, 2021 May 15, 179:292-8.
6. CERAMELLA, J., IACOPETTA, D., CATALANO, A., CIRILLO, F., LAPPANO, R., SINICROPI, M. S. *A review on the antimicrobial activity of Schiff bases: Data collection and recent studies. Antibiotics*, 2022 Feb 1, 11(2):191.
7. TOPLE M.S., PATEL N. B., PATEL, P. P., PUROHIT, A. C., AHMAD, I., PATEL, H. *An in silico-in vitro antimalarial and antimicrobial investigation of newer 7-chloroquinoline based Schiff-bases. Journal of Molecular Structure*, 2023 Jan 5, 1271:134016.
8. CATALANO, A., SINICROP, M. S., IACOPETTA, D., CERAMELLA, J., MARICONDA, A., ROSANO, C., SCALI, E., SATURNINO, C., LONGO, P. *A review on the advancements in the field of metal complexes with Schiff bases as antiproliferative agents. Applied Sciences*, 2021 Jun 29, 11(13):6027.
9. SANDHU, QU., PERVAIZ, M, MAJID, A., YOUNAS, U., SAEED, Z., ASHRAF, A., KHAN R.R., ULLAH, S., ALI., JELANI, S. *Schiff base metal complexes as anti-inflammatory agents. Journal of Coordination Chemistry*, 2023 May 19, 76(9-10):1094-118.
10. SINGH, S. P., SHUKLA, S. K., AWASTHI, L. P. *Synthesis of some 3-(4'-nitrobenzoylhydrazono)-2- indolines as a potential antiviral agents. Curr. Sci.* 1983, 52, 766-769.
11. UDDIN, NOOR, et al. *Synthesis, characterization, and anticancer activity of Schiff bases. Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 2020, 38.11: 3246-3259.
12. CHRISTIAN, D., MULLER, et al. *Pro-apoptotic and pro-differentiation induction by 8-quinolinecarboxaldehyde selenosemicarbazone and its Co(III) complex in human cancer cell lines. Med. Chem. Commun.*, 2016,7, 1604-1616.
13. PILLAIYAR, T., MEENAKSHISUNDARAM, S., MANICKAM, M., SANKARANARAYANAN, M. *A medicinal chemistry perspective of drug repositioning: Recent advances and challenges in drug discovery. European journal of medicinal chemistry*, 2020 Jun 1, 195:112275.
14. SIDDIQUI, E. J., AZAD, I., KHAN, A. R., KHAN, T. *Thiosemicarbazone complexes as versatile medicinal chemistry agents: a review. Journal of drug delivery and therapeutics*, 2019 May 15, 9(3):689-703.
15. PAHONTU, E., JULEA, F., ROSU, T., PURCAREA, V., CHUMAKOV, Y., PETRENCO, P., GULEA, A. *Antibacterial, antifungal and in vitro antileukaemia activity of metal complexes with thiosemicarbazones. Journal of cellular and molecular medicine*, 2015 Apr 19(4):865-78.
16. KALINOWSKI, D. S., QUACH, P., RICHARDSON, D. R. *Thiosemicarbazones: the new wave in cancer treatment. Future medicinal chemistry*, 2009 Sep 1(6):1143-51.
17. BROCKMAN, R. W., THOMSON, J. R., BELL, M. J., SKIPPER, H. E. *Observations on the antileukemic activity of pyridine-2-carboxaldehyde thiosemicarbazone and thiocarbohydrazone. Cancer research*, 1956 Feb 1, 16(2):167-70.

18. FERRARI, M. B., CAPACCHI, S., PELOSI, G., REFFO, G., TARASCONI, P., ALBERTINI, R., PINELLI, S., LUNGI, P. *Synthesis, structural characterization and biological activity of helicin thiosemicarbazone monohydrate and a copper (II) complex of salicylaldehyde thiosemicarbazone*. *Inorganica Chimica Acta*, 1999 Mar 15, 286(2):134-41.
19. GABER, A., REFAT, M. S., BELAL, A. A., EL-DEEN, I. M., HASSAN, N., ZAKARIA, R., ALHOMRANI, M., ALAMRI, A. S., ALSANIE, W. F., SAIED, E. M. *New mononuclear and binuclear Cu (II), Co (II), Ni (II), and Zn (II) thiosemicarbazone complexes with potential biological activity: antimicrobial and molecular docking study*. *Molecules*, 2021 Apr 15, 26(8):2288.
20. FUIOR, A., CEBOTARI, D., HAOUAS, M., MARROT, J., ESPALLARGAS, G.M., GUÉRINEAU, V., TOUBOUL, D., RUSNAC, R., GULEA, A., FLOQUET, S. *Synthesis, Structures, and Solution Studies of a New Class of [Mo₂O₂S₂]-Based Thiosemicarbazone Coordination Complexes*. *ACS OMEGA*, 2022 May 3, 7(19):16547-60.
21. RUSNAC, R., CIURSIN, A., ȘOVA, S., SÎRBU, A., GULEA, A. *Sinteza și analiza fizico-chimică a compușilor coordinațivi ai Cu(II) în baza 4-ciclohexil-tiosemicarbazonei 3-etoxisalicilice*. În: *Studia Universitatis Moldaviae (Seria Științe Reale și ale Naturii)*, 2023, nr. 1(171), pp. 194-205. ISSN 1814-3237. DOI: [https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2023_26](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2023_26)
22. GUPTA, S., SINGH, N., KHAN, T., JOSHI, S. *Thiosemicarbazone derivatives of transition metals as multi-target drugs: a review*. *Results in Chemistry*, 2022 Jan 1, 4:100459.
23. SIDDIQUI, E., AZAD, I., KHAN, D. A. and KHAN, D. T. 2019. *Thiosemicarbazone complexes as versatile medicinal chemistry agents: a review*. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*. 9, 3 (May 2019), 689-703.
24. SHAO, J., ZHOU, B., CHU, B., YEN, Y. *Ribonucleotide reductase inhibitors and future drug design*. *Curr Cancer Drug Targets*, 2006 Aug 6(5):409-31.
25. RUSNAC, R. *Designul și sinteza compușilor biologic activi ai unor metale 3d cu tiosemicarbazone N(4)-substituie ale derivaților 2-formilpiridinei*: tz. de doct. în șt. chimice. Chișinău, 2022, p. 60-62.
26. http://www.cnaa.md/files/theses/20222/58084/roman_rusnac_thesis.pdf
27. RUSNAC, R., GARBUZ, O., CHUMAKOV, Y., TSAPKOV, V., HUREAU, C., ISTRATI, D., GULEA, A. *Synthesis, characterization, and biological properties of the copper (II) complexes with novel ligand: N-[4-(2-[1-(pyridin-2-yl)ethylidene]hydrazinecarbothioyl)amino) phenyl]acetamide*. *Inorganics*, 2023, 11.10: 408.
28. J. M. YAN, M. H., KWEON, H. KWON, et al. *Induction of apoptosis and cell cycle arrest by a chalcone panduratin A isolated from Kaempferia pandurata in androgen-independent human prostate cancer cells PC3 and DU145*, *Carcinogenesis*, 2006, 27(7), p. 1454 – 1465.
29. B. T. KIM, J. C., CHUN, K. J., HWANG. *Synthesis and antimicrobial activity of novel heterocyclic chalcones*, *Bull. Korean Chem. Soc.*, 2008, 29(6), p. 1125 – 1130.

Notă: Autorii mulțumesc dnei Greta Balan și Olga Burduniuc pentru ajutorul acordat în efectuarea testelor antibacteriene și antifungice.

Lucrarea a fost efectuată în cadrul subprogramului "Sinteza și studiul materialelor noi în baza combinațiilor complexe cu liganzi polifuncționali și cu proprietăți utile în medicină, biologie și tehnică (cod: 010602) din cadrul proiectului instituțional. <https://ichem.md/SSMCCLP>.

Date despre autori:

Aliona PÎNTEA, ciclul II, specialitatea Materiale avansate în chimie și biofarmaceutică, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0009-0008-1713-9195

E-mail: pintea.aliona@usm.md

Andrei CIURSIN, ciclul II, specialitatea Materiale avansate în chimie și biofarmaceutică, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-3160-4582

E-mail: ciursin.andrei@usm.md

Roman RUSNAC, doctor în științe chimice, lector universitar, cercetător științific superior, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5713-5251

E-mail: roman.rusnac@usm.md

Aurelian GULEA, academician, doctor habilitat, profesor universitar, șef laborator, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-2010-7959

E-mail: aurelian.gulea@usm.md

Prezentat la 02-02.2024

ABORDĂRI METODOLOGICE ÎN STUDIUL STRESULUI HIDRIC LA PLANTE

Maria DUCA, Steliana CLAPCO, Ana MUTU, Rodica MARTEA,

Universitatea de Stat din Moldova

Seceta afectează semnificativ creșterea și dezvoltarea plantelor, având un impact negativ asupra productivității culturilor și, respectiv, asupra securității alimentare la nivel mondial. Pentru a prezice răspunsul culturilor agricole la încălzirea globală ulterioară și deficitul de apă și a elabora strategii eficiente de gestionare a riscurilor este nevoie să se înțeleagă, la diverse nivele de organizare, procesele care determină toleranța la mediile nefavorabile. În acest context este important de a folosi modele adecvate de inducere a stresului hidric și de evaluare a reacției de răspuns.

Lucrarea prezintă o descriere succintă a abordărilor metodologice utilizate în studiile stresului hidric la plante (experiențe de câmp, sere, laborator; modele experimentale cu utilizarea diferitor tipuri de substraturi; metode distincte de inducere a deficitului de apă), reflectă particularitățile, avantajele și limitările acestora și pune în evidență importanța combinării și adaptării metodelor de analiză în funcție de specia studiată, de mediu și de obiectivele cercetării.

Cuvinte-cheie: stres de secetă, stres hidric, toleranță la secetă, plante, tehnici experimentale, polietilenglicol (PEG), regim de irigare.

METHODOLOGICAL APPROACHES IN THE STUDY OF HYDRIC STRESS IN PLANTS

Drought significantly affects plant growth and development, having a negative impact on the productivity of crops and, respectively, on food security worldwide. To predict the response of agricultural crops to future global warming and water deficit and to develop effective risk management strategies, there is a need to understand, at various levels of organization, the processes that determine tolerance to adverse environments. In this context it is important to use appropriate models of hydric stress induction and response assessment.

The paper presents a brief description of the methodological approaches used in plant drought stress studies (field, greenhouse, laboratory experiments; experimental models using different types of substrates; distinct methods to induce water deficit), reflects their particularities, advantages and limitations and highlights the importance of combining and adapting methods of analysis according to the studied species, the environment and the research objectives.

Keywords: drought stress, hydric stress, drought tolerance, plants, experimental techniques, polyethylene glycol (PEG), irrigation regime.

Introducere

Creșterea concentrației gazelor cu efect de seră și a temperaturilor medii la nivel global, determinată de factori antropogeni, conduce la fenomene meteorologice extreme și secete din ce în ce mai severe. Acestea afectează semnificativ productivitatea culturilor agricole și securitatea alimentară la nivel mondial. În vederea diminuării impactului negativ al deficitului de apă asupra producției agricole se implementează diferite strategii, inclusiv crearea și introducerea în cultură a genotipurilor rezistente la secetă, gestionarea câmpurilor de irigare și utilizarea echipamentelor de irigare care economisesc apa [1]. Între timp, rezistența la secetă este o trăsătură complexă controlată de un număr mare de gene, rezultată din interacțiunea dintre diferiți constituenți de bază sau trăsături adaptive, fiecare dintre acestea putând fi supusă unor schimbări genetice și de mediu complexe. Prin urmare, dezvoltarea și evaluarea soiurilor de culturi tolerante la secetă și screening-ul pentru trăsăturile asociate cu rezistența la secetă sunt necesare pentru a diminua riscurile și a asigura o producție alimentară durabilă în scenariile climatice viitoare [2].

Pentru a prezice răspunsul plantelor de cultură la încălzirea globală ulterioară și deficitul de apă este nevoie să se înțeleagă, la diverse nivele de organizare, procesele care determină toleranța plantelor la mediile nefavorabile. Evaluarea reacției de răspuns a plantelor la stresul determinat de secetă reprezintă un

domeniu de cercetare vital, care oferă informații valoroase pentru dezvoltarea și implementarea practicilor agricole sustenabile și conservarea resurselor de apă, contribuie la eficientizarea programelor de ameliorare a plantelor.

Cercetătorii sunt focusați pe explorarea complexității răspunsurilor plantelor la condițiile de deficit de apă și acumularea de date despre adaptările fiziologice, moleculare și metabolice. Obiectivele specifice includ evaluarea performanței fiziologice a plantelor supuse stresului hidric, identificarea genelor și proteinelor implicate în mecanismele de apărare. Metodologiile de studiu a stresului hidric cuprind o varietate de abordări, începând de la experimente de teren, evaluări ale parametrilor morfo-anatomici, cercetări fiziologice, cum ar fi măsurarea ratei de transpirație, conținutului de apă în țesuturi etc., până la metode moderne de laborator, precum analizele genetico-moleculare și proteomice, inclusiv reacția de polimerizare în lanț în timp real, secvențierea ARN-ului.

Progresul în dezvoltarea germoplasmei rezistente la secetă depinde de eficiența metodelor de ameliorare și evaluare a trăsăturilor asociate cu toleranța la secetă, iar fenotiparea implică o definiție precisă a mediilor țintă, gestionarea și caracterizarea stresului hidric [3].

Prezenta lucrare reflectă un șir de aspecte metodologice și tehnici utilizate în studiul stresului hidric și pune în evidență diverse modele de simulare a stresului hidric.

Tipul experiențelor de evaluare a toleranței la secetă.

Evaluarea reacției plantelor la stresul hidric poate fi realizată în:

- experiențe de laborator,
- condiții de seră cu regim termic și de irigare controlat, precum și
- condiții naturale de câmp.

Evaluarea reacției plantelor la secetă în condiții de laborator și sere

Ținând cont de faptul că analiza unui număr mare de genotipuri în câmp este dificilă din cauza proprietăților chimice și fizice ale solului și a fluctuațiilor sezoniere, inițial selecția genotipurilor rezistente la secetă se realizează printr-un screening la faza de laborator, urmat de evaluarea performanțelor agromorfologice în sere sau câmp. Fenotiparea la faza de laborator poate economisi timp, spațiu și resurse și are un rol crucial în selecția genotipurilor pentru includerea în testele de teren care urmează să fie efectuate într-un anumit mediu [4].

Cultura de celule și țesuturi vegetale este un instrument util pentru studierea mecanismelor de toleranță la stres în condiții *in vitro*. Tehnicile *in vitro* permit discriminarea rapidă a unui număr mare de genotipuri pentru toleranța la stres. Un alt aspect important de luat în considerare este controlul parametrilor de mediu și nivelul de stres generat și omogenitatea acestuia, precum și replicabilitatea analizelor [5].

Între timp, în cadrul experiențelor realizate în seră, suprafața necesară este mult mai mare decât în cazul testelor de laborator, totodată sunt necesare sisteme de irigare.

Evaluarea reacției plantelor la secetă în condiții de câmp este esențială pentru înțelegerea modului în care acestea răspund la factorii complecși, eterogeni, prezenți în mediile de câmp. Efectuarea experiențelor de teren implică cultivarea plantelor în diverse medii naturale (câmpuri agricole, ecosisteme naturale sau terenuri experimentale) pentru a observa modul în care se dezvoltă și răspund la condițiile locale. Aceste experiențe includ variabile controlate, cum ar fi cantitatea de apă furnizată plantelor sau tipurile de sol utilizate însă și multe componente ale mediului care rămân variabile, reflectând astfel condițiile reale ale terenului.

În scopul evaluării comportamentului plantelor în condiții reale de teren în contextul stresului hidric sunt importante câteva aspecte:

- selectarea arealului de studiu, este important să se selecteze areale cu condiții endogene de mediu, care reflectă variabilele climatice și ale solului, unde urmează a fi cultivată cultura inclusă în studiu, pentru a obține date relevante și reprezentative;

- monitorizarea parametrilor cheie, esențiali pentru evaluarea răspunsului plantelor la stresul hidric. În acest context, este important să fie corect definită trăsătura dorită, deoarece termenul de „răspuns la secetă” are multiple semnificații și poate fi evaluat în baza diferitor însușiri [6]. Pentru a descrie răspunsurile plantelor

la stres în literatura de specialitate sunt utilizați diferiți termeni (ca ex. rezistență, toleranță, reziliență, supraviețuirea ș.a.), fiind necesar ca aceștia să fie formulați foarte clar în funcție de scopul studiului și specificul plantei [7].

De regulă, investigațiile axate pe identificarea toleranței la secetă la culturile de tipul grâului, florii-soarelui, porumbului etc. se concentrează pe evaluarea productivității sau trăsăturilor asociate cu productivitatea și, mai puțin, pe supraviețuirea acestora, întrucât în cazul unei rate înalte de supraviețuire a plantei tolerante la secetă nu este exclus să fie înregistrată o recoltă foarte redusă [8].

Unul dintre obiectivele majore ale cercetării agronomice constă în relevarea unor trăsături asociate cu productivitatea, care sunt ușor de măsurat la faze cât mai timpurii de dezvoltare a plantei, și permit selectarea genotipurilor cu cele mai bune performanțe pentru includerea în evaluările ulterioare și eficientizarea procesului de ameliorare la toleranță la secetă. În afară de evaluarea directă a randamentului printre trăsăturile evaluate în mod obișnuit se enumeră: supraviețuirea plantelor după stresul hidric și rehidratarea ulterioară, conductanța stomatelor, asimilarea carbonului, eficiența utilizării apei, eficiența transpirației, conținutul relativ de apă, conținutul de clorofilă, biomasa înainte de recoltare, greutatea plantei, înălțimea plantei, lungimea rădăcinii și timpul de înflorire [9].

- utilizarea tehnologiilor de monitorizare, tehnologii care pot fi folosite pentru a monitoriza schimbările în timp real ale plantelor și variațiile mediului în care cresc, cum ar fi senzorii, camerele de termoviziune, imagistică satelitară etc. Utilizarea senzorilor și a tehnologiilor de monitorizare poate oferi date precise și detaliate despre parametri precum umiditatea solului, temperatura aerului, lumina solară, absorbția de apă a plantelor și alte condiții în timp real relevante pentru studiul stresului hidric. Utilizarea imaginilor satelitare și a dronelor este esențială pentru a cartografia și monitoriza plantațiile și ecosistemele în diverse regiuni geografice identificând modele și tendințe în comportamentul plantelor la scară largă [10-12];

- analiza și interpretarea rezultatelor experimentale prin implicarea diferitor instrumente de analiză statistică (ex.: analiza regresiei, varianței, analiza componentei principale, clusterizare, corelații etc.) reprezintă o etapă crucială în înțelegerea comportamentului plantelor sub diferite condiții de stres hidric sau alte condiții de mediu. În cadrul acestui proces trebuie să se ia în considerație și interacțiunile complexe dintre factorii de mediu, genetica plantelor, tendința și relațiile dintre diferite variabile;

- studiile comparative între diferite areale și condiții climatice care prevede compararea comportamentului plantelor în diferite medii și poate ajuta la înțelegerea modului în care acestea se adaptează și răspund la stresul hidric. Aceste studii pot evidenția variațiile genetice și ecologice în răspunsurile plantelor și pot oferi informații utile pentru gestionarea și conservarea ecosistemelor.

Modele de evaluare a stresului hidric pe diferite tipuri de substraturi

Deși metodele de studiu a stresului cauzat de secetă sunt foarte variate, unii autori [13] le clasifică în funcție de tipul de substrat după cum urmează:

- pe bază de sol (sau amestecuri cu nisip, turbă etc., precum și substraturi inerte, așa ca vermiculitul sau perlita, folosirea cărora permite colectarea cu ușurință și fără deteriorare a rădăcinilor plantelor supuse stresului [14]),

- medii apoase (hidroponică) și

- agarizate.

Mediile pe bază de sol. Avantajul evident al acestei strategii model este asemănarea strânsă a condițiilor experimentale cu seceta reală din natură și agricultură. În acest caz, scăderea potențialului de apă (Ψ_w) a solului se stabilește prin scăderea treptată sau întreruperea imediată a udării plantelor [15]. Cu toate acestea, dificultatea de a controla Ψ_w a substratul reprezintă o limitare esențială a acestei abordări. În această configurație experimentală, severitatea stresului cauzat de secetă este determinată de ratele de evaporare a apei de la suprafața solului și de consumul de către plantă, care nu pot fi definite de către cercetători și depind de mai mulți factori [13].

Medii apoase (hidroponică). Hidroponica este un instrument major de modelare științifică, facilitând controlul precis asupra tratamentului și observarea consecventă a efectelor tratamentului.

De regulă plantele sunt cultivate în tuburi/vase ce conțin soluții de substanțe nutritive, deficitul de apă

fiind creat prin utilizarea diferitor agenți osmolitici, cum ar fi NaCl, manitol, sorbitol sau polietilenglicol (PEG). Stresul hidric aplicat în medii lichide este mai controlat și mai omogen decât în sistemele bazate pe sol. Cu toate acestea, moleculele mici, cum ar fi manitolul, sunt ușor absorbite de rădăcini și pot afecta metabolismul plantelor și răspunsurile la secetă. Soluțiile de NaCl pot fi potrivite, în special, pentru studiile pe termen scurt al stresului. PEG crește vâscozitatea soluției și reduce furnizarea de oxigen către rădăcinile plantelor, fiind necesară oxigenarea suplimentară [16]. Inducerea stresului hidric în medii apoase se utilizează cu succes la floarea-soarelui [17], grâu, porumb [18], trestia de zahăr [19].

Mediile agarizate ce conțin PEG introdus prin difuzie, conform metodei descrise de van der Weele [20], au fost folosite în studiul stresului hidric la plantele de *Arabidopsis thaliana* [21], la *Fragaria* [22] etc. Totodată, deficitul de apă poate fi creat prin pregătirea agarului cu concentrație redusă de apă, ca ex. metoda bazată pe utilizarea agarului cu diferite concentrații a fost utilizată pentru a induce unele niveluri de stres la *Stevia rebaudiana* Bertoni. [23], cartof [24].

Gonzalez și coautorii [25] au relevat răspunsuri transcripționale distincte, în rădăcinile de *Arabidopsis* supuse stresului hidric prin uscarea substratului (vermiculit) și tratamente cu potențial scăzut de apă pe plăci de agar (și invers). În plus, am testat, de asemenea, o altă metodă prin scăderea potențialului de apă al mediului agarizat.

Avantajele și dezavantajele folosirii diferitor substraturi în experiențele de inducere a stresului hidric sunt generalizate în tabelul 1.

Metode de inducere a deficitului hidric

Deși metodele de studiu a stresului cauzat de secetă sunt foarte variate, o caracteristică comună a majorității acestora este reducerea potențialului de apă (Ψ_w) în substrat sau mediul de creștere, la nivelul sistemului radicular al plantelor. Metodele individuale au diferite limitări de aplicabilitate și variază, în mod esențial, în funcție de obiectivele cercetărilor și baza tehnico-materială disponibilă.

Inducerea stresului osmotic. Numeroase studii de laborator se bazează pe simularea secetei prin aplicarea stresului osmotic, adică creșterea presiunii osmotice medii în comparație cu cea a țesuturilor plantelor. Evenimente similare apar în sol atunci când conținutul de apă scade (datorită evaporării și absorbției de către plantă) și concentrațiile de substanțe dizolvate cresc, rezultând o componentă osmotică crescută a potențialului Ψ_w [26], ceea ce corespunde secetei naturale. Această abordare permite ajustarea Ψ_w și monitorizarea eficientă a nivelului său, cu o precizie ridicată și reproductibilitate a datelor. De obicei, Ψ_w de 0 până la -0,3 MPa sunt caracteristice pentru plantele bine udate, valorile sub -0,4 MPa corespund unui stres moderat de apă, în timp ce potențialele de -1,5 până la -2,0 MPa reprezintă un stres sever [27].

Tabelul 1. Avantajele și limitările metodelor de inducere a stresului hidric pe diferite tipuri de substrat [13].

Nr.	METODE	EFICIENȚĂ	
		avantaje	limitări
1.	pe bază de sol	<p>Gradul înalt de similaritate cu seceta reală din natură.</p> <p>Posibilitatea controlului regimului de apă prin folosirea unor sisteme automate de irigare.</p>	<p>Dificultatea controlului potențialului apei (Ψ_w) din sol, severitatea stresului cauzat de secetă fiind determinată de ratele de evaporare a apei de la suprafața solului și de consumul de către plantă, care depind de mai mulți factori.</p> <p>Imposibilitatea analizei răspunsurilor la secetă pe termen lung (acumularea de metaboliți sau proteine osmoprotectoare, modificări ale peretelui celular etc.).</p> <p>Imposibilitatea reproducerii condițiilor de deshidratare severă.</p> <p>Reproductibilitatea și predictibilitatea redusă.</p>

2.	medii apoase	Posibilitatea de a controla și a reduce ușor Ψ_w mediului de creștere prin expunerea parțială (sau totală, pe diferite perioade de timp) a rădăcinilor la aer sau prin adăugarea la soluțiile nutritive a substanțelor osmolitice.	În cazul expunerii la aer este nevoie de a se ține cont de faptul că gradul de deshidratare depinde în mare măsură de umiditatea aerului.
3.	medii agarizate	Creșterea plantelor pe medii agarizate permite evitarea sau reducerea cazurilor de apariție a stării de hipoxie. Datorită caracterului constant al Ψ_w , modelul de infuzie cu PEG pe mediul în bază de agar este mai avantajos în comparație cu cele bazate pe sol sau hidroponică.	Procedura laborioasă determinată de dificultatea în folosirea agentului osmotic polietilenglicol (PEG) direct în componența mediului, întrucât acesta afectează solidificarea agarului. Astfel, modificarea Ψ_w în mediile agarizate se realizează prin difuzarea PEG-ului dintr-o soluție concentrată pe suprafața mediului solidificat, urmată de decantarea soluției de PEG și transferul plantulelor pe mediul care conține osmolitul.

Consecințele stresului osmotic se manifestă prin inhibarea alungirii celulelor, închiderea stomatelor, reducerea activității fotosintetice, perturbări în absorbția apei și ionilor, translocarea substanțelor asimilate și modificări ale diferitelor procese metabolice, variate în funcție de speciile de plante, faza de dezvoltare, precum și durata și severitatea secetei [28].

Elementul cheie al modelelor date de studiu este selectarea unui agent osmotic adecvat, fiind analizate curbele doză-răspuns ale anumitor osmoliți. Pentru a stimula stresul osmotic în celula vegetală pot fi folosite substanțe cu masă moleculară mică și medie sau mare. Osmoliții cu masă moleculară mică pot fi ionici (de exemplu, NaCl, KCl) și neionici (manitol, sorbitol), aceștia exercită efecte secundare negative puternice asupra plantei, penetrând cu ușurință pereții celulari și membranele plasmactice, crescând presiunea osmotică intracelulară și ducând la plasmoliza [29]. Din categoria agenților osmotici cu masă moleculară mare se distinge polietilenglicolul – un polimer natural, solubil în apă, cu masă cuprinsă între 200-15000 Da, pentru inducerea secetei fiind utilizat, în special, PEG-6000.

Sărurile solubile în apă, cum ar fi clorura de sodiu (NaCl), folosite inclusiv pentru inducerea stresului salin, provoacă un stres dublu ce include o componentă osmotică și una de stres ionic, care modifică titrul și distribuția ionilor, afectează puterea ionică și declanșează procesul de transport ionic, exercitând, finalmente, un efect drastic asupra plantelor (afectează formarea clorofilei, reduce rata fotosintezei și transpirației). Imediat după expunerea la stres, componenta osmotică este principalul inductor al răspunsurilor la stres, declanșând închiderea stomatelor și inhibarea creșterii. După câteva zile sau săptămâni, ionii de Na^+ absorbiți de plante au efect toxic inhibând activitatea enzimatică și facilitând absorbția altor ioni toxici precum Li^+ și K^+ [30]. În afara de stresul osmotic și ionic mediile saline cauzează stresul oxidativ la plante, ceea ce duce la acumularea speciilor reactive de oxigen în celule și, ulterior, la deteriorarea membranele celulare, afectând funcțiile celulare esențiale. Plantele răspund la stres prin modularea diverselor trăsături morfo-fiziologice, anatomice și biochimice prin reglarea homeostaziei și a compartimentării ionilor, a mecanismelor antioxidante și a biosintezei osmoprotectorilor și a fitohormonilor [31].

Studiul efectului stresului osmotic indus de combinația dintre clorură de sodiu și PEG6000 asupra performanței ecofiziologice a două specii de fistic (*Pistacio khinjuk* și *P. mutica*) și la porumb a relevat o influență mai puțin pronunțată, comparativ cu aplicarea separată a agenților osmotici [32].

Sorbitolul și manitolul pot să se implice în metabolismul celular afectând direct rezultatele experimentului. Nivelurile ridicate de stres determinate de manitol și sorbitol declanșează răspunsuri transcripționale majore și efecte fenotipice ușor vizibile și măsurabile, cum ar fi etiolarea, modificarea formei frunzelor, inhibarea germinării, creșterii rădăcinilor și sunt, prin urmare, utilizate în majoritatea studiilor de stres [33].

Din această cauză, utilizarea osmoliților polimerici inerti biologic este preferabilă și avantajoasă. Prin urmare, în prezent, modelele de stres cauzat de secetă se bazează, preponderent, pe polietilenglicol (PEG) – un osmolit cu greutate moleculară mare, care nu penetrează peretele celular.

Polietilenglicolul este adăugat la mediul de cultură, substrat sau soluția de creștere a plantelor pentru a induce un potențial osmotic negativ, imitând condițiile de deficit de apă. PEG-ul nu reacționează cu substanțele chimice sau compușii biologici, nu pot fi absorbite de plante, nu este toxic, nu provoacă leziuni celulare sau fiziologice directe. Substanța dată poate modifica potențialul osmotic al mediului nutritiv într-un mod relativ controlat, diferite nivele de stres fiind ușor modelate prin varierea concentrației soluției de polimer. Totodată, acesta are proprietăți puternice de absorbție a apei și poate deshidrata celulele plantelor simulând stresul cauzat de secetă [34-36].

Utilizarea PEG-6000 este o metodă eficientă de inducere a stresului hidric controlat în plante, la diferite faze de dezvoltare (germinarea semințelor, faza de plantulă), în experiențe ce implică diferite tipuri de substrat – apă, soluții/medii nutritive, sol, nisip ș.a., fiind aplicată cu succes pentru a evalua răspunsurile fiziologice și moleculare la diferite specii de plante. Studii recente în domeniu au fost raportate cu referire la floarea-soarelui [37, 38], grâu [39, 40], orz [41], lucernă [42], cartof [43], tomate [44] etc.

Experimentele realizate în medii apoase pe bază de PEG permit configurarea experimentelor de recuperare (rehidratare) prin transferul plantelor stresate în soluție nutritivă fără PEG sau prin schimbul soluției [45]. Pe de altă, la aplicarea metodologiei date condițiile de mediu pot fi foarte diferite de condițiile reale din câmp. În plus, este practic imposibil de a evalua randamentul culturilor, experiențele în sere sau câmp rămânând a fi actuale. În aceste cazuri deficitul de apă se induce, în special, prin modificarea regimului de irigare.

Modificarea regimului de irigare (în câmp și sere)

Deficitul de apă este adesea indus printr-o irigare deficitară – întreruperea acesteia sau reducerea până la un anumit procent din capacitatea de apă a solului câmpului, cât și prin reducerea ratei de evapotranspirație [34].

Întreruperea irigației este cea mai simplă și ușor de aplicat metodă de evaluare a toleranței la stresul hidric. Metoda dată a fost aplicată, în experiențe realizate în seră, la plantele de plop în scopul investigării răspunsurilor fiziologice și transcriptomice [46]. La diverse soiuri de măslin din bazinul mediteranean au fost evaluați un șir de indici ca conținutul de clorofilă, suprafața foliară a frunzelor, rata de asimilare, transpirația, conductanța stomatelor, eficiența fotosintetică, cinetica reacțiilor fotochimice etc., precum și indicatori ai stresului oxidativ, secetă moderată, fiind indusă prin întreruperea irigației după 14 zile, iar cea severă, prin absență totală a irigațiilor după 28-42 de zile [47].

Drept limitări de aplicare a metodei se remarcă dificultatea de a controla nivelul stresului, o multitudine de condiții variind în funcție de faza de dezvoltare a plantei, condițiile de creștere, materialul vegetal etc. În dependență de acestea variază și răspunsul plantelor, fapt ce creează impedimente la discriminarea germoplasmei după criteriul de toleranță la secetă [48]. Ca exemplu, întreruperea irigației la grâu, la faza de înflorire a condus la reducerea numărului de boabe și respectiv, a recoltei cerealelor, în timp ce impunerea stresului hidric în stadiul de formare (alungire) a paiului a determinat o reducere mai mare a înălțimii plantei [49].

De asemenea, la aplicarea metodei cercetătorii ar trebuie să ia în considerare faptul că oprirea completă a irigației cauzează uscarea rapidă și ar putea împiedica adaptarea plantei la noile condiții. Totodată, rata de evapotranspirație a unei culturi poate varia spațial și temporal, astfel încât o perioadă lungă de timp fără irigare nu implică neapărat un nivel mare de stres pentru cultură [50].

Udare la diferite niveluri de capacitate de câmp pentru apă. Capacitatea de câmp pentru apă (CC), se referă la conținutul de apă al solului sau al substratului plantei după ce a fost saturat cu apă și ulterior drenat până când scurgerea apei nu mai este semnificativă. Spre deosebire de metoda de întrerupere a alimentării cu apă, această abordare asigură că un anumit nivel de apă este disponibil pentru plantă. Capacitatea de câmp pentru apa utilizată pentru inducerea stresului hidric la plante variază în funcție de obiectivul și obiectul de studiu. Astfel, pentru a induce un stres sever la Solanacee, valorile CC variază de la 10 la 35%, în timp ce la stresul moderat acestea variază de la 40 la 75%. Totodată, nivelul de stres depinde și de durata expunerii [34].

Cu toate că abordările date se aplică cu succes la un șir de culturi importante, precum grâul [51], floarea-soarelui [52], ele prezintă un șir de dezavantaje și anume lipsa, în multe zone, a instalațiilor de irigare, deficiența în control, întrucât nivelul apei din sol și condițiile de mediu pot varia foarte mult, metoda fiind considerată instabilă și cu un grad redus de replicabilitate.

Evapotranspirația culturilor în condiții deficitare de apă reprezintă un studiu complex ce oferă informații atât cu referire la reacția plantelor, cât și o bază teoretică pentru dezvoltarea programelor regionale de irigare adecvate și reducerea pierderilor din cauza secetei agricole. Evapotranspirația (ET) este combinația dintre pierderea de apă prin evaporarea de la suprafața solului și transpirația culturilor. Acest concept include diferite definiții: evapotranspirația de referință (ET₀), care este un parametru legat de puterea de evaporare a unui anumit mediu atmosferic, cu o suprafață de referință și fără restricții de apă, în timp ce evapotranspirația culturii (ET_c) se referă la evapotranspirația unei anumite culturi, în condiții optime, într-un mediu atmosferic specific [34, 53].

Astfel, reducerea irigației la doar 20% din ET_c la tomate, în condiții de câmp, a dus la reduceri semnificative ale suprafeței foliare și ratei de fotosinteză [54]. La aplicarea unor niveluri mai puțin restrictive, prin irigarea plantelor de tomate la 75% și 50% din ET_c până la atingerea stadiului de început de coacere a fructelor, au descoperit că plantele irigate cu 75% ET_c nu au fost foarte afectate, deși s-au observat reduceri semnificative de randament la plantele irigate cu 50% ET_c [55]. Estimarea evapotranspirației porumbului în condiții de secetă a relevat faptul că un ușor deficit de apă în timpul etapei incipiente a creșterii vegetative poate stimula mecanismul homeostatic al porumbului și crește toleranța la stresul de secetă în perioadele ulterioare de creștere, pe când continuarea stresului la faza de alungire a culturii a determinat reducerea semnificativă a evapotranspirației, seceta exercitând o influență mai mare asupra etapelor mijlocii și ulterioare ale creșterii vegetative și reproductive [56].

Determinarea cerințelor ET ale unei culturi aflate sub stres hidric este complexă, iar utilizarea unui procent din ET_c duce adesea la irigare excesivă sau insuficientă, în funcție de dacă ET₀ este ridicat sau scăzut. Prin urmare, deși este o metodă practică în condiții de câmp, procentul utilizat într-un mediu poate avea un efect diferit asupra culturii atunci când este evaluat într-un alt mediu [34].

Limitarea aportului de apă în studiile realizate în ghivece

Limitarea aportului de apă în studiile realizate în ghivece se realizează în diverse moduri, printre care uscarea pasivă prin reținerea irigației [57], reducerea presiunii apei în interiorul tuburilor microporoase [58] sau atașarea unei pompe de vid la ghivece [59], reducerea cantității de apă disponibilă pentru plante prin evaporare controlată, fie prin absorbția apei cu ajutorul unor materiale absorbante. Metodele enunțate prezintă un șir de dezavantaje, precum rate rapide de uscare care nu imită în mod adecvat deficitul natural de apă din sol, necesitatea implicării unor aparate și logistică complexă. Una dintre cele mai frecvent utilizate metode este uscarea la aer și cântărirea regulată a vaselor individuale, adăugând cantități precise de apă pentru a echilibra pierderile de apă din transpirație și pentru a stabili conținutul țintă de apă din sol. Această abordare simulează cu succes stresul de secetă și poate fi realizată manual, este o sarcină laborioasă și consumatoare de timp, în special pentru experimente mari ce includ un lot mare de plante [34, 60].

O metodă descrisă de Snow și Tingey [61] prevede utilizarea unor coloane solide cu permeabilitate scăzută la apă pentru a separa zona rădăcinii de o pânză freatică. Ulterior au fost propuse un șir de modificări ale sistemului Snow and Tingey, o modificare simplă și ieftină constând în folosirea blocurilor de spumă florală comercială ca mijloc pentru stabilirea deficitului de apă din sol al plantelor în ghivece [62]. O modificare recentă a metodei sistemului dat se bazează pe irigarea capilară, utilizată pentru a controla conținutul de apă din sol al plantelor în ghivece, care sunt plasate deasupra unei coloane testată prin măsurarea răspunsurilor fiziologice a unui subset de 11 specii de arbori/arbuști prezintă o multitudine de avantaje, precum – mai puțină întreținere și manipulare manuală în comparație cu alte metode cu deficit de apă, astfel încât poate fi utilizată pentru perioade lungi de timp și este relativ ieftin de implementat. Totodată, este posibil să se stabilească și să se mențină cu ușurință deficitul de apă din sol de diferite intensități și durate, precum și să se încorporeze factori de stres care interacționează [60].

Concluzii

Analiza literaturii de specialitate a pus în evidență importanța elaborării unui design experimental adecvat de inducere a stresului hidric, în funcție de obiectivele studiului și problema științifică de interes. Indiferent de metoda aleasă, este important să se monitorizeze cu atenție stresul indus pentru a evita deteriorarea ireversibilă a plantelor și pentru a interpreta corect rezultatele experimentului. De asemenea, trebuie să se ia în considerare că diferite specii de plante pot răspunde diferit la aceste modele de stres hidric. În acest context, diverse metode pot fi aplicate individual sau în combinație, pot fi propuse multiple modificări ale configurațiilor experimentale ale modelului de secetă, care permit monitorizarea diferitelor aspecte ale stărilor funcționale ale plantelor.

Aplicarea metodologiilor eficiente permit acumularea de date ce asigură înțelegerea mai profundă a modului în care plantele interacționează cu mediul înconjurător și cum pot fi gestionate pentru a face față stresului hidric și altor provocări climatice în context real. Aceste informații pot fi valoroase pentru dezvoltarea de practici agricole durabile și reziliente la schimbările climatice.

Evaluarea comportamentului plantelor în condiții reale de teren reprezintă o componentă esențială a cercetării agricole și a practicilor agricole sustenabile, contribuind la selectarea și introducerea în cultură a genotipurilor tolerante, îmbunătățirea utilizării resurselor limitate de apă. În timp ce experiențele controlate în condiții de laborator sau în sere pot fi mult mai utile pentru a înțelege mecanismele moleculare și fiziologice implicate în răspunsul plantelor la stresul hidric, sunt mult mai ușor și rapid de realizat, implică mai puține resurse și spațiu. Cel mai des aplicate la diverse specii de plante sunt modelele de stres indus cu PEG.

Referințe:

1. MORISON, J. I. L., BAKER, N. R., MULLINEAUX, P. M., DAVIES, W. J. *Improving water use in crop production*. In: *Philos. Trans. R. Soc. B.: Biol. Sci.* 2008, nr. 363(1491), p. 639–658. ISSN 0962-8436.
2. GAMBETTA, G. A., HERRERA, J. C., DAYER, S., FENG, Q., HOCHBERG, U., CASTELLARIN, S. D. *The physiology of drought stress in grapevine: towards an integrative definition of drought tolerance*. In: *J. Exp. Bot.* 2020, nr. 71(16), p. 4658–4676. ISSN 1460-2431.
3. MONNEVEUX, P., JING, R., MISRA, S. C. *Phenotyping for drought adaptation in wheat using physiological traits*. In: *Front. Physiol.* 2012. DOI: 10.3389/fphys.2012.00429. ISSN 1664-042X.
4. MOSHELION, M., ALTMAN, A. *Current challenges and future perspectives of plant and agricultural biotechnology*. In: *Trends in Biotechnology*, 2015, nr. 33, p. 337–342. ISSN 0167-7799.
5. ANITHAKUMARI, A. M., DOLSTRA, O., VOSMAN, B. et al. *In vitro screening and QTL analysis for drought tolerance in diploid potato*. In: *Euphytica*, 2011, nr. 181, p. 357–369. ISSN 1573-5060.
6. PASSIOURA J. *Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders?* In: *Functional Plant Biology*, 2012, nr. 39, p. 851–859. ISSN 1445-4408.
7. KHAYATNEZHAD, M., ZAEIFIZADEH, M., GHOLAMIN, R. *Investigation and Selection Index for Drought Stress*. In: *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2010, nr. 4(10), p. 4815-4822. ISSN 1991-8178.
8. GHANEM, M. E., MARROU, H., SINCLAIR, T. R. *Physiological phenotyping of plants for crop improvement*. In: *Trends in Plant Science*, 2015, nr. 20, p. 139–144. ISSN 1360-1385.
9. NEGIN, B., MOSHELION, M. *The advantages of functional phenotyping in pre-field screening for drought-tolerant crops*. In: *Funct Plant Biol.* 2016, nr. 44(1), p. 107-118. ISSN 1445-4408.
10. RAJAK, P., GANGULY, A., ADHIKARY, S., BHATTACHARYA, S. *Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges*. In: *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, vol. 14, 100776. ISSN 2666-1543.
11. QUEMADA, C., PÉREZ-ESCUADERO, J. M., GONZALO, R. et al. *Remote Sensing for Plant Water Content Monitoring: A Review*. In: *Remote Sens.* 2021, 13, 2088. <https://doi.org/10.3390/rs13112088>. ISSN 2072-4292.
12. DUFFY, J. P., ANDERSON, K., FAWCETT, D. et al. *Drones provide spatial and volumetric data to deliver new insights into microclimate modelling*. In: *Landscape Ecol.* 2021, nr. 36, p. 685–702. ISSN 1572-9761.
13. OSMOLOVSKAYA, N., SHUMILINA, J., KIM, A. et al. *Methodology of Drought Stress Research: Experimental Setup and Physiological Characterization*. In: *The International Journal of Molecular Sciences*, 2018, nr. 17;19(12):4089. DOI: 10.3390/ijms19124089. ISSN 1422-0067.

14. SEMINARIO, A., SONG, L., ZULET, A. et al. *Drought stress causes a reduction in the biosynthesis of ascorbic acid in soybean plants*. In: *Front in plant science*, 2017, nr. 15, 8:1042. ISSN 1664-462X.
15. TODAKA, D., ZHAO, Y., YOSHIDA, T. et al. *Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions*. In: *The Plant Journal*, 2017, nr. 90, p. 61–78. ISSN 0960-7412.
16. SHAVRUKOV, YU., GENC, Y., HAYES, J. *The Use of Hydroponics in Abiotic Stress Tolerance Research, Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*, InTech, 2012, p. 39-66. ISBN: 978-953-51-0386-8.
17. VASSILEVSKA-IVANOVA, R., SHTEREVA, L., KRAPTCHEV, B., KARCEVA, T. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L) genotypes to PEG-mediated water stress. In: *Open Life Sciences*, 2014, vol. 9, no. 12, p. 1206-1214. ISSN 2391-5412.
18. TODOROVA, D., KATEROVA, Z., SHOPOVA, E. et al. *The Physiological Responses of Wheat and Maize Seedlings Grown under Water Deficit Are Modulated by Pre-Application of Auxin-Type Plant Growth Regulators*. In: *Plants*, 2022, 11, 3251. ISSN 2223-7747.
19. ARNEL J. O. R., CASAS, D. E., GANDIA, J. L. et al., *Polyethylene glycol-induced drought stress screening of selected Philippine high-yielding sugarcane varieties*. In: *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, Nr. 14, 100676, ISSN 2666-1543.
20. VAN DER WEELE, C. M., SPOLLEN, W. G., SHARP, R. E., BASKIN, T. I. *Growth of Arabidopsis thaliana seedlings under water deficit studied by control of water potential in nutrient-agar media*. In: *Journal of Experimental Botany*, 2000, vol. 51, nr. 350, p. 1555-1562. ISSN: 0022-0957.
21. QUACH, T. N., TRAN, L.-S. P., VALLIYODAN, B. et al. *Functional Analysis of Water Stress-Responsive Soybean GmNAC003 and GmNAC004 Transcription Factors in Lateral Root Development in Arabidopsis*. In: *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, nr. 1: e84886. ISSN: 1932-6203.
22. CLAPA, D., HÂRȚA, M., *Effects of PEG 6000 stress on strawberry (Fragaria × Ananassa Duch.) In vitro propagation*. In: *Scientific Papers. Series B, Horticulture*, 2021, Vol. LXV, No. 1. ISSN 2285-5661.
23. LAHIJANIAN, S., ESKANDARI, M., AKHBARFAR, Gh. et al. *Morphological, physiological and antioxidant response of Stevia rebaudiana under in vitro agar induced drought stress*. In: *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, Vol. 11, 100495. ISSN 2666-1543.
24. GOPAL, J., IWAMA, K. & JITSUYAMA, Y. *Effect of water stress mediated through agar on in vitro growth of potato*. In: *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*, 2008, nr. 44, p. 221–228. ISSN 1475-2689.
25. GONZALEZ, S., SWIFT, J., YAARAN, A. et al. *Arabidopsis transcriptome responses to low water potential using high throughput plate assays*. In: *bioRxiv* 2022. <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.11.25.517922v3>
26. HELLAL, F. A., EL-SHABRAWI, H. M., ABD EL-HADY, M. et. al., *Influence of PEG induced drought stress on molecular and biochemical constituents and seedling growth of Egyptian barley cultivars*. In: *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 2018, nr. 16, p. 203–212. ISSN: 2090-5920.
27. HASWELL, E. S., VERSLUES, P. E. *The ongoing search for the molecular basis of plant osmosensing*. In: *The Journal of General Physiology*, 2015, nr. 145, p. 389–394. ISSN 1540-7748.
28. WANG, W., VINO CUR, B., ALTMAN, A. *Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance*. In: *Planta*, 2003, nr. 218, p. 1–14. ISSN: 0032-0935.
29. PANT, N. C., AGARRWAL, R., AGRAWAL, S. *Mannitol-induced drought stress on calli of Trigonella foenum-graecum L. Var. RMt-303*. In: *The Indian Journal of Experimental Biology*, 2014, nr. 52(11), p. 1128-1137. ISSN: 0019-5189.
30. DARKO, E., VÉGH, B., KHALIL, R. et al. *Metabolic responses of wheat seedlings to osmotic stress induced by various osmolytes under iso-osmotic conditions*. In: *PLoS One*, 2019, nr. 14(12):e0226151. ISSN 1932-6203.
31. ALHARBI, K., AL-OSAIMI, A. A., ALGHAMDI, B. A. *Sodium Chloride (NaCl)-Induced Physiological Alteration and Oxidative Stress Generation in Pisum sativum (L.): A Toxicity Assessment*. In: *ACS Omega*, 2022, Nr. 7(24), p. 20819-20832. ISSN 2470-1343.

32. RANJBARFORDOEI, A., SAMSON, R., LEMEUR, R. et al. *Effects of Osmotic Drought Stress Induced by a Combination of NaCl and Polyethylene Glycol on Leaf Water Status, Photosynthetic Gas Exchange, and Water Use Efficiency of Pistacia khinjuk and P. mutica*. In: *Photosynthetica*, 2002, Nr. 40, p. 165–169. ISSN: 1573-9058.
33. CLAEYS, H., VAN LANDEGHEM, S., DUBOIS, M. et al. *What is stress dose-response effects in commonly used in vitro stress*. In: *Plant Phys.* 2014, Nr. 165, p. 519-527. ISSN 1532-2548.
34. FLORES-SAAVEDRA, M., PLAZAS, M., VILANOVA, S., PROHENS, J., GRAMAZIO, P. *Induction of water stress in major Solanum crops: A review on methodologies and their application for identifying drought tolerant materials*. In: *Sci Horticulturae*, 2023, vol. 318, nr. 112105. ISSN: 0304-4238.
35. QI, Y., MA, L., GHANI, M. I. et al. *Effects of Drought Stress Induced by Hypertonic Polyethylene Glycol (PEG-6000) on Passiflora edulis Sims Physiological Properties*. In: *Plants*, 2023, Nr. 12, 2296. ISSN 2223-7747.
36. SIAGA, E., MAHARIJAYA, A., RAHAYU, M. S. *Plant Growth of Eggplant (Solanum melongena L.) In Vitro in Drought Stress Polyethylene Glycol (PEG)*. In: *BIOVALENTIA Biol. Res. J.* 2016, nr. 2, p. 10–17. ISSN 2477-1392.
37. LEI, C., BAGAVATHIANNAN, M., WANG, H. et al. *Osmopriming with Polyethylene Glycol (PEG) for Abiotic Stress Tolerance in Germinating Crop Seeds: A Review*. In: *Agronomy*, 2021, nr. 11, 2194. ISSN 2073-4395.
38. PORT, A., CLAPCO, S., DUCA, M., BURCOVSCHI, I., JOIȚA-PĂCUREANU, M. *Accumulation of dehydrin transcripts correlates with tolerance to drought stress in sunflower*. In: *Romanian Agricultural Research*, 2023, nr. 40, p. 51-63. ISSN: 1222-4227.
39. ULLAH, S., ADEEL, M., ZAIN, M., RIZWAN, M., IRSHAD, M. K., JILANI, G., HAMEED, A., KHAN, A., ARSHAD, M., RAZA, A., BALUCH, M. A., RUI, Y. *Physiological and biochemical response of wheat (Triticum aestivum) to TiO₂ nanoparticles in phosphorous amended soil: A full life cycle study*. In: *Journal of Env. Management*, 2020, vol. 263, nr. 110365. ISSN: 0301-4797.
40. SAȘCO, E. *Screening of wheat genotypes response under drought controlled conditions*. In: *Advanced Biotechnologies – Achievements and Prospects Scientific International Symposium (VIth Edition)*, 3-4 october, 2022, Chisinau. Chișinău: Editura USM, 2022, p. 223-225. ISBN 978-9975-159-81-4.
41. PETCU, E., VASILESC, L., PETCU, E., GRĂDIL, M., *Efectul secetei asupra unor caractere fiziologice implicate în realizarea producției la orzul de toamnă*. În: *AN. I.N.C.D.A. FUNDULEA*, 2020, vol. LXXXVI-II, p. 179-186. ISSN 2067–7758.
42. ZHANG, C., SHI, S. *Physiological and Proteomic Responses of Contrasting Alfalfa (Medicago sativa L.) Varieties to PEG-Induced Osmotic Stress*. In: *Frontiers in Plant Science*, 2018, vol. 9, nr. 242. ISSN: 1664-462X.
43. LIU, Z., COULTER, J. A., LI, Y., ZHANG, X., MENG, J., ZHANG, J., LIU, Y. *Genome-wide identification and analysis of the Q-type C2H2 gene family in potato (Solanum tuberosum L.)*. In: *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020, vol. 153, p. 327-340. ISSN: 0141-8130.
44. SALTANOVICI, T., ANTOCI, L. *Evidențierea genotipurilor de tomate rezistente la stresul hidric prin analiza grăuncioarelor de polen*. In: *Genetica, fiziologia și ameliorarea plantelor: conferință științifică internațională*, Ed. 6, 23-24 octombrie 2017, Chișinău. Chișinău: „Print-Caro” SRL, 2017, Ediția 6, pp. 68-71. ISBN 978-9975-56-463.
45. VERSLUES, P. E., AGARWAL, M., KATIYAR-AGARWAL, S. et al. *Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status*. In: *Plant J.* 2006, Nr. 45, p. 523–539. ISSN 2394-0530.
46. YANG, M., WANG, L., WANG, X., LI, Y., HUANG, H. *Transcriptomic Response to Drought Stress in Populus davidiana Dode*. In: *Forests*, 2023, vol. 14, nr. 1465. ISSN: 1999-4907.
47. RICO, E. I., DE LA FUENTE, G. C. M., MORILLAS, A. O., FERNÁNDEZ OCAÑA, A. M. *Physiological and biochemical study of the drought tolerance of 14 main olive cultivars in the Mediterranean basin*. In: *Photosynthesis Research*, 2024, vol. 159, p. 1-16. ISSN: 1573-5079.
48. PARKASH, V., SINGH, S. *A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops*. In: *Sustainability*, 2020, nr. 12, 3945. ISSN 2071-1050.

49. GUPTA, N., GUPTA, S., KUMAR A. *Effect of water stress on physiological attributes and their relationship with growth and yield of wheat cultivars at different stages*. In: *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2001. Nr. 186, p. 55-62. ISSN: 0931-2250.
50. CHRISTOU, A., DALIAS, P., NEOCLEOUS, D. *Spatial and temporal variations in evapotranspiration and net water requirements of typical Mediterranean crops on the island of Cyprus*. In: *J Agric Sci*, 2017, nr. 155(8), p. 1311-1323. ISSN 1916-9760.
51. GHARIB, H. S., MELEHA M. E. *The Mutual Effect of Withholding Irrigation at Some Growth Stages and Potassium Fertilizer on Yield and Water Productivity of Wheat*. In: *J. Plant Production*, 2016, vol. 7(12), p. 1303 -1313, ISSN. 1735-8043.
52. ZHEN, Z. J. H., YI, L., YU, H. et al. *Drought resistance identification and drought resistance index screening of sunflower germplasm resources at seedling stage*. In: *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2021, 39:228238. ISSN 1000-7601.
53. PEREIRA, L. S., ALLEN, R. G., SMITH, M., RAES, D., *Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future*. In: *Agric. Water Manag.*, 2015, Nr. 147, p. 4-20. ISSN: 1873-2283.
54. GALMÉS, J., OCHOGAVÍA, M., GAGO, J. et al. *Leaf responses to drought stress in Mediterranean accessions of Solanum lycopersicum: anatomical adaptations in relation to gas exchange parameters*. In: *Plant Cell Environ.*, 2013, nr. 36(5), pp. 920-935. ISSN 1365-3040.
55. TAKÁCS, S., PÉK, Z., CSÁNYI, D. et al. *Influence of Water Stress Levels on the Yield and Lycopene Content of Tomato*. In: *Water (Basel)*, 2020, nr. 12(8), p. 2165, ISSN 2073-4441.
56. YUAN, H., CUI, Y., NING, S. et al. *Estimation of maize evapotranspiration under drought stress - A case study of Huaibei Plain*. *PLoS One*, 2019, Nr. 14(11):e0223756. ISSN 1932-6203.
57. POORTER, H., FIORANI, F., STITT, M. et al. *The art of growing plants for experimental purposes: a practical guide for the plant biologist*. In: *Funct. Plant Biol.* 2012, Nr. 39(11), p. 821–838. ISSN 1445-4408.
58. STEINBERG, S. L., HENNINGER, D. L. *Response of the water status of soybean to changes in soil water potentials controlled by the water pressure in microporous tubes*. In: *Plant Cell Environ.* 1997, Nr. 20(12), p. 1506–1516. ISSN 1365-3040.
59. BUNCE, J. A., NASYROV, M. *A new method of applying a controlled soil water stress, and its effect on the growth of cotton and soybean seedlings at ambient and elevated carbon dioxide*. In: *Environ. Exp. Bot.* 2012, Nr. 77, p. 165–169. ISSN: 0098-8472.
60. MARCHIN, R. M., OSSOLA, A., LEISHMAN, M. R. *A Simple Method for Simulating Drought Effects on Plants*. In: *Frontiers in Plant Science*, 2020, Nr. 10. DOI=10.3389/fpls.2019.01715. ISSN=1664-462X.
61. SNOW, M. D., TINGEY, D. T. *Evaluation of a system for the imposition of plant water stress*. In: *Plant Physiol.* 1985, Nr. 77(3), p. 602–607. ISSN 1532-2548.
62. FERNÁNDEZ, R. J., REYNOLDS, J. F. *Potential growth and drought tolerance of eight desert grasses: lack of a trade-off?* In: *Oecologia*, 2000, Nr. 123(1), p. 90–98. ISSN 0029-8549.

Notă: Studiul a fost realizat în cadrul Subprogramului „011101 Abordări genetice și biotehnologice de management al agroecosistemelor în condițiile schimbărilor climatice”, finanțat de Ministerul Educației și Cercetării al Republicii Moldova.

Date despre autori:

Maria DUCA, academician, doctor habilitat în științe biologice, profesor universitar; cercetător științific principal, Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5855-5194

E-mail: mduca2000@yahoo.com

Steliana CLAPCO, doctor în științe biologice, conferențiar cercetător; șef Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova.

ORCID: 0000-0001-7147-2740

E-mail: steliana.clapco@usm.md

Ana MUTU, doctor în științe biologice, cercetător științific superior, Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-8603-142X

E-mail: ana.mutu@usm.md

Rodica MARTEA, doctor în științe biologice; cercetător științific superior, Centrul de Cercetări Științifice Genetică Funcțională, Universitatea de Stat din Moldova

ORCID: 0000-0002-1244-7147

E-mail: rodica.martea@gmail.com

Prezentat la 24.03.2024

CZU: 581.5(478-25)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_23](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_23)

FLORA SINANTROPĂ NECULTIVATĂ A PARCULUI SILVIC „LUNCA GÂȘTEI” DIN ORAȘUL CHIȘINĂU

Natalia BURACINSCHI, Ion ROȘCA, Mihai MĂRZA,
Universitatea de Stat din Moldova

Acest articol prezintă rezultatele cercetărilor florei sinantropice necultivate a parcului silvic „Lunca Gâștei”. Analiza diversității taxonomice a evidențiat prezența a 298 de specii de plante, care se referă la 214 genuri și 59 familii. A fost depistat un loc nou de creștere a speciei critic periclitată *Orchis purpurea* Huds. S-a efectuat analiza particularităților bioecologice și evidențierea fracției adventive din flora sinantropă necultivată a parcului. În elementul geografic predomină speciile de origine euroasiatică. Diversitatea biotopurilor existente pe teritoriul cercetat a determinat și diversitatea grupelor ecologice de plante în funcție de regimul hidric, dominante fiind mezofitele și xeromezofitele. În spectrul biomorfelor, cele mai reprezentative sunt hemicriptofitele. Au fost evidențiate 53 specii adventive, majoritatea fiind de origine americană.

Cuvinte-cheie: transformarea antropică, flora sinantropă, specii rare, parc silvic, structura taxonomică.

UNCULTIVATED SYNANTROPIC FLORA A FORESTRY PARK „LUNCA GAȘTEI” IN THE CITY OF CHISINAU

This article presents the results of research on the uncultivated synanthropic flora of the „Lunca Gâștei” forest park. The analysis of taxonomic diversity revealed the presence of 298 plant species, which are belonging to 214 genera and 59 families. A new location of growth was discovered for the critically endangered species *Orchis purpurea* Huds. Bioecological characteristics were analyzed, and the adventive fraction of uncultivated synanthropic flora in the park was emphasized. Species of Euro-Asian origin predominate in the geographical element. The diversity of existing biotopes on the researched territory also determined the diversity of the ecological groups of plants depending on the water regime, mesophytes and xeromesophytes being dominant. In the spectrum of biomorphs, hemicryptophytes are the most representative. 53 adventive species were identified, most of which are of American origin.

Keywords: anthropogenic transformation, synanthropic flora, rare species, forest park, taxonomic structure.

Introducere

Creșterea rapidă a teritoriilor urbanizate conduce la apariția unor ecosisteme unice, cu particularități specifice care nu sunt caracteristice comunităților vegetale naturale. În structura acestor ecosisteme antropizate ca parte componentă intră, pe de o parte, component din fitocenoză naturale cu plante spontane, iar pe de altă parte, plante sinantropice, apariția și existența cărora este cauzată și dependentă de om. Speciile sinantropice sunt nu numai cele adventive (aduse), ci și speciile din flora locală care trec în habitatele perturbate antropogen adaptându-se în aceste condiții.

Deoarece condițiile de creștere și dezvoltare a vegetației urbane și suburbane diferă mult de condițiile staționale naturale (în special prin poluarea atmosferei și solului de către diferiți agenți chimici și organici, fragmentarea suprafețelor prin construcții și rețele rutiere), vegetația spontană pe aceste teritorii a fost substituită de grupări vegetale mai puțin valoroase, parțial sau total formate din specii sinantropice, răspândirea excesivă a cărora exercită asupra florei spontane o acțiune extrem de negativă. Totodată, multe specii sinantropice joacă un rol important în diferite comunități vegetale și au o însemnătate economică deosebită. Fiind pionierii suprafețelor degradate ale diferitor teritorii, ele participă la consolidarea acestor ecotopuri și creează condiții pentru refacerea pe ele a covorului vegetal natural. În ultimii ani în toată lumea s-au efectuat cercetări de mare valoare a florei parcurilor urbane. Această problemă a fost accentuată în numeroase lucrări ale botaniștilor din diferite țări.

În contextul celor expuse, considerăm că inventarierea și studierea florei sinantropice necultivate a parcului silvic „Lunca Gâștei” din orașul Chișinău este actuală. Plantele sinantropice sau sinantropii, în botanică,

sunt numite speciile care cresc în habitate perturbate de oameni [7]. Ca sinonim poate fi considerat termenul „element antropofil al florei” sau „antropofite”, adică plantele care cresc în habitate antropice [10].

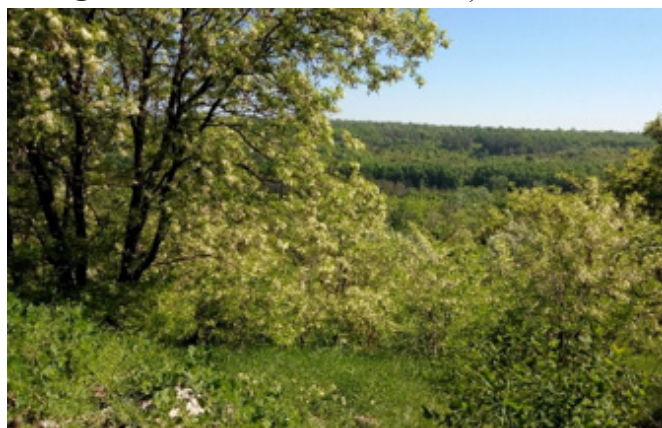
Materiale și metode

Lucrarea de față este rezultatul cercetărilor proprii de teren și laborator, efectuate pe parcursul perioadelor de vegetație în anii 2020-2023 și a sintezei analitice a literaturii de specialitate.

Ca obiect de studiu au servit speciile de plante sinantropice necultivate a parcului silvic „Lunca Gâștei” din orașul Chișinău.

Parcul silvic „Lunca Gâștei”, joacă un rol important în sistemul spațiilor verzi ale orașului Chișinău având suprafața cea mai mare – 230,8 ha (Fig.1). El a fost fondat în anul 1963 fiind situat între cartierele locative Petricani și Ceucari. Își are începutul de la marginea nord-vestică a orașului în imediata apropiere de șoseaua Balcani (altitudine cca 130 m) și se întinde pe o lungime de cca 5 km la Sud-Est, deschizându-se în valea râului Bâc (altitudine 75 m). Parcul prezintă două coline: una cu expoziție estică și alta, cu expoziție vestică, între care, în văgăună curge un pârâu care este afluent de stângă al râului Bâc și care își revarsă apele sale într-un lac artificial. În trecut versanții parcului au fost expuși unor alunecări intensive. În timpul de față, pantele sunt împădurite și numai pe alocuri se întâlnesc zone solifcatoare, alcătuite din argilă, nisip și pe alocuri din cernoziom. Pe versantul cu expoziția estică în sectorul împădurit specia dominantă este *Quercus robur*, ca specii însoțitoare au fost plantate *Robinia pseudacacia*, *Acer platanoides*, *Elaeagnus andustifolia*, *Juglans regia*, *Tilia platyphyllos*, *Picea excelsior* ș.a. În depresiuni umede întâlnim sectoare cu *Pinus nigra*, *Betula verrucosa* și *Populus alba*. Partea inferioară a versantului vestic are aceleași specii în compoziția dendrofloristică ca și cel estic. La mijlocul pantei a fost plantată o fâșie de 10-15 m de *Cotinus coggygria*, care în prezent este formată din indivizi foarte bătrâni în amestec cu cei tineri, regenerați din semințe. Plantația aceasta reprezintă desigur greu impenetrabile, după care urmează:

Fig. 1. Parcul silvic „Lunca Gâștei”.



- o fâșie (5-10 m) de *Acer negundo* și *Swida sanguinea*, tot atât de deasă. Vârful versantului este acoperit de plantație de *Acer platanoides* aproape monodominantă, cu slabă frecvență de *Ulmus laevis*.

În 1953 pe versantul stâng al văii a fost descoperit un complex arheologic (săpăturile au fost executate în 1956 de către arheologul E. A. Rikman) cu mai multe vestigii ale culturii Cerneahov-Sântana de Mureș (secolele II-IV e.n.), evidențiată în spațiul carpato-nistean prin preponderența elementelor autohtone dacogetice. Vatra așezării se găsește la o depărtare de 1,5-2 km de la marginea zonei Poșta Veche [4].

Studiul în teren s-a efectuat în vederea identificării și inventarierii tuturor taxoanelor, unele specii (greu determinate) au fost colectate cu scopul determinării în laborator. În teren flora a fost cercetată utilizând metoda de itinerar (metoda de traseu) (Fig. 2). Itinerarele au fost elaborate astfel încât să cuprindă toate biotopurile.

Pentru determinarea speciilor colectate în condiții de laborator s-a folosit metoda clasică morfo-comparativă cu utilizarea determinatoarelor [3,9]. Taxonomia este dată după S.Cerepanov [11].

Fig. 2. Itinerarul cercetărilor pe teritoriul parcului silvic „Lunca Gâștei”.

Pentru fiecare specie s-au stabilit: forma biologică, elementul geografic și indicii ecologici, conform lucrărilor metodice clasice [5,8]. Pentru verificarea corectitudinii determinărilor a fost consultat Herbarul Facultății Biologie și Geostițe a USM. Pentru clasificarea plantelor în diverse categorii de forme biologice a fost folosită clasificarea, propusă de C. Raunkiaer [6]. Prezentarea principalelor categorii de geoelemente este dată după școala corologică central-europeană [5].

Rezultate și discuții

În rezultatul cercetărilor efectuate s-a stabilit, că flora sinantropă necultivată din parcul silvic „Lunca Gâștei” este reprezentată de 298 specii, care se referă la 214 genuri și 59 familii. A fost depistat un loc nou de creștere a speciei critic periclitată (CR) *Orchis purpurea* Huds., reprezentată de o populație mică care enumără câteva zeci de exemplare și intră în componența a două asociații: *Cotino-Botriochloenetum* și *Aceretum platani*. Asociațiile se dezvoltă pe pante însoțite sudice, rezezi. Substratul este constituit din soluri argilo-nisipoase [1,2]. În continuare este prezentată lista speciilor (cu indicarea familiilor, în ordine alfabetică).

Fam. Aceraceae Juss.: *Acer negundo* L.; **Fam. Alliaceae J. Agardh.:** *Allium rotundum* L.; **Fam. Amaranthaceae Juss.:** *Amaranthus retroflexus* L.; **Fam. Apiaceae Lindl.:** *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm., *Bupleurum rotundifolium* L., *Chaerophyllum bulbosum* L., *Ch. temulum* L., *Conium maculatum* L., *Daucus carota* L., *Eryngium campestre* L., *Falcaria vulgaris* Bernh. Bernh., *Heracleum sibiricum* L., *Torilis arvensis* (Huds.) Link.; **Fam. Aristolochiaceae Juss.:** *Aristolochia clematitis* L.; **Fam. Asparagaceae Dumort.:** *Asparagus officinalis* L., *A. tenuifolius* Lam., *Convallaria majalis* L., *Polygonatum latifolium* Desf.; **Fam. Asteraceae Dumort.:** *Achillea colina* Becke, *Ambrosia artemisiifolia* L., *Arctium lappa* L., *A. tomentosum* Mill., *Artemisia absinthium* L., *A. annua* L., *A. austriaca* Jacq., *A. vulgaris* L., *Aster salignus* Willd., *Bellis perennis* L., *Calendula officinalis* L., *Carduus acanthoides* L., *Centaurea diffusa* Lam., *C. scabiosa* L., *Chamomilla recutita* (L.) Rouschert., *Cichorium inthybus* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop., *C. vulgare* (Savi.) Ten., *Crepis rheadifolia* Bieb., *Cyclaechaena xanthifolia* (Nutt.) Fresen., *Echinops sphaerocephalus* L., *Erigeron annuus* (L.) Pers., *E. canadensis* L., *Eupatorium cannabinum* L., *Galinsoga parviflora* Cav., *Grindelia squarrosa* (Pursch) Dun, *Helianthus tuberosus* L., *Hieracium echinoides* Lumn., *H. pilosella* L., *Inula britannica* L., *Lactuca serriola* Torner., *L. tatarica* (L.) C.A. Mey., *Lapsana communis* L., *Matricaria perforata* Merat., *Mycelis muralis* (L.) Dumort., *Onopordon acanthium* L., *Pyretrum corymbosum* (L.) Scop., *Senecio vernalis* Waldst. et Kit., *S. vulgaris* L., *Sonchus arvensis* L., *Tanacetum vulgare* L., *Taraxacum officinale* Wigg., *Tragopogon dubius* Scop., *Xanthium spinosum* L., *X. strumarium* L.; **Fam. Boraginaceae Juss.:** *Anchusa officinalis* L., *A. pseudocholeuca* Shost., *Asperugo procumbens* L., *Cerinthe minor* L., *Cynoglossum officinale* L., *Echium vulgare* L., *Lappula squarrosa* (Retz.) Dumort., *Lithospermum officinale* L., *Myosotis arvensis* (L.) Hill., *Nonea pulla* (L.) DC., *Symphytum officinale* L., *S. tauricum* Willd.; **Fam. Brassicaceae Burnett.:** *Alliaria petiolata* (Bieb.) Cavaza et Grande, *A Armoracia rusticana* Gaerth. Mey et Scherb, *Berteroa incana* (L.) DC., *Bunias orientalis* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Cardaria draba* (L.) Desv., *Descurainia sophia* (L.) Webb. ex Prantl., *Diplotaxis muralis* (L.) DC., *Erysimum durum* J. et C. Presl., *Hesperis sibirica* L., *Lepidium campestre* (L.) Br., *L. perfoliatum* L., *L. rudera-le* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Rapistrum perenne* (L.) All., *Sinapis arvensis* L., *Sisymbrium loeselii* L., *S. officinale* (L.) Scop., *Thlaspi arvense* L.; **Fam. Caesalpinaceae R. Br.:** *Gleditsia triacanthos* L.; **Fam.**

Campanulaceae Juss.: *Campanula glomerata* L. *C.persicifolia* L. *C.trachelium* L.; **Fam. Cannabaceae Endl.:** *Cannabis ruderalis* Janisch.; **Fam. Caprifoliaceae Juss.:** *Lonicera tatarica* L. *Sambucus ebulus* L., *S. nigra* L.; **Fam. Caryophyllaceae Juss.:** *Arenaria serpyllifolia* L., *Gypsophylla paniculata* L., *Melandrium album* (Mill.) Garcke, *Saponaria officinalis* L., *Silene dichotoma* Ehrh., *S. moldavica* (Klok.) Şorukova, *Stellaria graminea* L., *S. media* (L.) Vill.; **Fam. Chenopodiaceae Vent.:** *Atriplex hortensis* L., *A. tatarica* L., *Chenopodium album* L., *C. hybridum* L.; **Fam. Convolvulaceae Juss.:** *Calystegia sepium* (L.) R. Br., *Convolvulus arvensis* L., *Ipomaea hederacea* (L.) Jacq.; **Fam. Cucurbitaceae Juss.:** *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. Et A.Gray; **Fam. Cyperaceae Juss.:** *Carex brevicolis* DC., *C. distans* L., *C.pilosa* Scop., *Cyperus fuscus* L.; **Fam. Dipsacaceae Juss.:** *Cephalaria transsilvanica* (L.) Roem. et Schult., *Dipsacus fullonum* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult., *Scabiosa ochroleuca* L.; **Fam. Elaeagnaceae Juss.:** *Elaeagnus angustifolia* L.; **Fam. Equisetaceae Rich. ex DC.:** *Equisetum arvense* L.; **Fam. Euphorbiaceae Juss.:** *Euphorbia cyparissias* L., *E. amygdaloides* L., *E. stepposa* Zoz.; **Fam. Fabaceae Lindl.:** *Amorpha fruticosa* L. *Astragalus glycyphyllos* L., *A. onobrychis* L., *Coronilla varia* L., *Lathyrus pannonicus* (Jacq.) Garcke, *L. sylvestris* L., *L. tuberosus* L., *L. vernus* (L.) Bernh., *Lotus corniculatus* L., *Medicago falcata* L., *M. lupulina* L., *M. minima* (L.) Bartolini, *M. sativa* L., *Melilotus albus* Medik., *M. officinalis* (L.) Pall., *Oxytropis pilosa* (L.) DC., *Robinia pseudoacacia* L., *Trifolium arvense* L., *T. campestre* Schreb., *T.fragiferum* L., *T. hybridum* L., *T. repens* L., *Vicia angustifolia* Reichard., *V. craca* L., *V. tenuifolia* Roth., *V. villosa* Roth.; **Fam. Fumariaceae DC.:** *Fumaria officinalis* L., *Coridalis marmarschalliana* L., *C. solida* (L.) Clairv.; **Geraniaceae Juss.:** *Erodium cicutarium* (L.) L'Her., *Geranium pusillum* L., *G.robertianum* L.; **Fam. Hypericaceae Juss.:** *Hypericum hirsutum* L., *H. perforatum* L.; **Fam. Iridaceae Juss.:** *Crocus reticulatus* Stev. ex Adam., *Iris germanica* L.; **Fam. Juncaceae Juss.:** *Juncus gerardii* Loisel; **Fam. Lamiaceae Lindl.:** *Acinos arvensis* (Lam.) Dandy, *Ajuga chia* Schreb., *A. genevensis* L., *Ballota nigra* L., *Glechoma hederacea* L., *G.hirsuta* Waldst., *Lamium album* L., *L. amplexicaule* L., *L. purpureum* L., *Leonurus cardiaca* L., *L. quinquelobatus* Gilib., *Marrubium praecox* Janka, *Melissa officinalis* L., *Mentha arvensis* L., *M. aquatica* L., *Prunella vulgaris* L., *Salvia aethiopsis* L., *S. nemorosa* L., *S. verticillata* L., *Sideritis comosa* (Rochel ex Benth.) Stank., *Stachys annua* (L.) L.; **Fam. Liliaceae Juss.:** *Gagea lutea* (L.) Ker-Gawl., *Muscari neglectum* Guss., *Ornithogalum refractum* Schlecht., *Scilla bifolia* L.; **Fam. Linaceae F. Gray:** *Linum austriacum* L.; **Fam. Loranthaceae Juss.:** *Viscum album* L.; **Fam. Lythraceae J.St.-Hil.:** *Lythrum salicaria* L.; **Fam. Malvaceae Juss.:** *Lavatera thuringiaca* L., *Malva neglecta* Wollr., *M. sylvestris* L.; **Fam. Nyctaginaceae Juss.:** *Oxybaphus nyctagineus* (Michx.) Sweet., **Fam. Oleaceae Hoffm. et Link.:** *Syringa vulgaris* L.; **Fam. Onagraceae Juss.:** *Oenothera biennis* L.; **Fam. Orchidaceae Juss.:** *Orchis purpurea* Huds.; **Fam. Oxalidaceae R. Br.:** *Xantoxalis dillenii* (Jacq.) Holub.; **Fam. Papaveraceae Juss.:** *Chelidonium majus* L., *Papaver rhoeas* L.; **Fam. Plantaginaceae Juss.:** *Plantago lanceolata* L., *P. major* L.; **Fam. Poaceae Barnhart.:** *Agrostis stolonifera* L., *Alopecurus arundinaceus* Poir., *Bromus arvensis* L., *B. japonicus* Thunb., *B. mollis* L., *B. secalinus* L., *B. squarrosus* L., *Botriochloa ischaemum* (Schreb.) Michl., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Dactylis glomerata* L., *Echinochloa crusgalii* (L.) Beauv., *Elymus caninus* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *E. intermedia* (Host)Nevski, *Eragrostis minor* Host., *Hordeum jubatum* L., *H. leporinum* Link., *Festuca pratensis* Huds., *F. valesiaca* Gaudin, *Lolium perenne* L., *Panicum miliaceum* L., *Phleum paniculatum* Huds., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Poa annua* L., *P. pratensis* L., *Puccinella distans* (Jacq.) Park., *Setaria glauca* (L.) Beauv., *S. viridis* (L.) Beauv.; **Fam. Polygonaceae Juss.:** *Fallopia convolvulus* (L.) A. Love, *Polygonum aviculare* L., *P. hydropiper* L., *Rumex patientia* L.; **Fam. Portulacaceae Jus Swett.:** *Portulaca oleracea* L.; **Fam. Primulaceae Juss.:** *Anagalis arvensis* L., *A. foemina* Mill., *Lysimachia nummularia* L., *Primula veris* L.; **Fam. Ranunculaceae Juss.:** *Adonis vernalis* L., *Anemonoides ranunculoides* (L.) Holub., *Consolida regalis* S.F.Gray, *Ficaria verna* Huds., *Isopyrum thalictroides* L., *Ranunculus illyricus* L., *R. pseudobulbosus* Schur, *R. repens* L., *R. sceleratus* L., *Thalictrum minus* L.; **Fam. Resedaceae S. F. Gray.:** *Reseda lutea* L.; **Fam. Rosaceae Juss.:** *Agrimonia eupatoria* L., *Cerasus vulgaris* Mill., *Filipendula vulgaris* Moench., *Fragaria viridis* Duch., *Geum urbanum* L., *Potentilla anserina* L., *P. argentea* L., *P. recta* L., *P. reptans* L., *Rosa canina* L., *Rubus caesus* L.; **Fam. Rubiaceae Juss.:** *Galium aparine* L., *G. humifusum* Bieb., *G. molugo* L., *G. verum* L.; **Fam. Scrophulariaceae Juss.:** *Linaria vulgaris* Mill., *L. genistifolia* (L.) Mill., *Melampyrum*

arvense L., *Verbascum lychnitis* L., *V. phlomoides* L., *V. phoeniceum* L., *Veronica chamaedris* L., *V. hederifolia* T., *V. polita* Fries.; **Fam. Simarubiceae DC.:** *Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle; **Fam. Solanaceae Juss.:** *Datura stramonium* L., *Hyoscyamus niger* L., *Lycium barbatum* L., *Physalis alkekengi* L., *Solanum dulcamara* L., *S. nigrum* L.; **Fam. Urticaceae Juss.:** *Urtica dioica* L.; **Fam. Valerianaceae Batsch.:** *Valeriana officinalis* L.; **Fam. Valerianaceae Batsch.:** *Valeriana officinalis* L.; **Fam. Verbenaceae Jaume:** *Verbena officinalis* L.; **Fam. Violaceae Batsch.:** *Viola arvensis* L., *V. mirabilis* V. *odorata* L. **Fam. Vitaceae Juss.** *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch., *Vitis vinifera* L.; **Fam. Zygophyllaceae R. Br.:** *Tribulus terrestris* L.

Cele mai bogate în specii cu pondere majoră s-au dovedit a fi familiile *Asteraceae*, *Poaceae*, *Fabaceae*, *Brassicaceae*, *Lamiaceae*, *Rosaceae*, *Boraginaceae*, *Apiaceae*, *Ranunculaceae*, *Scrophulariaceae*, care unesc împreună 195 de specii, sau 65,3% din numărul total al speciilor evidențiate. Prezența a 25 familii din 59 (42,4%), reprezentate de un singur gen cu o singură specie, indică faptul că teritoriul cercetat este supus acțiunii destul de puternice al presingului antropic.

Analiza elementelor fitogeografice

În flora sinantropă necultivată din parcul silvic „Lunca Gâștei” predomină speciile euroasiatice, care au areal mare de răspândire – 50,0%. Urmează speciile europene (19,8%) și cosmopolite (7,8%) (Fig. 3). La speciile cu areal extins se referă și cele de origine americană (7,4%) și asiatică (2,3%), care devin adventive pentru toate țările europene, evident și pentru Republica Moldova, unde și-au creat arealul secundar. Grupul plantelor mediteraneene constituie 5,7%, cele pontice reprezentate cu 4,0%. Mai puțin numeroase sunt speciile circumpolare, doar 4,0%.

Fig. 3. Spectrul elementelor fitogeografice.

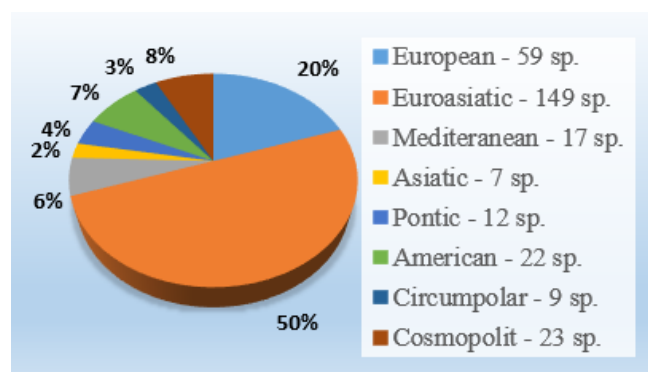
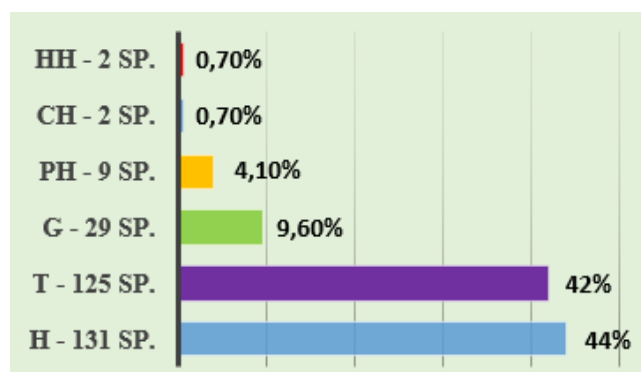


Fig. 4. Spectrul formelor biologice.



Diversitatea formelor biologice

Speciile de plante sinantropice necultivate sunt atribuite la 6 categorii de bioforme. Numeric predomină hemicriptofitele – 44% din totalul plantelor evidențiate, urmate de terofite – 42% (Fig. 4). Geofitele reprezintă 9,6%, fanerofite (la care au fost atribuite toate plante lemnoase) – 4,1%. Celelalte grupuri participă neesențial la formarea spectrului biomorfelor (helohidatofitele și camefitele) - cu câte 0,7% fiecare.

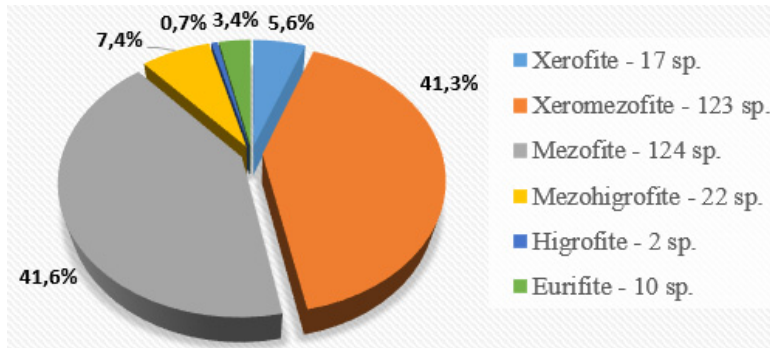
Analiza indicilor ecologici

A fost analizată adaptabilitatea plantelor față de trei indici ecologici: umiditatea, temperatura aerului și reacția solului.

În raport cu exigențele față de factorul **umiditatea** solului a fost evidențiată ponderea înaltă a mezofitelor și xeromezofitelor, reprezentate cu cca 41% fiecare grupă, care este determinată de neomogenitatea reliefului în parcul silvic în studiu (Fig. 5).

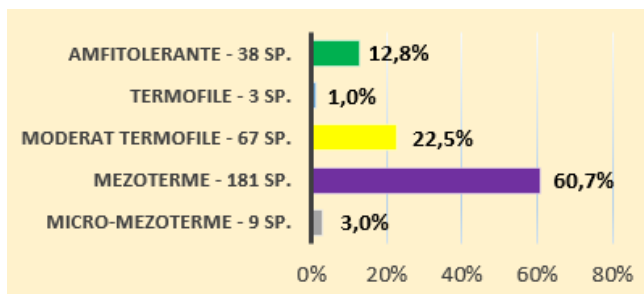
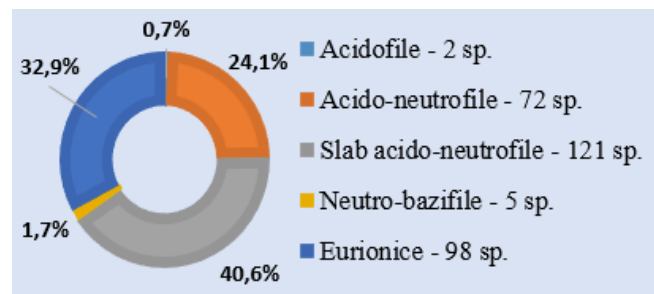
Ponderea reprezentanților altor grupe ecologice, care s-au adaptat la creșterea în biotopuri cu regimul hidric mai puțin variat este de 17,1% (mezohigrofită - 7,4%, xerofite – 5,6%, eurifite – 3,4%, higrofită – 0,7%).

Conform cerințelor față de **temperatură**, predomină speciile mezoterme cu o pondere de 60,7%. Cota speciilor moderat termofile este cu mult mai mică – 22,5%, urmată de speciile amfitolerante – 12,8%. Slab reprezentate sunt micro-mezotermele (3,0%) și termofilele (1,0%).

Fig. 5. Spectrul exigenței speciilor față de regimul hidric.

Din punct de vedere al exigenței edafice se evidențiază predominarea speciilor slab acid-neutrofile, ponderea cărora constituie 40,6% (Fig.7). Urmează grupul speciilor amfitolerante (eurionice) – 32,9% și cele acid-neutrofile – 24,1%. Un rol mai puțin însemnat le revine speciilor neutro-bazifile – 1,7% și acidofile – 0,7%.

Flora sinantropă necultivată din parcul silvic „Lunca Gâștei” include 53 specii adventive de diferită origine, ce constituie 17,8% din totalul speciilor studiate. Baza florei adventive reprezintă grupul speciilor de origine americană – 22 specii (41,5%). Pondere egală o au speciile de origine mediteraneană și europeană – cu câte 9 specii (17% fiecare). Urmează speciile asiatice cu 7 specii (13,2%), europoasiatice – 5 specii (9,4%), o specie cosmopolită (1,9%).

Fig. 6. Exigența față de temperatură.**Fig. 7. Exigența față de reacția solului.**

Concluzii

Analiza taxonomică a florei sinantropice necultivate din parcul silvic „Lunca Gâștei” este reprezentată de 298 specii, care se referă la 214 genuri și 59 familii. A fost depistat un loc nou de creștere a speciei critic periclitată (CR) *Orchis purpurea* Huds.

Elementul fitogeografic al speciilor sinantropice necultivate din parcul silvic în studiu corespunde structurii geoelementului a componentului sinantropic a întregii flore din Republica Moldova. Predomină speciile de origine euroasiatică (50% din total), care au areal mare de răspândire. Diversitatea biotopurilor existente pe teritoriul cercetat a determinat și diversitatea grupelor ecologice de plante în funcție de regimul hidric, dominante fiind mezofitele și xeromezofitele. În spectrul biomorfelor, cele mai reprezentative sunt hemicriptofitele, care corespund pe deplin condițiilor climatice ale regiunii. O pondere mare de terofite indică faptul că teritoriul cercetat este supus acțiunii destul de puternice al presingului antropic.

Din cauza perturbărilor în comunitățile vegetale și stratul edafic în situl cercetat, se observă o răspândire intensivă a plantelor ruderales, dintre care o parte semnificativă reprezintă speciile adventive.

Recomandăm aplicarea măsurilor de protecție a speciei *Orchis purpurea*, care va contribui la creșterea populației acestei specii.

Referințe:

- BURACINSCHI, N., MÂRZA, M., CUHARSCAIA, L. *Parcul silvic „Lunca Gâștei” un loc nou de creștere a speciei critic periclitată Orchis Purpurea Huds.* // Conf. Șt. Naț. consacrată jubileului de 90 ani din ziua nașterii acad. B. Melnic, 12 februarie 2018. Chișinău, 2018, p.
- Cartea Roșie a Republicii Moldova*. Ed. III. Chișinău: Știința, 2015, 492 p.
- CIOCÎRLAN, V. *Flora ilustrată a României*. București, Editura Ceres. Vol. I-II, 2002, 1141 p.
- Chișinău. Enciclopedie*. Chișinău, 1996, p. 11-12.

5. IVAN, D., DONIȚĂ, N. *Metode practice pentru studiul ecologic și geografic al vegetației*, București, 1975, 101p.
6. RAUNKIAER, C. *Plant life forms*, Clarendon Press, Oxford, 1937, 153p.
7. RICHARDSON, D.M., PYŠEK, P., CARLTON, J. T. *A compendium of essential concepts and terminology in invasion ecology. Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton*. Oxford: Blackwell Publishing; 2011, p. 409– 420.
8. SANDA, V., CHIRIȚĂ, I. *Cracteristica ecologică a plantelor spontane din flora României. Studii și comunicări*, București, 1983, p.52-56.
9. ГЕЙДЕМАН, Т. С. *Определитель высших растений Молдавской ССР*, Кишинев. „Штиинца”, 1986, 637 с.
10. ПРОТОПОПОВА, В. В. *Синантропная флора Украины и пути ее развития*. Киев: Наук. думка, 1991, 204 с.
11. ЧЕРЕПАНОВ, С. К. *Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР)*. Санкт-Петербург, Мир и семья, 1995, 990 с.

Date despre autori:

Natalia BURACINSCHI, asistent universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-8517-6619

E-mail: n.buracinschi@gmail.com

Ion ROȘCA, doctor, director, Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-1304-8033

E-mail: roscasilva@yahoo.com

Mihai MÂRZA, doctor habilitat, conferențiar universitar, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-1224-741X

E-mail:

Prezentat la 05.04.2024

CZU: 630*23:582.632.2(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_24](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_24)

COMPOZIȚIA ARBORETELOR DIN CODRII STRĂȘENILOR COMPARATIV CU POTENȚIALUL PRODUCTIV AL TERENULUI

*Vladislav GRATI, Iurie BEJAN, Sabina GRATI,**Universitatea de Stat din Moldova*

În prezentul articol este studiată compoziția arboretelor pe specii și coresponderea acestora potențialului productiv oferit în condițiile din zona centrală a Republicii Moldova amplasat în raionul Strășeni în raza Întreprinderii de Stat „Strășeni”. Anume aici, în centrul republicii s-au păstrat cele mai valoroase arborete naturale, în care mai este prezentă în proporții optime specia principală de bază gorunul, fiind urmat de stejarul pedunculat. Abaterea compozițiilor actuale de la cele optime este rezultatul gestionării defectuoase a pădurilor în trecut, iar stabilirea cu exactitate a motivului devierii de la compozițiile optime va asigura realizarea comparațiilor și în funcție de condițiile climatice. Structura pe specii a volumului, în special a gorunului, reflectă capacitatea speciei de a valorifica condițiile naturale ale teritoriului în care este situat.

Cuvinte-cheie: structură, condiții climatice, pădure, stands.

THE COMPOSITION OF TREES FROM STRASENI FOREST COMPARED WITH THE PRODUCTIVE POTENTIAL

In the present article it is studied the composition of stands by species and their correspondence with the productive potential offered, in the conditions of the central area of the Republic of Moldova, located in the Straseneni district, Straseneni forest entity. The most valuable natural and fundamental trees were preserved here. The main species is present – the *Quercus petraea*, followed by the *Quercus robur*. Deviation of current compositions from optimal ones is the result of poor forest management in the past. Accurately establishing the reason for the deviation from the optimal compositions will ensure the comparisons also made according to climatic conditions. The species structure of the volume reflects the ability to capitalize on the natural conditions of the territory where it is installed.

Keywords: structure, climatic conditions, forest, stands.

Introducere

Structura pe specii este definită prin speciile care alcătuiesc arboretul, prin proporția lor de participare. Compoziția arboretelor reclamă utilizarea potențialului natural oferit. În funcție de speciile ce alcătuiesc un arboret se pot distinge arborete pure (o singură specie) și amestecate (când sunt formate din 2 și mai multe specii (Norme tehnice, 2012).

Compoziția arboretelor specifice ÎSC „Strășeni” demonstrează particularitățile valorificării potențialului natural.

Participarea speciilor în amestec este reprezentată prin suprafața de bază și volum, dar și prin numărul total de arbori la unitatea de suprafață. În compoziția specifică a arboretelor acestea pot fi reprezentate în unități de la 1 la 10.

Scopul cercetărilor constă în determinarea, descrierea și stabilirea indicelui de ariditate de stres forestier pentru speciile de gorun și stejar din cadrul Codrilor Strășenilor.

Obiectivele specifice au constat din:

- determinarea structurii arboretelor după compoziție, productivitate;
- descrierea structurii pădurilor pe specii și volum;
- stabilirea evoluției productivității pentru gorun.

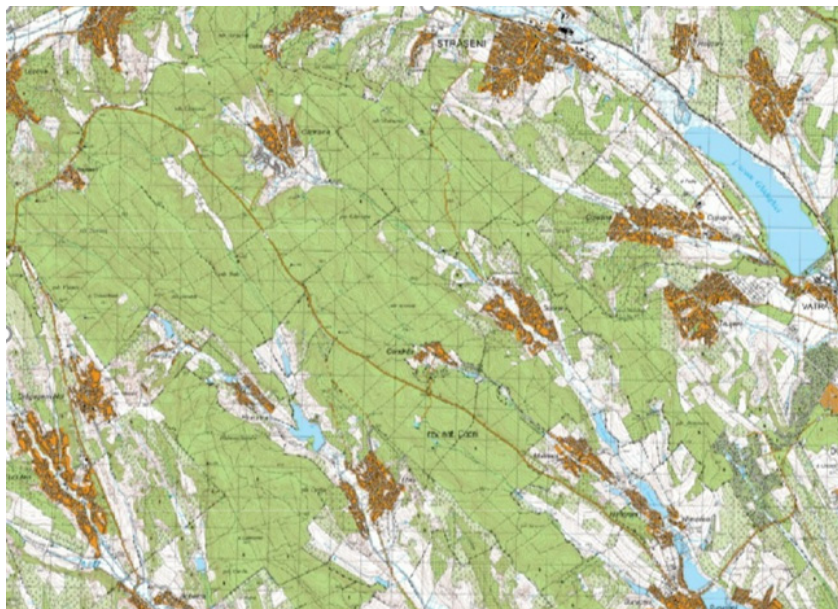
Materiale și metode

Localizarea studiului

Pentru abordarea problematicii schimbărilor climatice în contextul gestionării fondului forestier spre

structuri optime este studiată suprafața cu cvercinee din cadrul Codrii Strășenilor. Cea mai mare pondere pe specii este atribuită cvercineelor care prezintă o variație în timp a procentului de participare, astfel încât în prezent participă cu circa 52%.

Fig. 1. Localizarea teritoriului studiat.

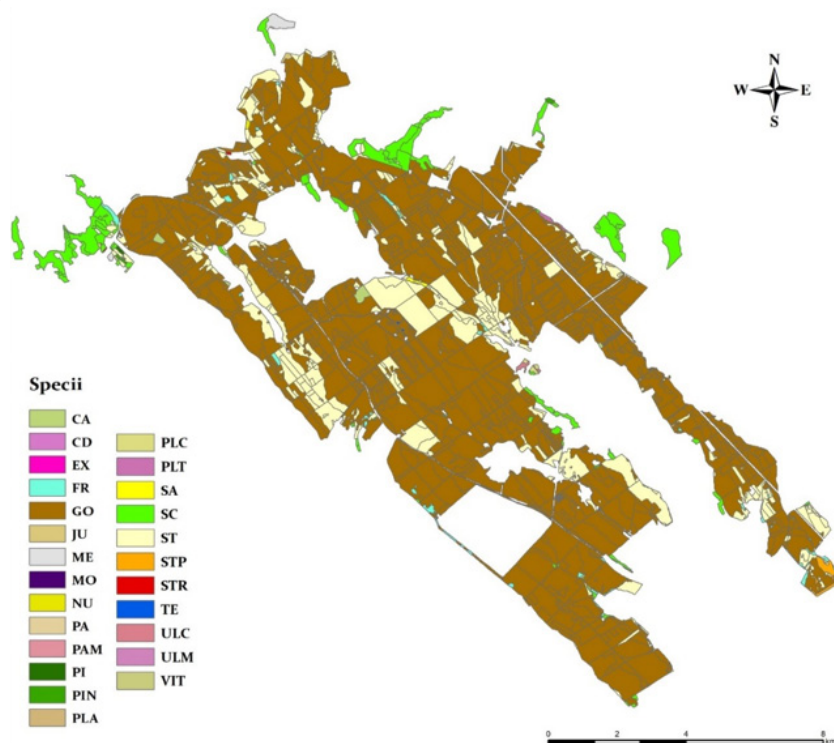


Structura pe specii

Speciile gorun (*Quercus petraea*) și stejar pedunculat (*Quercus robur*) împreună constituie 52% (a. 1999), 50% (a. 2011), 52% (a. 2021) din suprafața totală acoperită cu păduri.

Suprafața pe specii este diferențiată astfel încât dacă la gorun și stejar pedunculat se atestă o creștere a suprafețelor, atunci la carpen, tei și frasin scade (fig. 2). Cea mai evidentă scădere a ponderii de participare în arborete este a carpenului care s-a redus de la 2011 până în 2021 cu 314,3 ha.

Fig. 2. Distribuția speciilor pe trupuri de pădure.

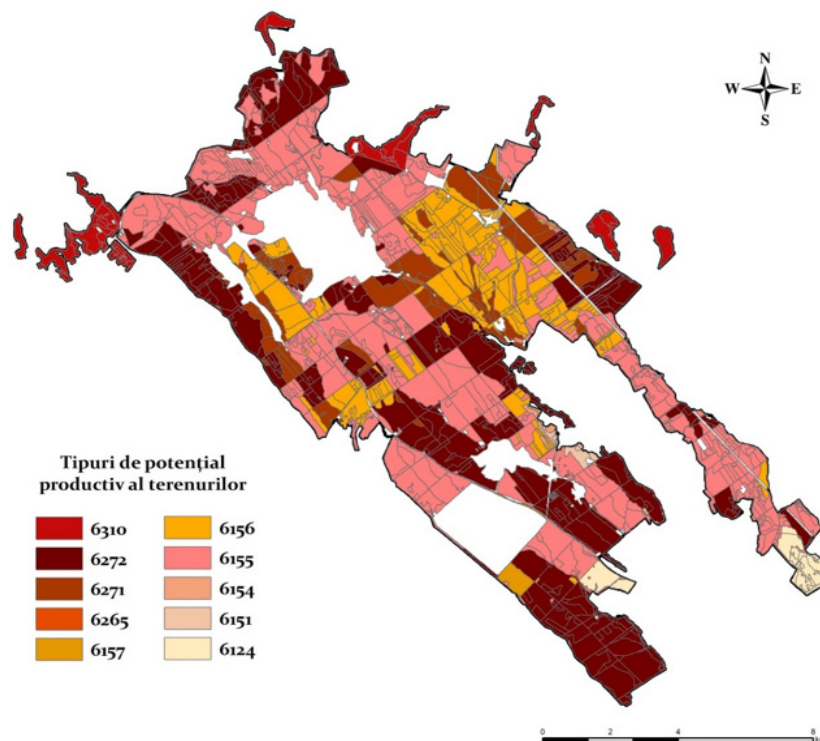


Compoziția pe specii, respectiv proporția acestora este stabilită prin însumarea proporțiilor elementelor de arboret de aceeași specie, pe etaje sau pe întregul arboret. Proporția speciilor într-un arboret se determină în raport cu suprafața ocupată de fiecare element în cadrul unei unități amenajistice sau se stabilește prin măsurători, în funcție de suprafața de bază/volumul fiecărei specii raportat la suprafața de bază/volumul întregului arboret. Proporția de participare a elementelor se exprimă în unități de la 1 la 10. Pentru plantațiile în care nu este atinsă starea de masiv (coronamentul nu se întrepătrunde) ponderea de participare a speciilor se determină în baza lucrărilor de inventariere anuală a culturilor silvice (Norme tehnice, 2012).

Potențial productiv al terenului

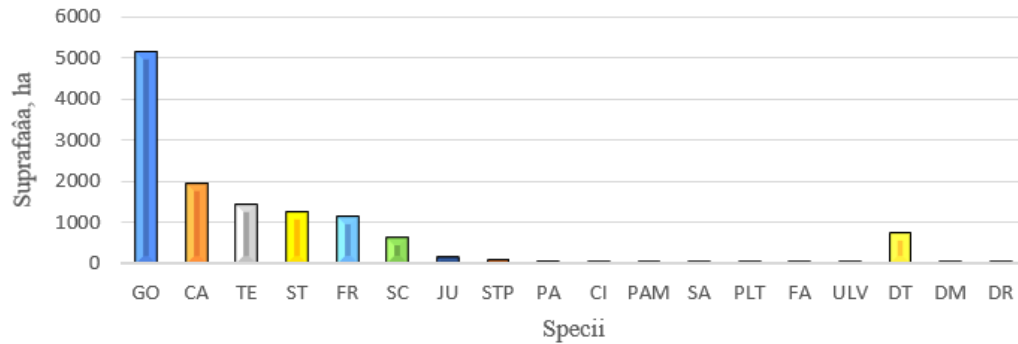
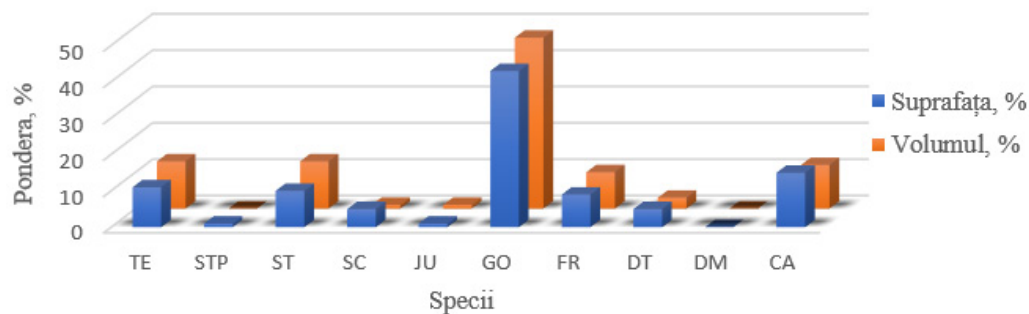
Tipul de potențial productiv al terenului (fig. 3) este dominat de tipul 6.1.5.5. - Deluros de cvercete cu gorunete, goruneto-șleauri pe platouri, versanți însoriți și semiînsoriți, cu cernoziomuri argiloiluviale, soluri cenușii și brune argiloiluviale tipice, Bm (39%), urmat 6.2.7.2. - Deluros de cvercete cu șleauri de deal cu carpen, stejăreto-goruneto-șleauri pe platouri și versanți umbriți, cu soluri cenușii, hidric echilibrate și cvasiechilibrate, edafic mijlociu cu *Asperula-Asarum-Stellaria*, Bm (32%), 6.1.5.6. - Deluros de cvercete cu gorunete, goruneto-șleauri, pe platouri, versanți însoriți și semiînsoriți, cu soluri cenușii, hidric echilibrate, edafic mare cu *Asperula-Asarum-Stellaria*, Bs (14%), 6.2.7.1. - Deluros de cvercete cu stejăreto-șleauri cu carpen, pe văi și treime inferioară de versant, cu soluri cenușii, cenușiu-brune, edafic mare, Bs (9%).

Fig. 3. Tipuri de potențial productiv al terenului.



Rezultate și discuții

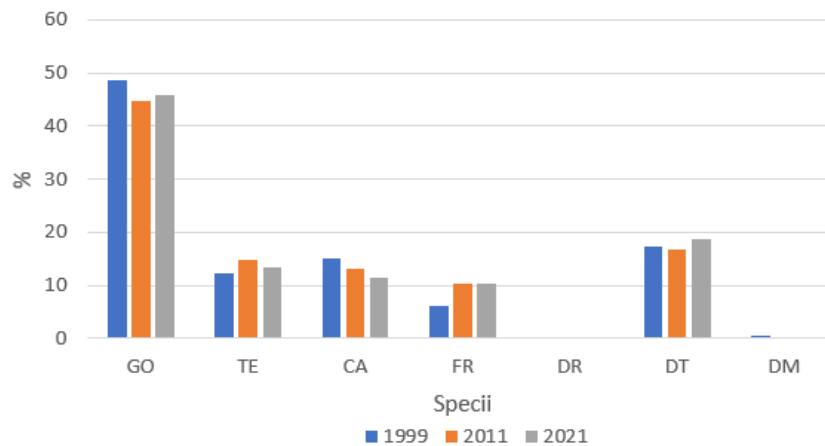
Structura pădurilor din Codrii Strășenilor evidențiază ponderea arboretelor natural fundamentale, în care sunt necesare a fi implementate tehnici și tehnologii adecvate de gospodărire spre a menține naturalețea peisajului și a promova speciile de bază autohtone și, respectiv, ușor adaptabile la noile condiții climatice ce sunt într-o continuă modificare. În distribuția grafică (fig. 4) se prezintă ponderea participării după suprafață a speciilor ce alcătuiesc arboretele din cadrul ÎSC „Strășeni”. De aici rezultă că ponderea maximă este atribuită gorunului (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) cu 5130,47 ha, fiind urmată de carpen (*Carpinus betulus* L.) cu 1933,4 ha, tei (*Tilia* L.) cu 1416,2 ha, stejarul pedunculat (*Quercus robur* L., *Quercus pedunculata* Hoffm) cu 1253,3 ha, frasin (*Fraxinus excelsior* L.) cu 1110,8 ha, salcâm (*Robinia pseudacacia* L.) cu 603,4 ha, precum și de alte specii de diverse tari, diverse moi și diverse rășinoase cu o pondere mult mai mică, dar cu însemnătate în cultura pădurii.

Fig. 4. Distribuția speciilor pe suprafață.**Fig. 5. Distribuția speciilor pe suprafață și volum.**

Ponderea ca suprafață este mai mică decât ponderea pe volum (fig. 5) cum este cazul la gorun pe suprafață participă cu 43%, iar volumul din total pe întreprindere reprezintă 47%, stejarul pedunculat are o pondere pe suprafață de 10%, iar pe volum participă cu 13%, teiul are o pondere de 11% pe suprafață, iar pe volum participă cu 13%. O diferență mai mică între suprafață

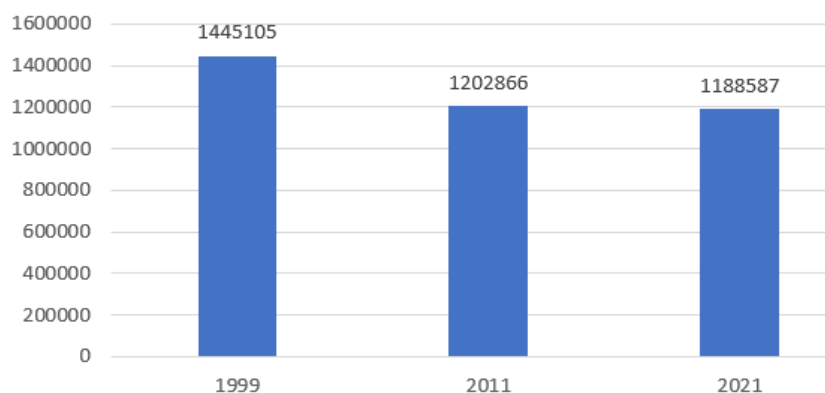
și volum se observă la frasin care participă cu 9% pe suprafață și 10% pe volum. Sunt și specii care participă cu o pondere mai mare pe suprafață, iar volumul este mai mic ca, de exemplu, la salcâm cu ponderea pe suprafață de 5%, iar ca volum este de doar 1%, carpenul participă cu 15% pe suprafață iar pe volum cu 12%, aceeași situație este și în cazul stejarului pufos și diversele tari. Egalitate ca pondere de participare după suprafață și volum este în cazul jugastrului.

În decursul a trei perioade de amenajare a pădurilor situația volumului este în descreștere (fig. 6). În cazul speciei dominante (gorun) volumul variază de la 48,7% din total (a. 1999), 44,6% (a. 2011) la 45,8% (a. 2021). Teiul variază cu un maxim la 2011 (14,9%) și o scădere spre 2021 (13,4%). Carpenul prezintă o scădere continuă în decursul ultimelor 3 amenajări de la 15,1% (a. 1999), 13,2% (a. 2011) și până la 11,5% (a. 2021). Frasinul prezintă o ușoară creștere a ponderii de la 6,2% (a. 1999) până la 10,3% (a. 2021). O situație similară este și în cazul diverselor tari unde se atestă o creștere de la 17,2% (a. 1999) la 18,8% (a. 2021).

Fig. 6. Evoluția ponderii volumului pe specii.

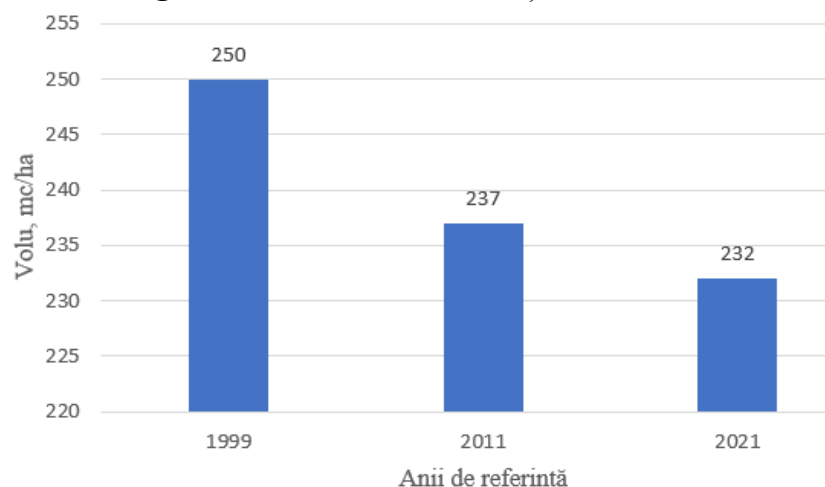
Volumul total al gorunului în cadrul ÎSC „Strășeni” este în descreștere (fig.6), continuă conform evidențelor de la ultimele trei amenajări, de la 1445105 m³ (a. 1999), 1202866 m³ (a. 2011) la 1188587 m³ (a. 2021). De către ÎSC „Strășeni” trebuie analizat atent care este motivul descreșterii volumului de masă lemnoasă în decursul ultimelor 3 amenajări.

Fig. 6. Volumul gorunului la amenajarea din 1999, 2011 și 2021.



Pentru gorun volumul la hectar este descreșcător de la 250 m³ în a. 1999, 237 m³ în a. 2011 la 232 m³ în a. 2021 (fig. 7).

Fig. 7. Volumul la hectar al gorunului în anii de referință.



Concluzii

- structura arboretelor din cadrul Codrilor Strășenilor reflectă parțial potențialul productiv oferit, ceea ce reiese și din compoziție;
- structura pe specii reflectă diferența față de optimul potențialului productiv al terenului;
- pe parcursul a trei perioade de amenajare a pădurilor, volumul gorunului la hectar este în descreștere;
- gorunul participă cu 43% pe suprafață, iar volumul reprezintă 47% din totalul pe întreprindere.

Referințe:

1. CIOBANU, A., GRATI, V., et al., *Norme tehnice privind folosirea, conservarea și dezvoltarea pădurilor din Republica Moldova*, ed. Print-Caro, Chișinău 2012, 499 p. ISBN 978-9975-56-058-0.
2. DONIȚĂ, N., VIȘOIU, D. *Compoziții optime pentru arboretele din etajul bioclimatic deluros de gorunete, goruneto-făgete și făgete*. *Revista Pădurilor* 119 (5), 2004, p. 12-14.
3. GRATI V., SCUTARU, M., CAISÎN., V. *Analysis of the structure of forest stands of Scoreni Forest district, Symposium forest Science for a Sustainable Forestry and Human Wellbeing in a Changing World*. INCDS „Marin Drăcea” 85 Years of Activity, Centenary of The Great Union in 1918, Book of abstracts.

Date despre autori:

Vladislav GRATI, asistent universitar, Facultatea de Biologie și Geștiințe, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-7543-8240

E-mail: *grativlad@yahoo.com*

Iurie BEJAN, conferențiar universitar, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-5141-0315

E-mail: *iurie.bejan@gmail.com*

Sabina GRATI, cercetător științific, stagiar, Grădina Botanică Națională (Institut), Universitatea de Stat din Moldova.

E-mail: *gratisabina@gmail.com*

Prezentat la 04.04.2024

CZU: 631.4(478)

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_25](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_25)

CARACTERIZAREA FACTORULUI EDAFIC ÎN CARE VEGETEAZĂ SPECIILE FORESTIERE DIN CADRUL ENTITĂȚII SILVICE STRĂȘENI

*Vladislav GRATI, Iurie BEJAN,
Tatiana NAGACEVSCHI, Tatiana BUNDUC,*

Universitatea de Stat din Moldova

Articolul reprezintă un studiu comparativ al condițiilor de vegetație (aspecte geomorfologice, soluri) pentru zona centrală a Republicii Moldova numită și „Codrii centrali”. Secetele prelungite impun un mod diferit de gestionare a silviculturii. Prin acest studiu ne propunem să identificăm comparativ condițiile edafice din 1985 și 2021, modul în care acestea au evoluat, dar și capacitatea arborilor de a se acomoda în timp.

Solurile forestiere din Republica Moldova au fost mai puțin studiate, cu excepția celor din centrul Republicii Moldova (Ursu, 2005), în special ariile protejate, fiind incluse în traseele cercetărilor științifice.

Cuvinte-cheie: *condiții de vegetație, condiții ecologice, sol, orizonturi, pădure.*

CARACTERIZATION OF THE EDAPHIC FACTOR IN WHICH WITHIN THE STRASENI FORESTRY ENTITY

The article presents a comparative study of the vegetation conditions (geomorphological aspects, soils) for the central area of the Republic of Moldova (RM) also called „Central Forests”. The prolonged droughts require a different way of managing both forestry and agriculture. Through this study, we aim to identify comparatively the edaphic conditions in 1985 and 2021, how they evolved over time, but also the capacity of the trees to accommodate over time.

The forest soils of the Republic of Moldova have been studied less, with the exception of those in the middle of the Republic of Moldova, which also protected areas, have been more often visited with scientific research (A. Ursu 2005).

Keywords: *vegetation conditions, ecological conditions, soil, forestry.*

Introducere

Pădurea trebuie să corespundă rigorilor și normelor tehnice, dar și rezultatelor cercetărilor de lungă durată. Conform prevederilor Constituției Republicii Moldova, siguranța în ziua de mâine depinde în mare parte de accesul populației la un mediu sănătos și asigurarea cu condiții destoinice de trai. Autorii I.A. Krupennicov, A.F. Ursu, D.M. Balteanschi, A.C. Rodina în lucrarea: „Агропочвенное районирование Молдавской СССР, 1965”, încadrează înălțimile Moldovei Centrale (Codrii) în Provincia Central-moldo-venească cu păduri (Codrii).

Academicianul A. Ursu în lucrarea „Solurile Moldovei” (Ursu et al., 2008), la capitolul „Zonalitatea pedogeografică” încadrează Codrii Centrali în zona II pedogeografică - Zona pădurilor Podișului Codrilor. În cadrul regiunii centrale „Codrii” se evidențiază două districte și patru raioane pedogenetice. Districtul Podișului Central cu soluri brune și cenușii, păduri de fag și gorun constituie un district specific cu două raioane pedogenetice. Pădurile gestionate de Entitatea silvică Strășeni (ES Strășeni) se încadrează în Raionul Pădurilor Colinelor Codrilor, deosebindu-se prin structură proprie, relieful accidentat, fragmentat și constituie o morfosculptură asimetrică ridicată de forțele neotectonice, cu înclinare spre sud-est.

Scopul cercetărilor este de a determina și descrie tipurile de sol din cadrul ES Strășeni, precum și contribuția acestora la încadrarea tipologică stațională.

Obiectivele specifice au constat din: identificarea tipurilor de sol din teritoriul ÎSC Strășeni; descrierea tipurilor de sol; stabilirea corespondenței tipurilor de sol identificate la 1985 și 2021.

Materiale și metode

Localizarea studiului

Teritoriul preluat în studiu face parte din fondul forestier aflat în gestiunea Agenției „Moldsilva”, gospodărit de Entitatea silvică Strășeni (ES Strășeni). Metodologia va coapta și impune utilizarea la nivel de obligativitate a valorificării potențialului productiv al terenului în strictă corespundere cu formarea pădurilor copie a tipului natural fundamental.

Din punct de vedere geomorfologic pădurile gospodărite de ES Strășeni se încadrează în marea unitate orografică numită Înălțimile Moldovei Centrale, numită și Podișul Codrilor care se deosebește prin structură proprie, relief fragmentat de o rețea de văi, ravene și hârtoape (Boboc N., 2009) și caracter muntos al regiunii (Porucic 1928, Porucic 1916) ș.a., accentuând proveniența erozională a reliefului - „munți de eroziune” (Obedientova, Samanin 1951). Nicolae Dimo considera neargumentată atribuirea Codrilor regiunilor muntoase, deoarece „structura geologică nu evidențiază nici-o particularitate specifică orogenezei” (Ursu 2003). Administrativ suprafața ISC Strășeni se află în cadrul a 2 raioane (Strășeni 92% și Ialoveni – sub 1%) și mun. Chișinău (Primăria Trușeni ≈ 7%).

Pentru studiu au fost preluate subtipurile de sol în baza hărții solurilor 1:25 000 din 1985: soluri brune (de pădure), soluri cenușii albice (deschise), soluri cenușii tipice, soluri cenușii molice (închise) și cernoziomurile, fiind acoperită practic toată aria ES Strășeni. Suplimentar au fost studiate 5 profile de sol amplasate în cadrul OS Căpriană (ua 9F, 13E, 26F, 33A) și OS Scoreni (ua 40B).

Fig. 1. Poziția geografică a locului de studiu.



Studiul comparativ al solurilor identificate la amenajarea pădurilor din 2021 a ținut cont de amplasarea profilelor de sol în aceleași locuri ca și la lucrările de pe teren din 1985. Tipurile de pădure în care au fost amplasate profilele de sol sunt următoarele: Goruneto-făget dominând în special pe rupturile de versanți unde este posibilă acumularea unei cantități suficiente de apă pentru asigurarea vitalității fagului, stejăret cu carpen, goruneto-șleau, gorunet cu carpen, amestec de stejar pedunculat cu stejar pufos. Datele preluate din teren au fost prelucrate în laboratorul Institutului de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului „Nicolae Dimo”. Datele prezentei cercetări au fost utilizate la stabilirea de criterii utilizate la determinarea tipurilor de stațiuni. Cu ajutorul criteriilor fizico-geografice s-a determinat și analizat situația în zonalitatea bioclimatică, formele de relief, poziția pe versant și materialul parental, tipul, subtipul și varietatea de sol, tipul de humus din orizontul superior, textura solurilor în orizonturile A și B, caracterul scheletic, porozitatea și drenajul intern.

Solurile Entității silvice (ES) Strășeni sunt clasificate conform nomenclatorului adoptat pentru solurile Republicii Moldova în 2004 prin hotărâre de guvern (MO 2004). În cadrul ES Strășeni au fost evidențiate tipurile genetice de sol cu ocazia lucrărilor de amenajare a pădurilor din anul 1985 și reactualizate prin amplasarea de profile de sol în locațiile similare la amenajarea pădurilor din 2021 (Tab. 1).

Tabelul 1. Tipuri genetice de sol evidențiate în cadrul ES Strășeni.

Nr. crt.	Tipuri genetice de sol	Suprafața pe ocoale silvice, ha			Total	
		Căpriana	Scoreni	Strășeni	ha	%
1	Brune	41,8	-	-	41,8	<1
2	Cenușii	5076,1	3987,5	3098,8	12162,4	97
3	Cernoziom argiloiluvial	-	80,4	40,5	120,9	1
4	Sol aluvial	6,4	-	-	6,4	<1
5	Erodisol	68,5	-	-	68,5	1
6	Sol decopertat	-	-	129,6	129,6	1
Total		5192,8	4067,9	3268,9	12529,6	100

Rezultate și discuții

Relieful accidentat al ES Strășeni imprimă anumite diferențieri de ordin climatic și edafic stațiunilor. Principalele tipuri genetice de sol identificate în cadrul ES Strășeni sunt: solurile brune, solurile cenușii albice, solurile cenușii tipice, solurile cenușii molice, cernoziomurile argiloiluviale.

Solurile brune ocupă o suprafață neînsemnată (<1%) din teritoriul ES Strășeni și s-au format sub coronamentul pădurilor de foioase, constituite din fag, gorun și alte specii de foioase în amestec. Existența acestui tip de sol se datorează unui climat moderat cald și umed. La fel, durata perioadei de vegetație, cu un regim de umiditate periodic percolativ, determină predominarea proceselor de acumulare asupra celor de levigare și transportare a produselor biologice și celor chimice, fiind limitată de elementele alcaline din sol.

Conform studiului pedologic realizat la 1985 și actualizat în anul 2021, solul brun se întâlnește doar în cadrul OS Căpriana, fiind reprezentat prin subtipul de brun luvic lutos, pe depozite eluviale - deluviale cu textură luto-argiloasă. Pentru caracterizarea particularităților morfologice a solului brun luvic lutos se prezintă descrierea arboretului: 20%GO – 150 ani, 20%GO - 100 ani, 10%FR – 100 ani, 20%CA – 100 ani, 10%TE – 100 ani, 10%CI – 100 ani, 10%DT – 10 ani cu consistența 0,7 și vitalitate normală. Flora indicatoare este reprezentată de *Asarum-Stellaria*.

Litiera forestieră semidescompusă, alcătuită din resturi de ramuri, frunze și pătură erbacee, afânată răspândită uniform pe suprafață, cenușă -14,8%. Reacția pH în soluție apoasă aproape de neutră, pH=6.3, cu următoarele orizonturi genetice:

Orizontul A₁ (0-5cm) - orizont întelenit, culoare gri întunecată cu nuanțe cafenii, reavăn, afânat cu structură glomerulară mică, textură mijlocie lutoasă, conținut de argilă fizică - 36,8%, perforat de rădăcinile erburilor și a resturilor vegetale. Reacția solului neutră, (pH în suspensie salină - 6,3). Conținutul de humus - 4,18%. Trecerea în orizontul următor treptată.

Orizontul AB (5-28cm) - orizont eluvial, submoderat humifer, uscat, brun-deschis, afânat, cu structură nuciformă-grăunțoasă, textură ușoară luto-nisipoasă, conținutul de argilă fizică 25,35%, volum mare de rădăcini, se evidențiază bine particulele nisipoase de cuarț. Reacția aproape de neutră (pH în suspensie salină - 6,0). Conține 1,24% humus. Trecerea în orizontul următor treptată.

Orizontul B₁ (28-46 cm) - orizont de tranziție eluvial - iluvial, brun cu scurgeri albicioase din AB, reavăn, slab compactat, textură mijlocie lutoasă, conținut de argilă fizică 33,13%, structură nuciformă-bulgăroasă, conține 0,98% humus, cantitate însemnată de rădăcini de arbori și arbuști, reacția acidă, (pH în suspensie salină - 5,0), trecere treptată.

Orizontul B₂ (46-87 cm) - iluvial (argic), brun gălbui, reavăn, compactat, structură nuciformă mășcată-bulgăroasă, textură mijlocie lutoasă, argilă fizică 35,52%, prezența rădăcinilor slabă, conține 0,54% humus, reacția solului acidă, (pH în suspensie salină - 5,0), trecere treptată.

Fig. 2. Profilul solului brun luvic, OS Căpriană (u.a. 9F).

Orizontul B₃ (87-95 cm) - de trecere spre roca parentală, iluvial, brun-gălbui, reavăn, compactat, structură bulgăroasă, cu textură mijlocie lutoasă, argilă fizică 38,02%, rădăcini subțiri puține, reacția solului slab acidă, (pH în suspensie salină - 5,1), trecere treptată în orizontul următor.

Orizontul C (95-105 cm) - rocă parentală, depozite eluviale - deluviale cu textură mijlocie lutoasă, argilă fizică 34,60%. Solul brun luvic lutos, pe depozite eluviale - deluviale. Profilul solului se deosebește printr-o slabă diferențiere. Din aceste considerente, solul prezintă o trecere spre tipul de sol cenușiu. Caracterul specific constă în prezența unor semne distructive de eluier, în forme de scurgeri și acumulări de Si O₂. Acest caracter a condiționat atribuirea la subtipul luvic.

Textura solurilor brune luvice lutoase cu conținutul argilei fizice în orizontul humifer eluvial este de 25,35%, din care argilă fină 14,36%. Conținutul de humus în orizontul superior constituie 4,18%. Suma cationilor schimbabili variază de la 11,7 la 20,7ml/100g sol. Pe tot profilul predomină calciul, care variază între 8,8 și 16,6% din suma totală. Gradul de saturație în baze variază de la 85 la 92%. Aciditatea hidrolitică a acestor soluri ajunge până la 2,0 ml/100g.sol. Reacția soluției solului se schimbă de la acidă până la neutră pH soluție salină 5,0-6,3. Conținutul azotului total în dependență de procentul de humus variază de la 0,081 până la 0,343 % (Tab. 2-4, fig. 2).

Tabelul 2. Textura și însușirile fizice ale solului brun luvic (OS Căpriană, u.a.9F).

Orizontul		Mărimea fracțiunilor, mm, conținutul, % g/g		Apa higroscopică, % g/g	Coeficientul de higroscopicitate, % g/g	Densitatea, g/cm ³	Densitatea aparentă, g/cm ³	Porozitatea totală g/cm ³
Cod	Adâncimea, cm	∑ particulelor >0,01 mm (nisip fizic)	∑ particulelor <0,01 mm (argilă fizică)					
A0	2-0	-	-	--	-	-	-	-
A ₁	0-5	63,20	36,80	5,4	7,4	2,56	0,84	66,2
AB	5-28	74,65	25,35	3,5	7,1	2,62	1,22	51,3
B ₁	28-46	66,87	33,13	4,7	8,0	2,69	1,64	37,5
B ₂	46-87	64,48	35,52	4,8	8,4	2,70	1,64	-
B ₃	87-95	61,98	38,02	3,4	7,8	2,68	1,57	-
C	95-105	65,40	34,60	2,7	7,0	2,69	1,46	-

Tabelul 3. Însușirile chimice ale solului brun luvic (OS Căpriană, u.a.9F).

Orizontul		pH		CaCO ₃ % g/g	P ₂ O ₅ % g/g	Cenușă % g/g	Humus % g/g	N, total % g/g	C:N	Forme mobile (mg/100g sol)	
Cod	Adâncimea, cm	Suspensie apoasă	Suspensie salină							P ₂ O ₅	K ₂ O
A0	2-0	6,3	-	-	-	14,80	-	-	-	-	-

A ₁	0-5	6,8	6,3	0	0,177	-	4,18	0,343	7	8,14	31,2
AB	5-28	6,7	6,0	0	0,126	-	1,24	0,116	7	3,12	25,0
B ₁	28-46	6,4	5,0	0	0,100	-	0,98	0,081	6	1,25	26,7
B ₂	46-87	6,4	5,0	0	-	-	0,54	-	-	-	-
B ₃	87-95	6,7	5,1	0	-	-	0,46	-	-	-	-
C	95-105	6,8	5,6	0	-	-	0,42	-	-	-	-

Tabelul 4. Conținutul cationilor de schimb și gradul de saturație în baze (OS Căpriană, u.a.9F).

Orizontul		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Σ Ca Mg	Aciditatea hidrolitică	Gradul de saturație în baze, %
Cod	Adâncimea, cm	ml/100g sol				
A0	2-0	-	-	-	-	-
A ₁	0-5	16,6	4,1	20,7	1,8	92
AB	5-28	11,1	2,6	13,7	1,7	89
B ₁	28-46	8,8	2,9	11,7	2,0	85
B ₂	46-87	-	-	-	-	-
B ₃	87-95	-	-	-	-	-
C	95-105	-	-	-	-	-

Solurile cenușii s-au format sub arborete pure de stejar pedunculat, stejăreto-șleauri, stejăreto-goruneto șleauri, goruneto-șleauri și gorunete pure în condițiile unui regim de umiditate periodic percolativ. Aceasta se datorează unui regim bihidrotermic specific care în mare parte este determinat nu numai de structura geologică și geomorfologică a teritoriului, dar și de așezarea geografică a înălțimii Moldovei Centrale (Codrii Centrali).

Solurile cenușii din cadrul ES Strășeni sunt reprezentate de 3 subtipuri: cenușii albice, cenușii tipice și cenușii molice. În subtipurile de sol cenușiu s-au evidențiat următoarele varietăți de sol: subdiviziuni genetice în urma proceselor de gleizare, stagnogleizare, erodare: slabă, mijlocie și puternică. La fel, au fost evidențiate soluri cenușii pe depozite eluviale, nisipoase și nisipo-lutoase, pe depozite eluviale neogene luto-nisipoase pe eluvii neogene lutoase, pe depozite eluviale-deluviale textură diferită. După textură s-au evidențiat: ușoare nisipo-lutoase, luto-nisipoase, mijlocii lutoase, grele argilo-lutoase. Cea mai mică pondere este a subtipului cenușiu albic, care ocupă o suprafață neînsemnată (sub 1%) în OS Căpriană și OS Strășeni.

Solurile cenușii albice s-au format pe elemente înalte de relief (interfluvii sub formă de culmi și platouri, vârfuri superioare de versant) sub coronamentul arboretelor pure de gorun, goruneto-șleauri, pe roci argiloase sau lutoase aflate la adâncimea (1,2-1,5m) deseori argile impermeabile. Profilul solului devine evident diferențiat, în orizontul superior se acumulează bioxidul de siliciu (SiO₂), culoarea devine albicioasă, în orizontul B se rețin oxizii (fierului, aluminiului, manganului-R₂O₃), mineralele argiloase. Profilul solului cenușiu albic lutos pe depozite eluviale neogene (Tab.5-7, fig. 3) este clar diferențiat prin orizontul A eluvial și B iluvial.

Orizontul A₀ (2-0cm) - litieră forestieră alcătuită din resturi uscate de frunze mărunțite a arborilor, arbuștilor și ierbii. Afânată, uniform răspândită pe suprafață, semidescompusă.

Orizontul A₁ (0-6cm) - orizont întelenit, cenușiu, reavăn, afânat, structură glomerular-nuciformă, textură ușoară luto-nisipoasă, argilă fizică 28.52%, foarte multe rădăcini. Conține 5,74% de humus. Reacția solului acidă (pH în suspensie salină 4,9). Trecerea în orizontul următor clară.

Orizontul A₂ (6-16cm) - eluvial, cenușiu cu nuanțe albicioase, o cantitate însemnată de SiO₂, reavăn, afânat, textură mijlocie lutoasă, argilă fizică 31.93%, structură grăunțoasă-nuciformă, foarte multe rădăcini, conține 2,09% de humus. Reacția solului extrem de acidă (pH în suspensie salină 3,7). Trecerea în orizontul următor clară.

Orizontul A₃ (20-30 cm) - eluvial, cenușiu cu nuanțe albicioase, o cantitate însemnată de SiO₂, reavăn, structură glomerulară-lamelară nerezistentă, textura mijlocie lutoasă, argilă fizică 31,28%, multe rădăcini, compact, conține 0,77% de humus. Reacția solului extrem de acidă (pH în suspensie salină 3,6). Trecerea în orizontul următor clară.

Orizontul B₁(45-55 cm) - iluvial, brun cu nuanță albicioasă datorită pretării cu bioxid de siliciu, reavăn, compact, cu structură glomerulară-nuciformă-prismatică, textura mijlocie lutoasă, argilă fizică 35,70%, rădăcinile sunt mai rare. Conține 0,46% de humus. Reacția soluției solului extrem de acidă (PH în suspensie salină 3,6). Trecere treptată în orizontul următor.

Orizontul B₂ (70-80 cm.) - iluvial, brun, reavăn, compact, structură nuciformă-prismatică, textura mijlocie lutoasă, argilă fizică 39,30%, prezență mai rară a rădăcinilor. Conține 0,41% de humus. Reacția soluției solului extrem de acidă (pH în suspensie salină-3,9). Trecerea clară în orizontul următor.

Orizontul BC (85-95cm.) - de trecere către roca parentală, modificată de procesul de pedogeneză, brun-gălbui, reavăn, structură glomerulară, textura mijlocie lutoasă, argilă fizică 38,91%, compact. Conține 0,31% humus. Reacția soluției solului extrem de acidă (pH în suspensie salină 3,9). Trecere clară în orizontul următor.

Orizontul C (98-110 cm) - rocă parentală, depozite neogene eluviale lutoase.

Tabelul 5. Textura și însușirile fizice ale solului cenușiu albic (OS Căpriana, u.a.13E).

Orizontul		Mărimea fracțiunilor, mm, conținutul, % g/g		Apa higroscopică, % g/g	Coeficientul de higroscopicitate, % g/g	Densitatea, g/cm ³	Densitatea aparentă, g/cm ³	Porozitatea totală g/cm ³
Cod	Adâncimea, cm	∑ particulelor >0,01 mm (nisip fizic)	∑ particulelor <0,01 mm (argilă fizică)					
A ₀	2-0	-	-	-	-	-	-	-
A ₁	0-6	71,42	28,58	2,9	8,5	2,51	1,19	52,8
A ₂	6-16	68,07	31,93	2,4	8,2	2,56	1,27	51,1
A ₃	20-30	68,72	31,28	2,4	8,2	2,65	1,42	46,2
B ₁	45-55	64,30	35,70	3,6	8,4	2,65	1,42	46,2
B ₂	70-80	60,70	39,30	4,0	9,7	2,67	1,63	39,1
B/C	85-95	61,09	38,91	4,0	10,7	2,70	1,68	38,5

Tabelul 6. Însușirile chimice ale solului cenușiu albic (OS Căpriana, u.a.13E).

Orizontul		pH		CaCO ₃ % g/g	P ₂ O ₅ % g/g	Cenușă % g/g	Humus % g/g	N, total % g/g	C:N	Forme mobile (mg/100g sol)	
Cod	Adâncimea, cm	Suspensie apoasă	Suspensie salină							P ₂ O ₅	K ₂ O
A ₀	2-0	6,0	-	-	-	11,5	-	-	-	-	-
A ₁	0-6		4,9	0	-	-	5,74	0,392	8	1,25	25,0
A ₂	6-16		3,7	0	-	-	2,09	0,172	7	5,62	12,5
A ₃	20-30		3,6	0	-	-	0,77	0,054	8	2,50	10,0
B ₁	45-55		3,6	0	-	-	0,46	-	-	-	-
B ₂	70-80		3,9	0	-	-	0,41	-	-	-	-
B/C	85-95		3,9	0	-	-	0,31	-	-	-	-

Tabelul 7. Conținutul cationilor de schimb și gradul de saturație în baze (OS Căpriană, u.a.13E).

Orizontul		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Σ Ca Mg	Aciditatea hidrolitică	Gradul de saturație în baze, %
Cod	Adâncimea, cm	ml/100g sol				
A ₀	2-0	-	-	-	-	-
A ₁	0-6	18,2	3,5	21,7	6,8	76
A ₂	6-16	6,7	2,3	9,0	8,0	53
A ₃	20-30	4,3	1,6	5,9	9,6	38
B ₁	45-55	-	-	-	-	-
B ₂	70-80	-	-	-	-	-
B/C	85-95	-	-	-	-	-

Fig. 3. Profilul solului cenușiu albic (OS Căpriană, u.a. 13E).

O diferențiere însemnată pe orizonturile genetice se observă și după conținutul de humus, a bazelor schimbabile și a acidității hidrolitice. Suma cationilor schimbabili în orizontul eluvial humifer - 9,0ml/100g sol, dar în orizontul eluvial albic - 5,9 ml/100g sol. Aciditatea hidrolitică atinge valori maxime în orizontul eluvial albic (A₃). Așadar, solurile cenușii albice se caracterizează prin rezerve reduse de humus, cu o reacție a soluției solului extrem de acidă în suspensie salină, cu un grad mijlociu de saturație în baze (Oligomezobazice - mezobazice). Corespunzător, levigarea părții coloidale active din orizontul superior și depozitarea ei în orizontul B (iluvial), semnificativ diminuează proprietățile fizice ale solului. Starea structurală a orizonturilor superioare degradează ușor, agregatele structurale pierd stabilitatea, dezagregare, iar orizontul iluvial devine compact, prin umectare se dilată, scade gradul de permeabilitate a apei și a aerului, cu cât mai activ se evidențiază acest proces în orizontul iluvial, cu atât mai mult se înrăutățește regimul aerohidric în orizonturile subiacente, corespunzător și activitatea biologică a solului.

Solurile cenușii tipice (lutos pe depozite eluviale-deluviale de lut argilos (Tab.8-10, fig.4) au cea mai mare pondere (peste 70%) din teritoriul ES Strășeni și se regăsește în toate ocoalele silvice. Profilul este diferențiat prin orizontul A – eluvial, B – iluvial (Tab.8-10, fig. 4).

Orizontul A₀ (2-0cm) - litieră compusă din resturile căzute de ramuri și frunze, ierburi uscate semidescompuse, afânată, uniform răspândită pe suprafață, cenușă 10,0%.

Orizontul A₁ (0-4cm) - întelenit, cenușiu închis, reavăn afânat, structură glomerulară mică, textură mijlocie lutoasă, argilă fizică 31,33%, pătruns de rădăcini. Conține 3,86% de humus.

Orizontul A₂ (4-36cm) - eluvial-humifer, cenușiu pudrat cu silice, reavăn, afânat, structură găunțoasă nuciformă, textură mijlocie lutoasă, argilă fizică 35.70%, cantitate însemnată de rădăcini. Conținut de 1,93% de humus. Reacția soluției solului neutră (pH în suspensie salină 6.6).

Orizontul B₁ (36-62cm) - iluvial, brun cu nuanțe cenușii, reavăn, slab tasat, structură glomerulară nuciformă, textură grea luto- argiloasă, argilă fizică 43.41% , cantități însemnate de rădăcini. Conținut de 0,82% humus. Reacția soluției solului slab acidă (pH în suspensie salină 5,4). Trecere bruscă în orizontul următor.

Orizontul B₂ (62-73cm) - iluvial, brun, reavăn, tasat, structură nuciformă prismatică, textură grea luto - argiloasă argilă fizică 43.7%, rădăcini se întâlnesc rar. Conținut de 0,44% humus. Reacția soluției solului foarte acidă (pH în suspensie salină 4,5). Trecere clară în orizontul următor.

Orizontul B₃ (73-103 cm) brun-gălbui, reavăn, compact, structură prismatică, textură mijlocie lutoasă, argilă fizică 37,50%, rădăcini. Conținut de 0,33% humus. Reacția soluției solului neutră (pH în suspensie salină 6,6). Trecere lentă în orizontul următor.

Orizontul BC (103-142cm) - orizont de trecere către roca parentală, brun - gălbui, reavăn, compact, structură glomerulară, textură grea luto – argiloasă, argilă fizică 46,40%. Conținut de 0,31% humus. Reacția soluției solului neutră (pH în suspensie salină 6,6).

Orizontul C (142-150) rocă parentală, galben-deschis cu pete albicioase, reavăn, astructurat, conținut de CaCO₃ - 4,3%, textură grea luto- argiloasă, argilă fizică 48,45%. Reacția soluției solului slab alcalină (pH în suspensie apoasă 8,0). Efervescența la 142 cm.

Tabelul 8. Textura și însușirile fizice ale solului cenușiu tipic (OS Căpriana, u.a.37A).

Orizontul		Mărimea fracțiunilor, mm, conținutul, % g/g		Apa higroscopică, % g/g	Coeficientul de higroscopicitate, % g/g	Densitatea, g/cm ³	Densitatea aparentă, g/cm ³	Porozitatea totală g/cm ³
Cod	Adâncimea, cm	∑ particulelor >0,01 mm (nisip fizic)	∑ particulelor <0,01 mm (argilă fizică)					
A ₀	2-0	-	-	-	-	-	-	-
A ₁	0-4	65,67	34,33	3,41	8,5	2,51	1,19	52,8
A ₂	4-36	64,30	35,70	2,98	8,2	2,56	1,27	51,1
B ₁	36-62	56,59	43,41	3,62	8,2	2,65	1,42	46,2
B ₂	62-73	56,28	43,72	3,84	8,4	2,65	1,42	46,2
B ₃	73-103	62,50	37,50	3,41	9,7	2,67	1,63	39,1
B/C	103-142	53,60	46,40	3,84	10,7	2,70	1,68	38,5
C _K	142-150	51,55	48,45	3,73				

Tabelul 9. Însușirile chimice ale solului cenușiu tipic (OS Căpriana, u.a.37A).

Orizontul		pH		CaCO ₃ % g/g	P ₂ O ₅ % g/g	Cenușă % g/g	Humus % g/g	N, total % g/g	C:N	Forme mobile (mg/100g sol)	
Cod	Adâncimea, cm	Suspensie apoasă	Suspensie salină							P ₂ O ₅	K ₂ O
A ₀	0-2	5,7	-	-	-	10,6	-	-	-	-	-
A ₁	0-4		6,3	0	-	-	3,86	0,301	7	15,0	25,0
A ₂	4-36		6,6	0	-	-	1,93	0,128	9	5,62	20,0
B ₁	36-62		5,4	0	-	-	0,82	0,078	6	3,75	20,0
B ₂	62-73		4,5	0	-	-	0,44	-	-	-	-
B ₃	73-103		6,6	0	-	-	0,33	-	-	-	-
B/C	103-142		6,6	0	-	-	0,31	-	-	-	-
C _K	142-150	8,0		4,3							

Tabelul 10. Conținutul cationilor de schimb și gradul de saturație în baze (OS Căpriana, u.a.37A).

Orizontul		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	∑ Ca Mg	Aciditatea hidrolitică	Gradul de saturație în baze, %
Cod	Adâncimea, cm	ml/100g sol				
A0	2-0					

A ₁	0-4	-	-	-	-	-
A ₂	4-36	19,89	23,12	23,12	1,2	95
B ₁	36-62	18,23	22,39	22,39	2,3	91
B ₂	62-73	19,00	24,36	24,36	2,5	91
B ₃	73-103	-	-	-	-	-
B/C	103-142	-	-	-	-	-
C _K	142-150	-	-	-	-	-

Fig. 4. Profilul solului cenușiu tipic (OS Căpriansa, u.a. 37A).



În toate solurile cenușii tipice sunt evidențiate morfologic orizonturile iluviale, cu o constituție compactă și o creștere însemnată a particulelor de argilă. Schimbările care se produc pe profilul acestui subtip de sol sunt legate nu numai de procesele de eluviere a argilei fine din orizonturile superioare, dar și acumulării în rezultatul procesului de argilizare. Conținutul de humus în orizontul întelenit atinge valori înalte, dar în orizontul următor-eluvial humifer scade în jumătate. Scăderea bruscă a conținutului de humus se observă până la adâncimea de 50 cm. Mai jos de 50 cm. cantitatea de humus, chiar dacă și este neînsemnată, se micșorează mai lent și la adâncimi de 100-150 cm se mai conține 0,11-0,71% de humus. Prezența humusului la așa adâncimi se datorează prezenței rădăcinilor de arbori și arbuști în aceste orizonturi. Suma cationilor schimbabili din solurile cenușii tipice este neînsemnată și în dependență de textură și conținutul de humus variază. Cu adâncimea crește cantitatea cationilor schimbabili. Pe profil domină conținutul cationilor de calciu. Reacția soluției solului în suspensie salină variază de la extrem acidă până la neutră, dominată, fiind de la acidă la slab acidă. Cu toate că reacția este acidă

și slab acidă, gradul de saturație în baze este înaltă.

Fig. 5. Profilul solului cenușiu molice, OS Căpriansa, u.a. 26F.



Solurile cenușii molice lutoae pe lut argilos se întâlnește în toate ocoalele silvice, dar cea mai mare pondere (circa 62%) este în cadrul OS Căpriansa (Tab. 11-13, fig. 5.). După caracteristicile și însușirile morfologice, solurile cenușii molice sunt mai aproape de cerniziomurile argiloiluviale.

Orizontul A₀ (2-0cm) - litieră din resturi uscate de ramuri, frunze din arbori și arbuști, erburi uscate, cenușă 17,3%. Reacția - slab acidă pH în suspensie apoasă 6,0).

Orizontul A₁ (0-6 cm) - orizont întelenit, cenușiu închis, reavăn, afânat, perforat de rădăcini, structura glomerulară - grăunțosă, textura lutoasă, argilă fizică 42,25%, bine humificat -12,70% de humus. Trecerea între orizonturi clară.

Orizontul A₂ (6-36) - eluvial humifer, cenușiu închis, reavăn, afânat, structură grăunțosă-mărunt nuciformă, textura lutoasă, argilă fizică 44,22%, bine humificat -5,90% humus, foarte multe rădăcini. Reacția soluției solului slab acidă (pH în suspensie salină 5,1). Trecerea între orizonturi clară.

Orizontul B₁ (36-54 cm) - iluvial humifer (de tranziție) cenușiu închis cu nuanțe brune, reavăn, slab tasat, structură grăunțosă-glomelurală-nuciformă, textură grea luto-

argiloasă, argilă fizică 49,60%, vizibil argilizat, slab pudrat cu SiO_2 , foarte multe rădăcini. Conține 2,01% de humus. Reacția soluției solului acidă (pH în suspensie salină 5,0). Trecerea între orizonturi clară.

Orizontul B₂ (54-75 cm) - iluvial, brun cenușiu, reavăn, compact, structură nuciformă-prismatică, textura luto - argiloasă (52,39% argilă fizică), rădăcini rare. Conține 1,10% de humus. Reacția soluției solului aproape de neutră (pH în suspensie salină 6,0). Trecere treptată între orizonturi.

Orizontul B₃ (75-110 cm) - al doilea iluvial, brun, reavăn, compact, structură prismatică, textură luto - argiloasă, argilă fizică 53,97%, rădăcini rare. Conține 1,03% de humus. Reacția soluției solului slab alcalină (pH în suspensie salină 7,2). Trecere treptată între orizonturi.

Orizontul BC (110-145 cm) - de trecere către rocă parentală, modificată de procesul de pedogeneză, galben cu nuanțe brune, reavăn, compact, argilizat, structură prismatică, textură luto - argiloasă, argilă fizică 50,11%, rădăcini unitare. Conține 0,55% humus. Reacția soluției solului slab alcalină (pH în suspensie salină 7,5). Trecerea între orizonturi clară.

Orizontul Ck (145-160 cm) - rocă parentală, galben pestriț cu carbonați, reavăn, compact, textură luto - argiloasă, argilă fizică 50,30%, carbonatic (6,0% CaCO_3). Reacția soluției solului alcalină (pH în suspensie apoasă 8,1).

Tabelul 11. Textura și însușirile fizice ale solului cenușiu molic (OS Strășeni, u.a.26F).

Orizontul		Mărimea fracțiunilor, mm, conținutul, % g/g		Apa higroscopică, % g/g	Densitatea, g/cm ³	Densitatea aparentă, g/cm ³	Porozitatea totală g/cm ³
Cod	Adâncimea, cm	∑ particulelor >0,01 mm (nisip fizic)	∑ particulelor <0,01 mm (argilă fizică)				
A ₀	2-0						
A ₁	0-6	57,75	42,25	4,49	2,51	1,19	52,8
A ₂	6-36	55,80	44,20	4,38	2,59	1,27	51,1
B ₁	36-54	50,40	49,60	4,60	2,65	1,42	46,2
B ₂	54-75	47,61	52,39	4,93	2,67	1,63	39,1
B ₃	75-110	46,03	53,97	5,00	2,68	1,65	39,0
B/C	110-145	49,89	50,11	5,04	2,69	1,67	37,9
Ck	145-160	49,70	50,30				

Tabelul 12. Însușirile chimice ale solului cenușiu molic (OS Strășeni, u.a. 26F).

Orizontul		pH		CaCO ₃ % g/g	Cenușă % g/g	Humus % g/g	N, total % g/g	C:N	Forme mobile (mg/100g sol)	
Cod	Adâncimea, cm	Suspensie apoasă	Suspensie salină						P ₂ O ₅	K ₂ O
A ₀	2-0	6,0		0	17,3					
A ₁	0-6		6,0	0		12,70	0,448	7	11,25	27,00
A ₂	6-36		5,1	0		5,90	0,259	6	5,00	18,00
B ₁	36-54		5,0	0		2,01	0,172	7	5,00	18,00
B ₂	54-75		6,0	0		1,10				
B ₃	75-110		7,2	3,6		1,03				
B/C	110-145		7,5	4,9		0,55				
Ck	145-160	8,1		6,0						

Tabelul 13. Conținutul cationilor de schimb și gradul de saturație în baze a solului cenușiu molice (OS Strășeni, u.a. 26F).

Orizontul		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Σ Ca Mg	Aciditatea hidrolitică	Gradul de saturație în baze, %
Cod	Adâncimea, cm	ml/100g sol				
A ₀	2-0					
A ₁	0-6		3,09	28,6	2,9	91
A ₂	6-36	27,82	5,18	30,91	3,3	88
B ₁	36-54	14,58	4,30	19,76	4,1	85
B ₂	54-75	17,20		21,50	2,6	90
B ₃	75-110					
B/C	110-145					
Ck	145-160					

Solurile cenușii molice se caracterizează printr-un șir de însușiri ce le acordă o productivitate înaltă. Aceste însușiri sunt: grosimea mare a orizontului humifer, humificarea bună, rezerve însemnate de elemente nutritive, reacția benefică a soluției solului, îmbogățirea complexului adsorbativ cu cationi de Ca⁺⁺, activitate microbiologică activă, însușirile benefice ale regimurilor de umiditate și aerație.

Pe treimea inferioară de versant cu ape freactice la suprafață cu locuri joase se formează solurile cenușii molice. Ocupă o suprafață de circa 7,6 ha. Se deosebesc solurile molice prin semne pronunțate clare de gleizare în orizontul de trecere spre roca parentală și însuși roca.

Textura solurilor cenușii molice gleizate este grea luto - argiloasă (conținutul de argilă fizică în orizontul superior este de 45,58%). Conținutul de humus este de 0,41%. Volumul de adsorbție alcătuiește 67,9 ml/100 g sol, din care cationii de Ca dețin majoritatea (65,4 ml/100 g sol). Pe versanții cu diferite expoziții și înclinare s-au format soluri cenușii molice slab erodate (4,4 ha), moderat erodat (63,7 ha) și puternic erodate (13,1 ha). În dependență de gradul de levigare ele se caracterizează printr-un profil slab profund, conținut slab de humus, însușiri fizico chimice și aerație nefavorabile. Pe o suprafață de 45,4 ha din teritoriul ÎSC Strășeni sunt prezente soluri cenușii molice moderat și puternic erodate decopertate în rezultatul proceselor de alunecări de teren.

Cernoziomurile pe teritoriul întreprinderii sunt soluri fertile, bine humificate, formate în condiții de platou sau culme. Cernoziomurile argiloiluviale după așezarea geomorfologică s-au format la altitudine înaltă, prezintă un subtip de sol de trecere de la solurile cenușii-molice către cernoziomurile levigate (pudrarea slabă cu SiO₂ în partea de jos a orizontului eluvial humifer A₂ și orizontului iluvial B₁) și compactarea orizontului iluvial. Profilul genetic de sol – cernoziom argiloiluvial profund, luto – argilos. pe eluvii neogene luto argiloaseose (tab. 14-16, fig.6) este prezent în cadrul OS Scoreni (ua 40B). Caracteristica arboretului 6GO4STP, din lăstari, vârsta = 90 ani, bonitate inferioară, (clasa IV), consistența 0,6.

Orizontul A₀ (2-0 cm) – litieră semidescompusă din frunze și ramuri plus ierburi uscate. *Orizontul A₁* (0-7 cm) - întelenit, cenușiu închis, reavăn afânat perforat de rădăcini, structură glomerulară mică, textură grea luto – argiloasă, argilă fizică 47,32%, conținut de humus 5,57%, complexul adsorbativ de 37,40 ml/100 g sol. Reacția soluției solului aproape de neutră (pH în suspensie salină 5,9) cu o trecere pronunțată între orizonturi.

Orizontul A₂ (7-34) - eluvial humifer, cenușiu închis, reavăn compact, structură glomerulară, textură grea luto – argiloasă, argilă fizică 51,20, conținutul de humus 3,60%, în stare uscată – pudrat cu SiO₂, rădăcini din abundență. Complexul adsorbativ – 27,40 ml/100g sol, gradul de saturație în baze – 86%. Reacția soluției solului neutră (pH în suspensie salină 6,2) și o trecere clară în orizontul următor.

Orizontul B₁ (34-63 cm) – iluvial humifer, cenușiu închis cu nuanțe brune, structură glomerulară nuciformă mică, textură grea luto – argiloasă, argilă fizică 47,7%, rădăcini multe, reavăn, puternic compact, slab humificat, humus 2,01%. Complexul adsorbativ 25,0 ml/100 g sol. Reacția soluției solului slab acidă (pH în suspensie salină 5,3) cu trecere clară între orizonturi.

Orizontul B₂ (63-106 cm) – iluvial reavăn, compact brun cu nuanțe cenușii, structură nuciformă prismatică, textură grea luto – argiloasă, argilă fizică 51,09%, rădăcini rare. Conține 1,00% humus, reacția soluției solului slab acidă (pH în suspensie salină 5,5), trecere clară între orizonturi.

Orizontul B/C (106-120 cm) – de trecere, roca parentală modificată de procese pedogenetice, slab humificat, brun închis, reavăn, compact, structură bulgăroasă, textură grea luto – argiloasă, argilă fizică 47,30%, rădăcini unitare, conține 1,11% humus. Reacția soluției solului aproape de neutră (pH în suspensie salină 6,0).

Tabelul 14. Textura și însușirile fizice ale cernoziomului argiloiluvial (OS Scoreni, u.a.40B).

Orizontul		Mărimea fracțiunilor, mm, conținutul, % g/g		Apa higroscopică, % g/g	Coeficientul de higroscopicitate, % g/g	Densitatea, g/cm ³	Densitatea aparentă, g/cm ³	Porozitatea totală g/cm ³
Cod	Adâncimea, cm	∑ particulelor >0,01 mm (nisip fizic)	∑ particulelor <0,01 mm (argilă fizică)					
A0	2-0	-	-	-	-	-	-	-
A1	0-7	52,68	47,32	24,69	4,16	2,60	1,38	47,0
A2	7-34	48,80	51,20	21,30	3,62	2,62	1,57	40,1
B1	34-63	52,24	47,76	19,57	3,20	2,64	1,53	41,9
B2	63-106	48,91	51,09	26,72	3,78	2,65	1,56	41,0
B/C	106-120	52,70	47,30	30,92	4,27	2,69	1,56	42,0

Tabelul 15. Însușirile chimice ale cernoziomului argiloiluvial (OS Scoreni, u.a. 40B).

Orizontul		pH		CaCO ₃ % g/g	Cenușă % g/g	Humus % g/g	N, total % g/g	C:N	Forme mobile (mg/100g sol)	
Cod	Adâncimea, cm	Suspensie apoasă	Suspensie salină						P ₂ O ₅	K ₂ O
A0	2-0	6,3	-	0	12,9	-	-	-	-	-
A1	0-7	-	5,9	0	-	5,57	0,582	6	5,62	42,4
A2	7-34	-	6,2	0	-	3,60	0,329	6	1,25	42,4
B1	34-63	-	5,3	0	-	2,01	0,198	6	1,25	42,0
B2	63-106	-	5,5	0	-	1,00	-	-	-	-
B/C	106-120	-	6,0	0	-	1,11	-	-	-	-

Tabelul 16. Conținutul cationilor de schimb și gradul de saturație în baze (OS Scoreni, u.a.40B).

Orizontul		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	∑ Ca Mg	Aciditatea hidrolitică	Gradul de saturație în baze, %
Cod	Adâncimea, cm					
A0	2-0	-	-	-	-	-
A1	0-7	26,9	3,2	30,1	2,6	92
A2	7-34	20,0	3,6	23,6	3,8	86
B1	34-63	18,0	3,5	21,25	3,5	86
B2	63-106	-	-	-	-	-
B/C	106-120	-	-	-	-	-

Textura luto - argiloasă. Orizontul humifer conține argilă fizică 51,20%. Reacția soluției solului este slab acidă până la neutră (pH în suspensie salină 5,3-6,2). Suma cationilor schimbabili este mare (86-92 %) - saturat în baze. Complexul adsorbativ este comparativ mare (25,0 – 32,7 mg/100 g sol). Ponderea cea mai mare în complexul adsorbativ îi revine cationilor de Ca^{++} schimbabili. Conținutul de humus în stratul superior de 50 cm constituie 2,01 – 5,57%. Conținutul azotului total în funcție de humificare variază de la 0,198 până la 0,532% (mare). Raport C:N constituie 6 fiind apreciat un conținut ridicat de azot în humus. Îndestularea cu fosfor este extrem de mic (1,25 mg) și a calciului foarte mare (42,4 mg). Profilul de sol studiat în cadrul OS Scoreni (ua 40B) a evidențiat prezența de cernoziom argiloiluvial, astfel încât a fost sesizată diferența tipului de sol prezentat în amenajamentele silvice anterioare și tipul de sol identificat pe teren în toamna anului 2021.

Fig. 6. Profilul cernoziomului argiloiluvial, OS Scoreni, u.a. 40B.



Divizarea pe orizonturi este asemănătoare cu descrierea din 1985 cu ocazia determinării tipurilor genetice de sol în procesul lucrărilor de elaborare a studiului pedostațional al ÎSC Strășeni cu mici schimbări, și anume:

În anul 1985 orizontul întelenit avea mărimea de 7 cm, iar în anul 2021 de 16 cm; În anul 1985 orizontul eluvial humifer era de 27 cm, iar în anul 2021 de doar 19 cm; Orizontul iluvial humifer rămâne la aceleași dimensiuni; Orizontul iluvial argic, în 1985 avea 42 cm, iar în 2021 acest orizont a fost divizat în 2 orizonturi: primul iluvial argic (de sus) – 28 cm, de culoare brună închisă, iar al doilea (de jos), de o culoare brună gălbuie – 20cm.

Comparând rezultatele analitice privind însușirile fizico-chimice ale cernoziomului argiloiluvial din anii 1985 și 2021 am constatat:

- Reacția solului în suspensie apoasă variază atât în 1985, cât și 2021 de la moderat acidă la slab alcalină (5,5-8,0);

- Reacția soluției solului în suspensie salină la 1985 varia între slab acidă spre neutru, iar în 2021 își schimbă valorile, variind de la puternic acidă spre acidă (3,7-5,5);

- Aciditatea a crescut în orizontul eluvial humifer (pH 3,7), corespunzător și aciditatea hidrolitică în același orizont este foarte mare (11,38 ml/100g sol), iar în orizonturile inferioare să fie de la mică la mijlocie (2,06-4,36 ml/100g sol), conform valorilor de la 1985.

- Atât în anul 1985, cât și în 2021 pe profil se evidențiază foarte bine orizontul humifer, cu aceeași grosime (de până la 35 cm). La fel și rezerva de humus în stratul de 50 cm s-a păstrat, în anul 1985 constituia între 2,01 – 5,57%, iar în anul 2021 rezerva variază între 2,79-5,54;

- Apa higroscopică își păstrează aceleași valori atât în 1985, cât și în 2021.

Concluzii

Solurile brune ocupă o suprafață neînsemnată de 41,8 ha (<1%) din teritoriul ES Strășeni. Profilul solului se deosebește printr-o slabă diferențiere. Din aceste considerente, solul prezintă o trecere spre tipul de sol cenușiu. Caracterul specific constă în prezența unor semne distructive de eluviere, în forme de scurgeri și acumulări de SiO_2 . Fac parte din clasa a II^a de bonitate, fiind apreciate cu 72 puncte.

Solurile cenușii albice au cea mai mică pondere de răspândire din solurile cenușii, care ocupă o suprafață neînsemnată de 87,0 ha în OS Căpriană și OS Strășeni. Solurile cenușii albice se caracterizează prin rezerve reduse de humus, cu o reacție a soluției solului acidă și extrem de acidă în suspensie salină, cu un grad mijlociu de saturație în baze. Fac parte din clasa a IV^a de bonitate, fiind apreciate cu 58 puncte.

Solurile cenușii tipice au cea mai mare pondere (peste 8 mii ha) din teritoriul ÎSC Strășeni cu orizonturile iluviale evidențiate morfologic, constituție compactă și o creștere însemnată a particulelor de argilă.

Conținutul de humus în orizontul întelenit atinge valori înalte, dar în orizontul următor-eluvial humifer scade în jumătate. Scăderea bruscă a conținutului de humus se observă până la adâncimea de 50cm. Cu adâncimea crește cantitatea cationilor schimbabili. Pe profil domină conținutul cationilor de Ca^{++} . Fac parte din clasa a III^a de bonitate, fiind apreciate cu 68 puncte.

Solurile cenușii molice au cea mai mare pondere în cadrul OS Căpriană (circa 62%). Se caracterizează printr-un șir de însușiri ce le acordă o productivitate înaltă, și anume: grosimea mare a orizontului de humus, humificarea bună, rezerve însemnate de elemente nutritive, reacția benefică a soluției solului, îmbogățirea complexului adsorbant cu cationi de Ca^{++} , activitate microbiologică activă, însușirile benefice ale regimurilor de umiditate și aerație. Fac parte din clasa a II^a de bonitate, fiind apreciate cu 78 puncte. Pe teritoriul ÎSC Strășeni pe o suprafață de 45,4 ha solurile cenușii molice sunt moderat și puternic erodate, datorită decopertării în rezultatul alunecărilor de teren. Folosința acestor terenuri este îngreunată.

Cernoziomul argiloiluvial după așezarea geomorfologică s-a format la altitudine înaltă, prezintă un subtip de sol de trecere de la solurile cenușii-molice către cernoziomurile levigate (pudrarea slabă cu SiO_2 în partea de jos a orizontului eluvial humifer A_2 și orizontului iluvial B_1) și compactarea orizontului iluvial. Conținutul de humus în stratul superior de 50 cm constituie 2,01 – 5,57%. Face parte din clasa I de bonitate, fiind apreciate cu 88 puncte.

În perioada de 35 ani schimbări esențiale pe profilurile tipurilor de soluri cercetate nu au fost evidențiate.

Referințe:

1. URSU, A. *Raioanele pedogeografice și particularitățile regionale de utilizare și protejare a solurilor. Unitățile taxonomice superioare*, Chișinău, 2006, p. 10-130.
2. URSU A. *Solurile Moldovei*. Știința, 2011, p. 63-103.
3. URSU A., BARCARI E. *Solurile rezervației „Codrii”*, Chișinău-Lozova, 2011, 81 p.
4. CERBARI, V. *Griziomurile și bruneziomurile virgine și arabile din silvostepa Republicii Moldova*, Chișinău 2021.
5. PORUCIC, T. „Relieful teritoriului dintre Prut și Nistru”, *Buletinul Societății Regale Române*, vol. 47, București, 1929.
6. PORUCIC, T. *Geologia Basarabiei*, 1916.
7. ДИМО, Н.А. *Почвы Молдавии, задачи их изучения и главнейшие особенности*, Кишинев, 1958.
8. ОБЕДИЕНТОВА, Г. В., КАМАНИН, Л. Г., *К вопросу о границах Кодр. Проблемы физической географии*, Молдова, Кишинев, 1951.
9. *Почвенно-лесотипологический очерк, Страшенского ГСЛП, Кишиневского ЛПО – Министерства лесного хозяйства Молдавской ССР. Обследование, 1987.*
10. https://ibn.idsi.md/ro/vizualizare_articol/123
11. *Monitorul oficial al Republicii Moldova* din 26 noiembrie 2004.

Date despre autori:

Vladislav GRATI, asistent universitar, Facultatea de Biologie și Geoștiințe, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-7543-8240

E-mai: grativlad@yahoo.com

Iurie BEJAN, conferențiar universitar, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-5141-0315

E-mail: iurie.bejan@gmail.com

Tatiana NAGACEVSCHI, conferențiar universitar, Facultatea de Biologie și Geoștiințe, Universitate de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-2897-4785

E-mail: lola8459@mail.ru

Tatiana BUNDUC, doctor, cercetător științific, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-7706-2451

E-mail: tatiana.i.popusoi@gmail.com

Prezentat la 03.04.2024

CAPACITATEA DE AUTOPURIFICARE BIOLOGICĂ A APELOR NATURALE ȘI UZATE PRIN EVALUAREA RAPORTULUI DINTRE POLUANȚII BIODEGRADABILI ȘI CEI TOXICI

*Gheorghe DUCA, Maria SANDU, Viorica GLADCHI,
Angela LIS, Vladislav BLONCHI,*

Universitatea de Stat din Moldova

Studiul dat evidențiază impactul semnificativ al poluării chimice a mediului acvatic, provenite din diverse surse - continue, intermitente și accidentale - cu o atenție specială acordată râurilor mici din Republica Moldova.

În articol se aplică metodologia evaluării capacității de autopurificare biologică a apelor naturale și reziduale, utilizând parametrii consumul biochimic de oxigen (CBO_5) și consumul chimic de oxigen (CCO_{Cr}). Acești parametri sunt esențiali pentru aprecierea aportului proceselor de biodegradare a poluanților în apele naturale și reziduale. În baza raportului CBO_5/CCO_{Cr} apele se clasifică în cinci nivele de autopurificare, de la eficientă până la imposibilă.

Lucrarea subliniază necesitatea respectării cerințelor normative pentru epurarea apelor uzate provenite din diferite sectoare economice. Pentru monitorizarea respectării acestor cerințe se sugerează calcularea capacității de autopurificare folosind raportul CBO_5/CCO_{Cr} .

Cuvinte-cheie: *autopurificare, consumul biochimic de oxigen, consumul chimic de oxigen, capacitatea de autopurificare a apelor, sisteme acvatice, monitorizare, bazin hidrografic.*

THE BIOLOGICAL SELF-PURIFICATION CAPACITY OF NATURAL AND WASTE WATERS BY ASSESSING THE RATIO BETWEEN BIODEGRADABLE AND TOXIC POLLUTANTS

The study emphasizes the significant impact of chemical pollution in the aquatic environment, originating from various sources - continuous, intermittent, and accidenta - with particular focus on small rivers in the Republic of Moldova.

The article applies the methodology for evaluating the self-purification capacity of natural and waste waters using parameters as biochemical oxygen demand (BOD_5) and chemical oxygen demand (COD_{Cr}). These parameters are essential for assessing the contribution of pollutant biodegradation processes in natural and waste waters. The classification of waters into five levels of self-purification, from efficient to impossible, is based on the ratio BOD_5/COD_{Cr} .

This paper emphasizes the need to comply with the normative requirements for the treatment of wastewater from different economic sectors. Monitoring compliance with these requirements can be achieved by calculating the self-purification capacity using the BOD_5/COD_{Cr} ratio.

Keywords: *self-purification, biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD_{Cr}), water self-purification capacity, aquatic systems, monitoring, hydrographic basin.*

Introducere

Poluarea apelor naturale cu substanțe chimice are loc prin apele de șiroire provenite din apele meteorice care au spălat terenurile agricole și industriale, deversarea în ele a apelor reziduale menajere și industriale, precum și a reziduurilor lichide și solide provenite din diferite localități. Sursele de poluare a apei cu substanțe chimice pot fi *continue* (de exemplu, sistemul de canalizare din localități sau instalații industriale), *temporare* sau *mobile temporar* (cum ar fi sistemele de canalizare a instalațiilor sezoniere, nave, locuințe, autovehicule etc.) și *accidentale* (accidente ale instalațiilor, rezervoarelor, conductelor etc.).

În Republica Moldova, controlul se limitează la sursele de poluare ale sistemelor acvatice provenite de la utilizatorii primari de apă. Acestea afectează negativ apele de suprafață, mai ales din cauza epurării insuficiente și, în multe cazuri, a evacuării apelor uzate neepurate. Dintre cele 270 de stații de epurare monitorizate în anul 2021, doar 117 dispuneau de documentație tehnică, dintre care 29 funcționau conform

normelor de epurare. Alte 160 de unități funcționau cu epurare insuficientă, 18 - cu epurare parțială, iar 61 nu erau operaționale [1]. Această situație contribuie la poluarea cu substanțe chimice a apelor naturale și celor uzate deversate în mediu, în special în râurile mici din Republica Moldova.

Autopurificarea apelor este un fenomen complex care include procese biologice, chimice și fizice prin care un mediu poluat își recapătă calitatea inițială fără intervenții antropice [2]. Capacitatea de autopurificare a apelor depinde de compoziția chimică, temperatura, diversitatea, natura și persistența poluanților, precum și de calitatea epurării apelor uzate.

În literatura de specialitate există numeroase studii științifice detaliate, care reflectă compoziția chimică a apelor și procesele fizico-chimice și biochimice ce au loc în prezența poluanților chimici [3-20]. Un studiu complex despre procesele chimice, care contribuie la autopurificarea apei, a fost realizat de echipa acad. Gh. Duca, iar rezultatele au fost prezentate în diverse publicații științifice, o sinteză fiind disponibilă într-o publicație din anul 2022 [21]. În lucrare a fost evaluat rolul semnificativ al proceselor de hidroliză, fotoliză și transformărilor redox ale poluanților, precum și importanța oxigenului dizolvat în astfel de procese. La fel, este evidențiată importanța parametrilor de calitate care determină cantitatea poluanților organici biodegradabili și celor persistenți (care nu se supun transformărilor biochimice). Primul grup poate fi apreciat cu ajutorul parametrului *Consumul biochimic de oxigen timp de 5 zile* (CBO_5 , mgO₂/L), iar cel de-al doilea – cu ajutorul parametrului *Consumul chimic de oxigen* (CCO_{Cr} , mgO/L). În același timp, pentru estimarea calității apelor reziduale epurate se folosește, în primul rând, parametrul CBO_5 , deoarece aceste ape se tratează preponderent prin aplicarea metodelor biologice care implică utilizarea nămolului activ.

Reieșind din cele expuse, scopul prezentului studiu constă în evidențierea importanței evaluării capacității de autopurificare biologică a apelor prin aplicarea parametrilor CBO_5 și CCO_{Cr} , precum și calcularea raportului dintre aceștia pentru evaluarea gradului de autopurificare a apelor naturale și reziduale.

Importanța evaluării raportului CBO_5/CCO_{Cr} este subliniată și în documentele normative ale Uniunii Europene, precum și în diverse publicații științifice, în care se consideră un indicator esențial în evaluarea capacității de autopurificare a apelor naturale și reziduale [22-25].

Materiale și metode

Pentru evaluarea capacității de autopurificare (CA) a apelor naturale și celor reziduale, tratate biologic, se calculează raportul dintre CBO_5 și CCO_{Cr} . Determinarea parametrilor CBO_5 și CCO_{Cr} este reglementată prin legislația națională [22]. Acești parametri pentru apele naturale și reziduale sunt determinați conform standardelor naționale [22-26].

Este cunoscută clasificarea CA a apelor, care include trei grade – autopurificare ușoară ($CBO_5/CCO_{Cr} - 0,6$), autopurificare medie ($0,4-CBO_5/CCO_{Cr} - 0,2$) și autopurificare mică ($CBO_5/CCO_{Cr} - 0,2$) [27].

Studiul dat propune o clasificare mai detaliată a CA a apelor de suprafață și a apelor reziduale epurate prin metoda biologică, care include cinci grade de autopurificare.

Tabelul 1. Gradul de autopurificare a apelor naturale și celor reziduale epurate biologic reieșind din valorile CA ($CA=CBO_5/CCO_{Cr}$).

Nr.	CA	Gradul autopurificării
1	>0,6	eficientă
2	0,4-0,6	mare și se va produce ușor
3	0,2-0,4	medie și se va produce numai la regim termic favorabil populației bacteriene adaptată
4	0,1-0,2	mică și se va produce lent numai la regim termic favorabil populației bacteriene adaptată
5	<0,1	imposibilă, poluanții sunt toxici și nu se supun degradării biochimice

Pentru evaluarea gradului de autopurificare a diferitor tipuri de ape de suprafață, în studiul dat au fost analizați parametrii respectivi pentru ape naturale și ape reziduale ipotetice.

Din primul grup fac parte apele lotice și lence din bazinul hidrografic al fluviului Nistru, monitorizate pe parcursul anilor 2020-2023 în cadrul proiectului 20.80009.5007.27 finanțat de ANCD. Sistemele lotice reprezintă fluviul Nistru, cuprins între barajul de la Dubăsari și or. Vadul lui Vodă și afluenții săi Răut și

Ichel. Sistemele lactice analizate sunt lacurile de acumulare - Ghidighici, situat pe r. Bâc, care se varsă apoi în Nistru și lacul Dănceni, situat pe r. Ișnovăț, afluentul Bâcului. Prin urmare, a fost analizată baza de date privind valorile CBO_5 și CCO_{Cr} acumulată prin prelevarea și analiza probelor de apă.

Cel de-al doilea grup reprezintă exemple în care apele uzate, pot conține diferiți poluanți organici, provenite din multiple procese tehnologice și care pot fi prezente în aceste ape în concentrații de 1 mg/L. Pentru aceste cazuri sunt cunoscute valorile parametrilor CBO_5 și CCO_{Cr} [28], ceea ce a făcut posibil calcularea raportului CBO_5/CCO_{Cr} și gruparea poluanților în diverse grupe după gradul de autopurificare a apelor în prezența poluantului respectiv. De asemenea, sunt indicate domeniile economice în care sunt folosite substanțele respective [23, 29].

Rezultate și discuții

Gradul de autopurificare a apelor din sistemele lactice din bazinul fluviului Nistru

Pentru evaluarea gradului de autopurificare a apelor curgătoare din bazinul fluviului Nistru au fost colectate probe din 5 puncte de prelevare:

- 1 – fluviul Nistru, amonte de vărsare în el a râului Răut, or. Criuleni;
- 2 – r. Răut, s. Ustia, r. Dubăsari;
- 3 – fluviul Nistru, aval de vărsare a r. Răut;
- 4 – r. Ichel, s. Coșernița, r. Criuleni;
- 5 – fluviul Nistru, aval de vărsare în el a r. Ichel, or. Vadul lui Vodă.

Pentru o analiză mai amplă, au fost prelevate probe și din lacurile Ghidighici și Dănceni, care fac parte din bazinul hidrografic al fluviului Nistru.

Valorile parametrilor CBO_5 , CCO_{Cr} , raportul CBO_5/CCO_{Cr} și gradul de autopurificare a apelor sunt prezentate în tabelele 1-6.

Tabelul 2. Valorile parametrilor CBO_5 , CCO_{Cr} , raportul CBO_5/CCO_{Cr} și gradul de autopurificare a apelor fluviului Nistru în perioada anilor 2020-2023. Priza de captare - Nistru, amonte r. Răut.

Data	CBO_5 , mgO_2/L	CCO_{Cr} , mgO/L	CBO/CCO_{Cr}	Grad de autopurificare a apelor
06.2020	4,8	13	0,37	medie
09.2020	0,6	14	0,04	imposibilă
11.2020	2,6	15	0,17	mică
03.2021	0,6	17	0,04	imposibilă
06.2021	2,6	16	0,16	mică
10.2021	4,6	19	0,24	medie
11.2021	7,4	20	0,37	medie
03.2022	3,8	13	0,29	medie
06.2022	3,6	18	0,20	mică
09.2022	1,5	20	0,08	imposibilă
11.2022	2,5	23	0,11	mică
04.2023	3,7	21	0,18	mică
06.2023	6,0	21	0,29	medie
09.2023	2,1	17	0,12	mică
Media	3,3	17,6	0,19	mică

Rezultatele obținute demonstrează că pe parcursul perioadei de monitorizare în această priză de captare parametrul CA a variat de la 0,04 (septembrie 2020) până la 0,37 (iunie 2020, noiembrie 2021), media fiind 0,19 (tab. 1). Analiza valorilor indică o tendință de micșorare lentă a valorii CA a apelor pe parcursul anilor.

În 36% de cazuri a fost depistată o valoare a CA medie, care poate fi realizată numai la regimul termic favorabil populației bacteriene adaptată, iar în 64% de cazuri CA a fost mică (43% de cazuri) sau imposibilă (21% de cazuri).

După vărsarea apelor r. Răut în fluviul Nistru, valorile CA a apelor demonstrează o influență negativă a afluentului asupra parametrului monitorizat.

Tabelul 3. Valorile parametrilor CBO_5 , CCO_{Cr} , raportul CBO_5/CCO_{Cr} și gradul de autopurificare a apelor fluviului Nistru în perioada anilor 2020-2023. Priza de captare - Nistru, aval de r. Răut.

Data	CBO_5 , mgO_2/L	CCO_{Cr} , mgO/L	CBO/CCO_{Cr}	Grad de autopurificare a apelor
06.2020	4,8	13	0,37	medie
09.2020	0,5	18	0,03	imposibilă
11.2020	0,5	21	0,02	imposibilă
03.2021	1,6	23	0,07	imposibilă
06.2021	2,2	23	0,10	mică
10.2021	2,4	27	0,09	imposibilă
11.2021	4,3	20	0,22	medie
03.2022	3,7	20	0,19	mică
06.2022	4,1	23	0,18	mică
09.2022	1,9	24	0,08	imposibilă
11.2022	2,8	22	0,13	mică
04.2023	3,4	27	0,13	mică
06.2023	5,9	36	0,16	mică
09.2023	1,8	22	0,08	imposibilă
Media	2,85	22,8	0,13	mică

Ca rezultat s-a stabilit că valoarea maximală a parametrului CA este de 0,37 (iunie 2020) și cea minimală de 0,02 (noiembrie 2020), media fiind 0,13. Menționăm că valoarea medie a parametrului CA în această priză de captare corespunde gradului de autopurificare *mică* și este mai mică cu peste 40% în comparație cu priza de captare situată pe fluviul Nistru în amonte de vărsare a r. Răut ($CA = 0,19$).

Tendința dinamicii parametrului CA în perioada monitorizată demonstrează scăderea capacității de autopurificare a apelor fluviului. În această priză de captare se observă micșorarea cazurilor de autopurificare *medie* cu 22%, comparativ cu priza de captare precedentă, și creșterea până la 86% a cazurilor de autopurificare *mică* sau *imposibilă*, ceea ce constituie o creștere cu cca 34% comparativ cu apele Nistrului în amonte de vărsare a r. Răut.

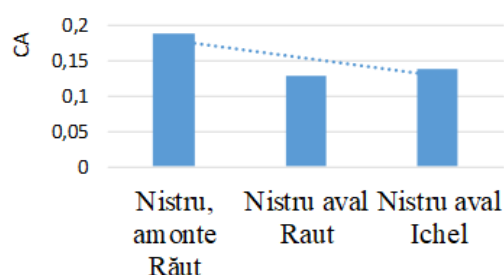
Spre deosebire de r. Răut, r. Ichel nu influențează semnificativ capacitatea de autopurificare a fluviului Nistru, ceea ce poate fi explicat prin debitul neînsemnat al afluentului nominalizat. Influența nesemnificativă a r. Ichel se observă prin aceea că are loc creșterea foarte ușoară a valorii CA *medie* a fluviului, precum și creșterea ponderii cazurilor de autopurificare *medie* cu 9% în comparație cu priza în aval de vărsare a r. Răut, de la 14% până la 23%.

Tabelul 4. Valorile parametrilor CBO_5 , CCO_{Cr} , raportul CBO_5/CCO_{Cr} și gradul de autopurificare a apelor fluviului Nistru în perioada anilor 2020-2023. Priza de captare - Nistru, aval r. Ichel.

Data	CBO_5 , mgO_2/L	CCO_{Cr} , mgO/L	CBO/CCO_{Cr}	Grad de autopurificare a apelor
06.2020	4,4	14	0,31	medie
09.2020	1,2	16	0,08	imposibilă
11.2020	0,9	17	0,05	imposibilă
03.2021	1,9	19	0,10	mică

06.2021	1,4	19	0,07	<i>imposibilă</i>
10.2021	2,6	16	0,16	<i>mică</i>
11.2021	4,3	19	0,23	<i>medie</i>
03.2022	2,4	16	0,15	<i>mică</i>
06.2022	7,5	30	0,25	<i>medie</i>
09.2022	2,7	19	0,14	<i>mică</i>
04.2023	3,4	57	0,06	<i>imposibilă</i>
06.2023	3,6	35	0,10	<i>mică</i>
09.2023	2,0	27	0,07	<i>imposibilă</i>
Media	2,95	23,4	0,14	mică

Fig. 1. Capacitatea de autopurificare a fluviului Nistru în perioada anilor 2020-2023.



La fel, ponderea cazurilor de autopurificare *mică* sau *imposibilă* în această priză s-a micșorat cu 9% comparativ cu priza precedentă și a constituit 77%. Ca și în cazurile precedente, se observă o tendință de micșorare lentă a intensității proceselor de autopurificare a apelor în această priză de captare.

Analiza valorilor CA a apelor fluviului Nistru în porțiunea amonte de vărsare în el a r. Răut – aval de vărsare a r. Ichel demonstrează că pe parcursul scurgerii apelor are loc micșorarea capacității de autopurificare ale acestora (fig. 1). În general, CA pe tot segmentul monitorizat poate fi caracterizată ca fiind una mică și care poate fi realizată lent, numai la regim termic favorabil populației bacteriene adaptată. Ponderea medie a poluanților biodegradabili variază între 0,19 și 0,13, maximală fiind în amonte de vărsare în Nistru a r. Răut, iar minimală – în aval de vărsare al acestuia. Tendința generală pe segmentul studiat indică micșorarea valorilor CA a apelor fluviului Nistru pe măsura scurgerii. Acest fenomen poate fi explicat prin faptul că are loc poluarea permanentă a apelor prin deversările apelor uzate netratate sau slab tratate, scurgerile de ape de pe suprafața solurilor, gunoiștilor neautorizate sau neamenajate corespunzător, păscutul nesancționat al animalelor în zone de protecție a fluviului etc.

Comparația valorilor CA a apelor afluenților Nistrului, râurile Răut și Ichel, denotă variația esențială a valorilor CA pe parcursul perioadei de monitorizare în apele r. Ichel și valori mai stabile ale CA pentru apele r. Răut.

Valoarea *medie* a parametrului CA pentru apele r. Răut (0,13) indică asupra capacității de autopurificare mică a apelor, care poate fi realizată lent numai la regim termic favorabil populației bacteriene adaptată. În cazul apelor r. Ichel valoarea acestui parametru este în medie de 0,20, ceea ce înseamnă că procesele de autopurificare biologică pot să se desfășoare cu intensitate medie și se va produce numai la regim termic favorabil populației bacteriene adaptată.

Tabelul 5. Valorile parametrilor CBO_5 , CCO_{Cr} și raportul CBO_5/CCO_{Cr} a apelor râurilor Răut și Ichel în perioada anilor 2020-2023.

Data	r. Răut			r. Ichel		
	CBO_5 , mgO ₂ /L	CCO_{Cr} , mgO/L	CBO/CCO_{Cr}	CBO_5 , mgO ₂ /L	CCO_{Cr} , mgO/L	CBO/CCO_{Cr}
06.2020	4,7	33	0,14	14,2	28	0,51
09.2020	4,2	32	0,13	5,2	33	0,16
11.2020	2,3	29	0,08	5,4	29	0,19
03.2021	9,4	40	0,24	7,7	37	0,21
06.2021	3,4	39	0,09	3,2	38	0,08

10.2021	6,9	57	0,12	5,0	35	0,14
11.2021	6,4	56	0,11	9,3	36	0,26
03.2022	2,9	28	0,10	6,2	39	0,16
06.2022	7,0	30	0,23	8,1	27	0,30
09.2022	3,0	30	0,10	5,8	27	0,21
11.2022	4,2	38	0,11	5,8	27	0,22
04.2023	3,1	39	0,08	5,3	39	0,14
06.2023	5,5	37	0,15	6,3	46	0,14
09.2023	5,0	41	0,12	1,1	28	0,04
Media	4,9	37,8	0,13	6,3	33,4	0,20

Calculule realizate demonstrează că capacitatea de autopurificare biologică a apelor din r. Ichel este cu cca 30% mai eficientă, comparativ cu apele r. Răut. Totuși, în cazul apelor r. Ichel, cantitatea poluanților biodegradabili este mai mare, în comparație cu apele din r. Răut, ceea ce indică la poluarea cu deșeurile menajere, ape netratate, păscutul animalelor în zonele de protecție a apelor și altele. În cazul apelor din r. Răut se evidențiază o pondere mai mare de poluanți persistenți, care nu pot fi degradate biochimic și provin din apele de la diverse procese tehnologice care utilizează astfel de substanțe toxice pentru mediul acvatic. Acest fenomen demonstrează și fig. 1, din care se observă că în peste 70% din probele analizate, parametrul CA pentru apele din r. Ichel are valori mai mari, comparativ cu același parametru a apelor din r. Răut.

Gradul de autopurificare a apelor în cazul prezenței în ele a diferitor poluanți antropogeni

În cadrul studiului multe substanțe, în prezența cărora apele posedă o capacitate de autoepurare eficientă (CA>0,6), sunt utilizate în medicină, precum și în produse naturale (de exemplu, acizii maleic, oxalic și stearic, aldehida benzoică, glucoza, zaharoza).

Tabelul 6. Unele substanțe care nu afectează autopurificarea eficientă a apelor, domeniile de utilizare ale acestora în activități economice și prezența lor în natură.

	Substanța	CCO _{Cr}	CBO ₅	CA	Utilizarea în medicină, activități economice și prezente în natură [26, 29]
		mgO/L	mgO ₂ /L		
		[28]			
1.	Acetat de sodiu	0,68	0,52	0,76	aditiv alimentar
2.	Acid lactic	1,07	0,96	0,90	la exfolierea chimică a suprafeței pielii
3.	Acid maleic	0,83	0,57	0,69	se gasește în mere și pere
4.	Acidul acetic	1,07	0,77	0,72	agent de curățare și dezinfectare, în alimentație și ca materie primă în industria farmaceutică
5.	Acidul glutamic	0,98	0,64	0,65	substanță importantă în metabolismul celular
6.	Acidul oxalic	0,17	0,14	0,82	în spanac, soia, ceai, cafea, cereale, insecticid
7.	Acidul stearic	2,94	1,79	0,61	prezent în mod natural în compoziția unturilor (28%-45%) și a uleiurilor
8.	Alcool etilic	2,08	1,82	0,88	în băuturile alcoolice, ca solvent, sursă de combustibil și ca materie primă pentru sinteza altor compuși
9.	Alcool izopropilic	2,4	1,59	0,66	denaturat pentru anumite întrebuințări
10.	Alcool propilic (propanol)	2,4	1,5	0,63	solvent în industria farmaceutică
11.	Aldehida formică	1,07	0,68	0,64	reactiv pentru analiză, mediu de fixare în anatomia patologică, producție chimică
12.	Amidon	1,03	0,63	0,61	prepararea multor produse alimentare

13.	Anilina	2,41	1,76	0,73	fabricarea de coloranți, antioxidanți, acceleratori de vulcanizare, materiale plastice, numeroase medicamente
14.	Chinolina	1,97	1,77	0,90	precursor al 8-hidroxihinolinei, agent elastic și precursor al pesticidelor;
15.	Ciclohexanol	2,34	1,6	0,68	precursor pentru nailon
16.	Etanolamina	1,31	0,8	0,61	utilizată pentru a obține etilendiamină
17.	Glucoza	0,6	0,53	0,88	se găsește în sucul fructelor dulci
18.	Zaharoza	1,12	0,7	0,63	se conține în sfecla de zahăr, în trestia de zahăr, în fructe, în frunze de plante

Substanțele analizate în studiu, prezența cărora în apă determină o capacitate de autopurificare mare, realizabilă cu ușurință ($CA=0,4-0,6$), sunt utilizate în diverse domenii, inclusiv în medicină și industrie. La fel, unele dintre acestea se găsesc și în produse naturale.

Tabelul 7. Unele substanțe, în prezența cărora se realizează autopurificarea apelor cu capacitate mare și ușor realizabilă, domeniile de utilizare ale acestora în activități economice și prezența lor în produse naturale.

	Substanța	CCO _{Cr} ³	CBO ₅ ²	CA	Utilizarea în medicină, activități economice și prezente în natură [26, 29]
		mgO/L	mgO ₂ /L		
		[28]			
1.	Acetamida	1,08	0,63	0,58	plastifiant și solvent industrial
2.	Acetat de calciu	0,71	0,42	0,59	industria alimentară, în pâine, regulator de aciditate, în medicină
3.	Acetat de potasiu	0,64	0,32	0,50	aditiv alimentar, stabilizator și substanță tampon
4.	Acetat de etil	1,88	0,86	0,46	în lipiciuri, soluții de îndepărtat oja, decafeinizarea ceaiului și cafelei etc.
5.	Acid benzoic	2,00	0,96	0,48	acidul și sărurile lui sunt utilizați ca conservanți alimentari.
6.	Acid cloracetic	0,59	0,30	0,51	în sinteza organică, de exemplu a unor medicamente
7.	Acid formic	0,35	0,18	0,51	solvent organic, la fabricarea insecticidelor și în industria tăbăcării
8.	Acid salicilic	2,09	0,95	0,45	sinteza organică, tratarea tenului, curățarea pielii predispuse la acnee
9.	Acidul tartric	0,52	0,30	0,58	fructe (struguri și banane), vin
10.	Alanina	1,89	0,84	0,44	în componența proteinelor
11.	Alcool butilic	2,60	1,26	0,48	produs al fermentației zaharurilor și glucidelor prezent în alimente și băuturi
12.	Alcoolul izoamilic	2,73	1,50	0,55	solvent în industria de parfumerie și cosmetică
13.	Alcool izobutilic	2,60	1,40	0,54	în produse de curățare și solvenți
14.	Alcool pentilic (Pentanol)	2,73	1,23	0,45	solvent și în reacția de esterificare pentru obținerea acetatului de amid
15.	Aldehida acetică	1,82	1,07	0,59	prepararea acidului acetic, a acetatului de etil, în industria chimică
16.	Fenol	2,38	1,10	0,46	producerea rășinilor artificiale, ca bachelita, adeziv

17.	Furfurol	1,54	0,77	0,50	derivat din produse secundare din agricultură
18.	Lactoza	1,07	0,55	0,51	laptele sau produsele lactate
19.	Piridină	2,43	1,47	0,6	fabricarea unor medicamente, materii colorante

Autopurificarea *medie* a apelor ($CA=0,2-0,4$) se realizează în prezența substanțelor prezentate în tabelul 9. Acestea sunt utilizate în medicină, diferite domenii economice, la fel sunt prezente și în produse naturale.

Tabelul 8. Unele substanțe, în prezența cărora se realizează autopurificarea apelor cu capacitatea medie, domeniile de utilizare ale acestora în activități economice și prezența lor în produse naturale.

	Substanța	CCO _{Cr} ⁹	CBO ₅ ⁹	CA	Utilizarea în medicină, activități economice și prezente în natură [26, 29]
		mgO/L	mgO ₂ /L		
		[28]			
1.	Acid glicolic	0,63	0,175	0,28	ingredient din produsele pentru îngrijirea pielii
2.	Acid palmitic	2,87	1,1	0,38	în natură: în uleiul de tal și în toate grăsimile și uleiurile naturale
3.	Acidul pelargonic (nonanoic)	2,52	0,59	0,23	produs chimic cu utilizare de laborator sau analitică
4.	Acrilonitril	1,81	0,7	0,39	obținerea poliacrilonitrilului, melanei, a cauciucului sintetic, ca agent de cianoetilare etc.
5.	Aldehida acrilică (acroleina, propenal)	1,98	0,52	0,26	prepararea acidului acrilic
6.	Etilamina	2,13	0,8	0,38	gaz test, gaz de calibrare, uz de laborator
7.	Etilenglicol	1,5	0,54	0,36	materie primă la fabricarea fibrelor de poliester, în industria textilă
8.	Glicerina	1,98	0,52	0,26	industria explozivilor, pielăriei, de mase plastice, în farmacie și cosmetică
9.	Polietilenglicol	1,6	0,5	0,31	antispumant, emulgator, stabilizator, agent de îngroșare, agent de glazurare
10.	Trietilenglicol	1,65	0,5	0,30	aditiv pentru fluide hidraulice și lichide de frână
11.	Triclorbenzen	1,06	0,3	0,28	materie primă și solvent organic pentru coloranți, medicamente, pesticide

Substanțele care prezintă o biodegradabilitate mică împiedică realizarea eficientă a proceselor de autopurificare biologică. În prezența acestora se realizează autopurificarea apelor cu o capacitate între 0,1 și 0,2 ($CA=0,1-0,2$). Ele sunt folosite în diverse domenii economice în roluri precum dizolvant/solvent, plastifiant sau monomer.

Tabelul 9. Substanțe, în prezența cărora se realizează autopurificarea apelor cu capacitatea mică, domeniile de utilizare ale acestora în activități economice și prezența lor în produse naturale.

	Substanța	CCO _{Cr} ⁹	CBO ₅ ⁹	CA	Utilizarea în activități economice și prezente în natură [26, 29]
		mgO/L	mgO ₂ /L		
		[28]			
1.	Acetat de izopropil	2,02	0,26	0,13	dizolvant, în sinteza organică
2.	Benzen	3,07	0,5	0,16	întâlnit în cărbuni, petrol
3.	Dibutilftalat	2,24	0,43	0,19	Plastifiant, în procesul de confecționare a probelor biologice
4.	Dietilenglicol	1,27	0,176	0,14	solvent, în cerneală de imprimare, colorant

5.	Etilanilina	0,378	0,048	0,13	sinteza organică, este un intermediar al coloranților azoici și trifenilmetan
6.	Metacrilamida	1,7	0,17	0,10	monomer pentru producerea de polimeri, copolimeri, derivat de uree
7.	Palmitat de sodiu	2,61	0,45	0,17	săpun, substanță în detergent
8.	Amil acetat (pentil acetat)	2,34	0,31	0,13	solvent, aromatizant, alimentează lampa Hefner și producția fermentativă de penicilină
9.	Toluen	1,87	0,19	0,10	fabricarea vopselelor și a cleiurilor

Un grup de substanțe analizate în studiu prezintă acelea, în prezența cărora autopurificarea apelor se realizează cu o capacitate extrem de redusă, practic inexistentă ($CA < 0,1$). Aceste substanțe nu se oxidează pe calea biochimică și sunt foarte persistente în apă. Cu toate acestea, ele sunt utilizate în medicină, în diverse domenii economice și se regăsesc și în anumite produse naturale.

Tabelul 10. Substanțe, în prezența cărora este imposibilă autopurificarea apelor pe calea biochimică, domeniile de utilizare ale acestora în activități economice și prezența lor în produse naturale.

	Substanța	CCO _{Cr} , mgO/L	CBO ₅ , mgO ₂ /L	CA	Utilizarea în activități economice și prezența în natură [26, 29]
		[28]			
1.	Acid dicloracetic	0,59	0	0,00	metabolizarea unor medicamente ce conțin clor
2.	Acidul galic	1,13	0,08	0,07	în frunze de ceai, roșcova, coaja de stejar și alte plante
3.	Anizol (eter metil fenolic)	1,81	0,14	0,08	sinteza parfumurilor, feromonilor și medicamentelor
4.	Benzina, combustibil	3,54	0,11	0,03	utilizată în motoarele cu ardere internă
5.	Diclorețan	0,56	0	0,00	solvent pentru grăsimi, cauciucuri
6.	Dietanolamina	1,06	0,1	0,09	producerea de emulgatori, disperanți, stabilizatori de spumă
7.	Dietilanilina	2,79	0	0,00	producerea de coloranți azotici, trifenilmetan etc
8.	Dimetilaminobenzen (xilidina)	2,64	0	0,00	fabricarea coloranților azoici, adaos în benzina de avioane, reactiv de laborator
9.	Dimetil-formamida	1,54	0,02	0,01	solvent folosit pentru reacțiile chimice
10.	Formamida	0,35	0	0,00	fabricarea ierbicidelor, pesticidelor, sulfamidelor și a unor medicamente
11.	Hexametilendiamina	2,34	0,03	0,01	intermediar în sinteza fibrelor nailon
12.	Melamina	1,42	0,0006	0,00	fabricarea unor rășini, materiale plastice, burete și adezivi
13.	Metilizobutilcetonă	3,0	0,12	0,04	solvent pentru gume, rășini, vopsele, lacuri și nitroceluloză
14.	Morfolina	1,34	0,02	0,01	inhibitor de coroziune metalică, accelerator de vulcanizare a cauciucului
15.	Nitrobenzen	1,91	0,12	0,06	industria cosmetică
16.	Pirogalol	1,48	0,016	0,01	tehnica fotografiei, antiseptic
17.	Tributilfosfat	2,16	0,1	0,05	extractant și plastifiant
18.	Trietanolamina	1,66	0,01	0,01	industria farmaceutică

Studiul prezent abordează capacitatea de autopurificare a unui set selectat de substanțe (106 în total), așa cum sunt enumerate în Hotărârea Guvernului nr. 492 din 11 august 2015 [26]. Hotărârea menționează un total 974 de substanțe chimice autorizate pentru utilizare în fabricarea materialelor și obiectelor din plastic reciclat, destinate contactului cu produsele alimentare.

Chiar dacă unele substanțe, cum sunt cele prezentate în tabelul 11, nu se oxidează în procesul de epurare a apelor reziduale, unde se folosesc procedee biochimice, ele sunt totuși utilizate în diverse sectoare economice din Republica Moldova, inclusiv în industria coloranților, a insecticidelor și a petrolului. În aceste cazuri, se impune folosirea unor măsuri preventive pentru eliminarea acestor substanțe înainte de evacuarea lor în sistemele biologice de epurare a apelor uzate.

În acest context, este esențial să se respecte cerințele normative pentru epurarea apelor uzate, atât menajere, cât și cele provenite din diferite sectoare economice. De asemenea, este importantă evaluarea sistematică a parametrilor de calitate ai apelor reziduale epurate, înainte de deversarea acestora în mediul înconjurător, în diferite anotimpuri. Ar fi benefic să se calculeze capacitatea de autoepurare, folosind raportul CBO_5/CCO_{C_r} , parametri specificați pentru monitorizarea conformității cu normele de deversare a apelor uzate provenite din diverse activități economice, în corpurile de apă, în sistemul de canalizare și/sau în emisiile urbane și rurale.

Concluzii

1. Un element important în protejarea mediului înconjurător constă în respectarea cerințelor de colectare, epurare și deversare a apelor uzate în sistemul de canalizare și/sau în corpurile de apă pentru localitățile urbane și rurale, expuse în Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr. 950 din 25 noiembrie 2013.

2. Evaluarea capacității de autopurificare a apelor, calculată prin raportul CBO_5/CCO_{C_r} , este esențială pentru utilizarea responsabilă în diverse domenii manageriale și economice. Acest proces asigură conformitatea cu cerințele normative și contribuie la îmbunătățirea caracteristicilor fizico-chimice și microbiologice ale apelor, promovând astfel o gestiune eficientă și sustenabilă a resurselor acvatice.

3. Capacitatea de autopurificare a apelor fluviului Nistru și afluenților săi în porțiunea barajul de la Dubăsari – Vadul lui Vodă poate fi caracterizată ca fiind una mică care se produce lent numai la regim termic favorabil populației bacteriene adaptată. Autopurificarea biologică a apelor se micșorează pe parcursul curgerii, ceea ce este cauzat de impactul negativ al afluenților Răut și Ichel.

4. Râul Răut are un impact semnificativ asupra capacității de autopurificare a Nistrului, ceea ce se caracterizează prin diminuarea transformărilor biochimice ale poluanților cu peste 40%, și indică poluarea apelor afluentului cu substanțe organice persistente nedegradabile biochimic. Impactul negativ al r. Ichel asupra fl. Nistru nu a fost depistat, deoarece debitul acestui afluent este mic și în el sunt prezente cantități mai mari de poluanți biodegradabili. Capacitatea de autopurificare a apelor din ambii afluenți ai Nistrului se caracterizează ca fiind mică.

5. În cazul apelor reziduale, care conțin substanțe nebiodegradabile, este vital să se implementeze și pe teritoriul Republicii Moldova o etapă specială de eliminare a acestora înaintea evacuării lor în sistemele de epurare a apelor ce implică metoda biologică și în obiectele acvatice. Acest pas previne contaminarea și degradarea resurselor acvatice, contribuind semnificativ la protecția mediului și conservarea biodiversității.

Referințe:

1. Anuarul IPM – 2021. Protecția mediului în Republica Moldova. Chișinău, 2022, 388 p.
2. DUCA, Gh., SCURLATOV, Iu., MISITI, A., MACOVEANU, M., SURPĂȚEANU, M. *Chimie ecologică*. Ediția a II-a, revăzută. Chișinău: CE USM, 2003, 303 p.
3. DUCA, Gh. *Dicționar poliglot de chimie ecologică*. Chișinău: Institut de Studii Enciclopedice, 2012, pp. 334-335.
4. DUCA, Gh., ZĂNOAGĂ, C., DUCA, M., GLADCHI, V. *Procese redox în mediul ambiant*. Chișinău: CEP USM, 2001, 384 p.
5. DUCA, Gh., GLADCHI, V., ROMANCIUC, L. *Procese de poluare și autoepurare a apelor naturale*. Chișinău: CEP USM, 2002, 167 p.

6. СКУРЛАТОВ, Ю. И., ДУКА, Г. Г., ЭРНЕСТОВА, А. С. *Процессы токсикации и механизмы самоочищения природной воды в условиях антропогенных воздействий*. В: *Известия АН МССР, серия „Биологические и химические науки”*, 1983, № 5, сс. 3-20.
7. ДУКА, Г. Г. *Механизмы экокхимических процессов в водной среде*. Автореферат дисс. канд. хим. Наук, ОДЕССА, 1998, 28 С.
8. ROMANCIUC, L., GLADCHI, V., GOREACEVA, N., BUNDUCHI, E., DUCA, Gh. *The role of Ecological Chemistry in Pollution Research and Sustainable Development*. In: *Springer Book*, 2009, pp. 57-64.
9. GLADCHI, V., BUNDUCHI, E., ROMANCIUC, L. *Ecological Chemistry of the natural water*. In: *”Handbook of Research on Emerging Developments and Environmental Impacts of Ecological Chemistry”*. Red. Gh. Duca, A. Vaseashta. Ed.: IGI Global, SUA, 2020, pp. 196-211.
10. DUCA, Gh., BLONSCHI, V., GLADCHI, V., TRAVIN, S. *Dynamics of Different Sulfur Forms in Natural Waters and Their Influence on the Redox State*. In: *American Journal of Physical Chemistry*, 2020, 9(3), pp. 52-61.
11. LIS, A., GLADCHI, V., DUCA, Gh., TRAVIN, S. *Sensitized photolysis of thioglycolic acid in aquatic environment*. In: *Chem. J. Mold., General, Industrial and Ecological Chemistry*, 2021, 16(1), pp. 46-59.
12. GLADCHI, V. *Compoziția chimică și poluarea apelor afluentului Nistrului, râului Ichel (perioada anilor 2015-2020)*. В: *Академику Л. С. Бергу – 145 лет: Сборник научных статей*, Бендеры: Eco-TIRAS, 2021 (Типограф. „Arconteh”), сс. 321-324.
13. ЛИС, А. С., ГЛАДКИ, В. И., ДУКА, Г.Г. Влияние тиогликолевой кислоты и тиомочевины на процессы самоочищения водных систем. В: *Материалы международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Ломоносов-2021. Секция «Химия», 12-23 апреля, 2021*. Москва, Московский Государственный Университет, Россия.
14. BLONSCHI, V., GLADCHI, V., DUCA, Gh. *Participarea substanțelor tiolice în procese de autopurificare chimică a apelor naturale*. Monografie. Chișinău: CEP USM, 2022, 138 p.
15. LIS, A., GLADCHI, V., DUCA Gh. *Legități de transformare fotochimică a unor substanțe tiolice în sistemele acvatice*. Monografie. Chișinău: CEP USM, 2022, 194 p.
16. GLADCHI, V., BUNDUCHI, E., BLONSCHI, V., ROMANCIUC, L. *Chimia ecologică a apelor naturale și procese de autopurificare a sistemelor acvatice. Istoria și dezvoltarea la Universitatea de Stat din Moldova*. In: *Chimie ecologică: istorie și realizări: Academicianul Gheorghe Duca, 70 ani de la naștere*: Monografie. Coordonatori ed.: V. Gladchi, A. Arîcu. Chișinău: CEP USM, 2022, pp. 37-85.
17. BLONSCHI, V., GLADCHI, V., DUCA, Gh. *Estimarea proceselor de autopurificare a apelor nistrene în prezența compușilor tiolici (perioada anilor 2015-2021)*. В: *Международная конференция «Управление Трансграничным Бассейном Днестра И Евроинтеграция – Шаг За Шагом»*, Кишинев, Молдова, 27-28 октября 2022 г. Материалы Международной конференции, Chișinău: Eco-TIRAS, с. 27-31.
18. LIS, A., GLADCHI, V., DUCA, Gh. *Legități de transformare fotochimică a unor substanțe tiolice în sistemele acvatice*. Monografie. Chișinău: CEP USM, 2022, 194 p.
19. LIS, A., GLADCHI, V., DUCA, Gh., BUNDUCHI, E. *The influence of glutathione on the self-purification capacity of aquatic systems*. In: *Ecological chemistry ensures a healthy environment*. 16 septembrie 2022, Chisinau. Chișinău: Institute of Chemistry, 2022, p. 15.
20. GLADCHI, V. *Transformările catalitice și starea redox a mediului ambiant*. Chișinău: CEP USM, 2018, 212 p.
21. *Istoria și dezvoltarea la Universitatea de Stat din Moldova*. In: *Chimie ecologică: istorie și realizări: Academicianul Gheorghe DUCA, 70 ani de la naștere*: Monografie. Coordonatori ed.: V. Gladchi, A. Arîcu. Chișinău: CEP USM, 2022, pp. 37-85.
22. H. G. nr. 950 din 25.11.2013 pentru aprobarea Regulamentului privind cerințele de colectare, epurare și deversare a apelor uzate în sistemul de canalizare și/sau în emisare pentru localitățile urbane și rurale. În: *Monitorul Oficial* nr. 284-289 din 06.12.2013, art. 1061.
23. H. G. nr. 802 din 9 octombrie 2013 pentru aprobarea Regulamentului privind condițiile de deversare a apelor uzate în corpurile de apă. În: *Monitorul Oficial* nr. 243-247 din 01.11.2013, art. 931.
24. H. G. nr. 890 din 12.11.2013 pentru aprobarea Regulamentului cu privire la cerințele de calitate a mediului pentru apele de suprafață. În: *Monitorul Oficial* din 22.11.2013, nr. 262-267, art. nr. 1006.

25. H. G. nr. 932 din 20.11.2013 pentru aprobarea Regulamentului privind monitorizarea și evidența sistematică a stării apelor de suprafață și a apelor subterane. În: *Monitorul Oficial* nr. 276-280 din 29.11.2013, art. nr. 1038.
26. H. G. nr. 492 din 11.08.2015 pentru aprobarea Regulamentului sanitar privind materialele și obiectele din plastic reciclat destinate să vină în contact cu produsele alimentare. În: *Monitorul Oficial* nr. 224-233 din 21.08.2015, art. 623.
27. BACAL, P., MOGÎLDEA, V. at al. *Starea și utilizarea sistemelor de aprovizionare cu apă și sanitație în ecosistemele urbane și rurale din Regiunea de Dezvoltare Nord a Republicii Moldova*. Chișinău: Institutul de Ecologie și Geografie, 2021, 162 p.
28. БЕСПАМЯТНОВ, Г. П., КРОТОВ, Ю. А. *Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде*. Л.: Химия, 1985, 528 с.
29. H.G. nr. 229 din 29.03.2013 pentru aprobarea Regulamentului sanitar privind aditivii alimentare. În: *Monitorul Oficial* nr. 69-74 din 05.04.2013, art. 283.

Date despre autori:

Gheorghe DUCA, academician, doctor habilitat, profesor universitar, Institutul de Chimie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-7265-6293

E-mail: gheorghe.duca@usm.md

Maria SANDU, doctor, conferențiar cercetător, Institutul de Ecologie și Geografie, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-6617-7747

E-mail: sandu.maria@usm.md

Viorica GLADCHI, doctor, profesor universitar, Departamentul Chimie Industrială și Ecologică „Academician Gh. Duca”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-5847-4466

E-mail: viorica.gladchi@usm.md

Angela LIS, doctor, lector, Departamentul Chimie Industrială și Ecologică „Academician Gheorghe Duca”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-1111-7485

E-mail: angela.lis@usm.md

Vladislav BLONSCHI, doctor, lector, Departamentul Chimie Industrială și Ecologică „Academician Gheorghe Duca”, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-8628-6756

E-mail: vlad.blonschi@usm.md

Prezentat la 28.03.2024

ВЛИЯНИЕ ВИТАМИНА В₁₂ НА ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ

Максим ЧИСТЯКОВ, Владислав БЛОНСКИ, Виорика ГЛАДКИ,

Молдавский государственный университет

В данной статье описано участие витамина В₁₂ в процессах химического самоочищения вод. Эксперимент проводился в лабораторных условиях путем моделирования систем. Было установлено, что фармацевтическая форма витамина В₁₂ (цианокобаламин) подвергается прямому фотолизу ($k=(2,20\pm 0,11)\cdot 10^{-4}c^{-1}$), переходя в форму гидроксокобаламин. Используя косвенный метод определения интенсивности радикальных процессов – *ингибиторная способность*, было определено, что в природных водах витамин В₁₂ будет проявлять восстановительные свойства, приводя к уменьшению окислительных эквивалентов, но в присутствии других веществ с более выраженным восстановительным характером, к примеру тиолов, данный витамин будет проявлять каталитические свойства в процессе их окисления. Это подтверждается значениями ингибиторной способности, которая в системе В₁₂-ПНДМА-Н₂О₂-hv ($\Sigma ki[Si]=1,6\cdot 10^7 c^{-1}$) в 3,4 раза больше, чем в системе В₁₂-Cys-ПНДМА-Н₂О₂-hv ($\Sigma ki[Si]=4,7\cdot 10^6 c^{-1}$).

Ключевые-слова: фотолиз, витамин В₁₂, тиолы, ингибиторная способность, восстановители, способность самоочищения, природные воды.

INFLUENCE OF VITAMIN B₁₂ ON CHEMICAL SELF-PURIFICATION PROCESSES OF WATER SYSTEMS

This article describes the participation of vitamin B₁₂ in the processes of chemical self-purification of water. The experiment was carried out in laboratory conditions by simulating systems. It was found that the pharmaceutical form of vitamin B₁₂ (cyanocobalamin) undergoes direct photolysis ($k=(2.20\pm 0.11)\cdot 10^{-4}s^{-1}$) transforming into the hydroxocobalamin form. Using an indirect method for determining the intensity of radical processes - inhibitory ability, it was determined that in natural waters vitamin B₁₂ will exhibit reducing properties, leading to a decrease in oxidative equivalents, but in the presence of other substances with a more pronounced reducing character, for example thiols, this vitamin will exhibit catalytic properties in the process of their oxidation. This is confirmed by the values of the inhibitory ability, which in the system B₁₂-PNDMA-H₂O₂-hv ($\Sigma k_i[S_i]=1,6\cdot 10^7 s^{-1}$) is 3,4 times greater than in the system B₁₂-Cys-PNDMA-H₂O₂-hv ($\Sigma k_i[S_i]=4,7\cdot 10^6 s^{-1}$).

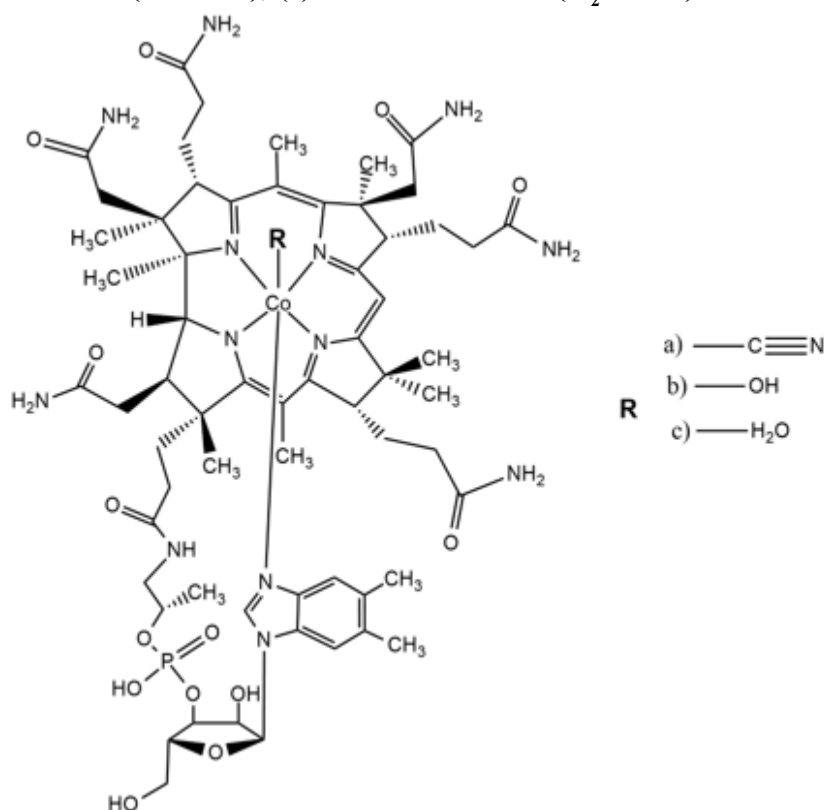
Keywords: photolysis, vitamin B₁₂, thiol, inhibitory ability, reducing agents, self-purification, natural waters.

Введение

На сегодняшний день природные воды являются одним из основных объектов изучения в различных исследованиях. Это связано с тем, что вода, являясь универсальным растворителем, способна растворять большое число различных химических веществ, из-за чего природные воды в большей мере подвергаются загрязнению, чем остальные компоненты окружающей среды. Несмотря на это, природные воды способны сохранять свою биологическую ценность благодаря *способностям самоочищения*, которая подразумевает совокупность биологических, химических и физических процессов, направленных на восстановление их первоначальных свойств и состава [1-2]. Из химических процессов самоочищения, в поверхностных слоях природных вод большую роль играет фотолиз, а в более глубоких слоях на первое место выходят окислительно-восстановительные реакции. Основными окислительными эквивалентами в природных водах являются растворенный кислород и его активная форма – пероксид водорода [3-5]. Кроме окислительных эквивалентов в природных водах также присутствуют, и поступают в результате антропогенного воздействия, и восстановительные эквиваленты. Динамическое равновесие между окислительными и восстановительными эквивалентами характеризуется параметром *редокс состояние* водной среды [5].

Окислительные эквиваленты были хорошо изучены и были определены механизмы их образования [4], в то время как восстановительные эквиваленты были малоизучены. Данные вещества восстановительной природы, так же, как и окислители, являются обязательными компонентами химического состава природных вод. Согласно предыдущим исследованиям [6], тиолы являются одними из основных восстановительных эквивалентов, участвующих в формировании редокс состояния вод, но также, исходя из многочисленных химических реакций, проходящих в природных водах, не исключено, что существуют и другие классы веществ, которые участвуют в формировании редокс состояния водных систем. Согласно литературным данным [7-9], естественными компонентами природных вод являются витамины, которые обладают восстановительным характером и способны участвовать в формировании редокс состояния вод. Разумеется, объектом исследований являются водорастворимые витамины, представленные группой витаминов В. Одним из витаминов, входящих в данную группу, является витамин В₁₂. Витамином В₁₂ называют группу биологически активных веществ, называемых кобаламинами. Основным из данных веществ является цианокобаламин, который используют в фармацевтике. Его аналогами являются гидроксокобаламин (витамин В_{12a}) и аквакобаламин (витамин В_{12b}) (рис. 1).

Рис. n1. Структурная формула витамина В₁₂: (a) цианокобаламин. (CN-Cbl), (b) гидроксокобаламин (OH-Cbl), (c) аквакобаламин (H₂O-Cbl).



В природные воды витамин В₁₂ попадает в результате биохимических процессов с участием гидробионтов, в особенности микроорганизмов и макрофитов. К примеру, большое количество витамина В₁₂ образует цианобактерия *Anabaena cylindrica*, а также водоросли *Chlorella pyrenoidosae*. В природных водах концентрация Витамина В₁₂ находится в интервале 10⁻¹¹-10⁻¹⁴ М [7-9].

Учитывая тот факт, что витамины присутствуют в природных водах, можно предположить, что они могут участвовать в процессах самоочищения вод, и соответственно становится необходимым изучение их трансформации на модельных системах для прогнозирования их поведения в природных водах. Более того, важность исследования подчеркивается тем фактом, что Витамин В₁₂ может попасть в природные воды и в результате человеческой деятельности, а загрязнение вод биологически активными веществами представляет повышенный риск для гидробионтов.

Таким образом, целью данной работы является определение влияния витамина В₁₂ на химические процессы самоочищения вод на модельных системах.

Методы и материалы

Материалы

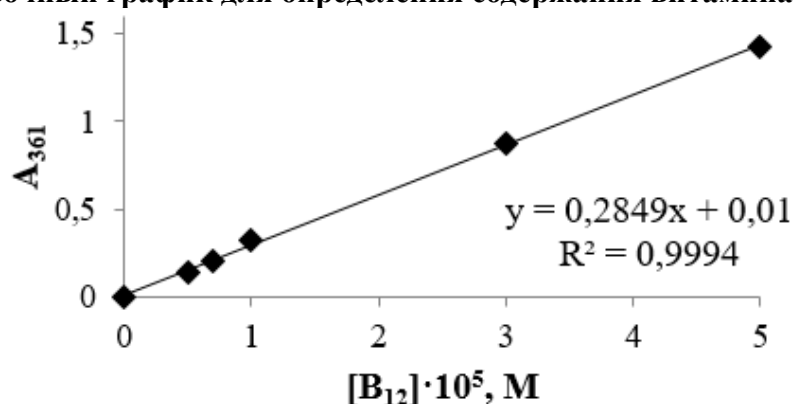
Для реализации исследований использовались следующие материалы: цианокобаламин в ампулах (0,5 мг/мл) компании Balkan Pharmaceuticals; п-нитрозодиметиланилин (ПНДМА), 97%, ком-

пании Aldrich Chem; цистеин, 97%, компании Acros Organics; пероксид водорода, 35%, компании Sigma-Aldrich; pH-метр модели HANNA со стеклянным электродом модели HI11310; спектрофотометр UV-VIS модели T70.

Определение концентрации витамина B₁₂

Для определения концентрации витамина B₁₂ использовался спектрофотометрический метод. Раствор витамина B₁₂ имеет три максимума поглощения при длинах волн 278 нм, 361 нм и 550 нм [10]. Для определения его концентрации был использован пик поглощения при 361 нм, который является самым выраженным и не совпадает с максимумами поглощения других субстратов из моделируемых систем. Используя данную длину волны, был построен калибровочный график для дальнейшего определения витамина B₁₂ в моделируемых системах (рис. 2).

Рис. 2. Калибровочный график для определения содержания витамина B₁₂



Моделирование систем

В лабораторных условиях был смоделирован прямой фотолиз (B₁₂-hv), с вариацией содержания витамина. Концентрация витамина B₁₂ в модельных системах была выбрана порядка 10⁻⁵ моль/л для того, чтобы ускорить взаимодействие компонентов системы, а также чтобы значения определяемой оптической плотности были в области прямой зависимости A=f([B₁₂]), согласно закону Бугера-Ламберта-Бера. В качестве источника излучения был использован симулятор солнца модели Oriel 9119X с фильтром AM0, который имеет спектр излучения в видимой и УФ области выше 290 нм [11-12].

Анализ кинетических результатов

Кинетические закономерности фотохимических процессов определялись по изменению концентрации витамина B₁₂. Кинетические параметры были рассчитаны с помощью метода Вант-Гоффа [13-14].

Эффективная константа скорости (k) и время полураспада (τ_{1/2}) были рассчитаны согласно уравнениям 1 и 2, используя теорию о псевдо-первом порядке реакции, приемлемой при очень маленькой концентрации субстрата.

$$k = \frac{2,303}{t} \cdot \lg \frac{A_0}{A} \quad (1)$$

где:

t- время, с;

A₀- оптическая плотность при времени 0;

A-оптическая плотность при времени t;

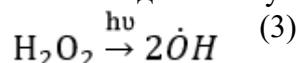
$$\tau_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} \quad (2)$$

где:

k- эффективная константа скорости для реакций первого порядка, с⁻¹.

Определение ингибиторной способности и концентрации радикалов. Определение ингибиторной способности водных систем основано на сравнении скорости обесцвечивания красителя п-нитрозо-

N,N-диметиланилина (ПНДМА), под влиянием радикалов в дистиллированной воде в отсутствие и при наличии добавок субстрата [15]. Радикалы образуются при фотолизе пероксида водорода (ур. 3).



В дистиллированной воде радикалы взаимодействуют с красителем и пероксидом водорода, в результате чего краситель обесцвечивается, а H_2O_2 разлагается на кислород и воду.

Значение ингибиторной способности ($\sum k_i[S_i]$, c^{-1}) рассчитывается по формуле:

$$\dot{a}k_i[S_i] = \frac{V_{\text{общ}}}{V_{\text{м.с.}}} \cdot k(\text{ПНДМА}) \cdot [\text{ПНДМА}]_0 \cdot \left[\frac{W_{\text{д.в.}}}{W_{\text{м.с.}}} - 1 \right] \quad (4)$$

где:

$W_{\text{д.в.}}$ ($W_{\text{м.с.}}$) – начальная скорость обесцвечивания ПНДМА при фотолизе пероксида водорода в дистиллированной воде (в модельной системе), $\text{M} \cdot \text{c}^{-1}$;

$k_{\text{ПНДМА}} = 1,25 \cdot 10^{10}$ – константа скорости взаимодействия красителя с радикалами, $\text{л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{c}^{-1}$;

$[\text{ПНДМА}]_0$ – начальная концентрация красителя, $\text{моль} \cdot \text{л}^{-1}$;

$V_{\text{общ}}$ – общий объем раствора, мл;

$V_{\text{м.с.}}$ – объем добавляемого раствора витамина, мл.

Стационарная концентрация радикалов определяется скоростью их инициирования (W_i) и параметром, характеризующим наличие в воде «ловушек» (S_i) радикалов – ингибиторов процессов радикального окисления, $\sum k_i[S_i]$:

$$[\dot{\text{O}}\text{H}] = \frac{W_i}{\sum k_i[S_i]} \quad (5)$$

где:

W_i – скорость инициирования радикалов $\dot{\text{O}}\text{H}$, $\text{M} \cdot \text{c}^{-1}$;

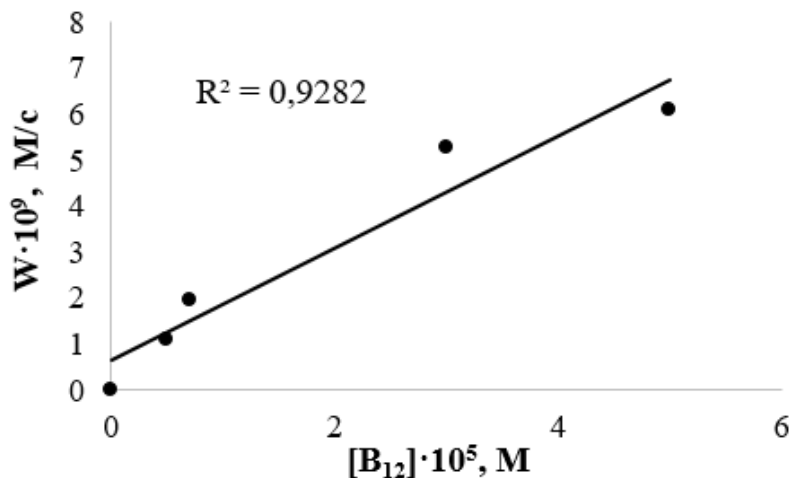
$\sum k_i[S_i]$ – ингибиторная способность, c^{-1} .

Таким образом, данные кинетические параметры позволяют оценить влияние исследуемого субстрата на процессы самоочищения водных систем.

Результаты и их обсуждения

В поверхностных слоях природных вод фотохимические процессы занимают важное место в процессах химического самоочищения вод и ведут к уменьшению концентрации соединений восстановительного характера. Для того, чтобы выяснить, подвергается ли витамин B_{12} прямому фотолизу, в лабораторных условиях была смоделирована система витамин $\text{B}_{12} - h\nu$. Полученные кинетические данные указывают на то, что витамин B_{12} подвергается фотолизу и с увеличением его концентрации скорость фотолиза также увеличивается (Рис. 3). Эффективная константа скорости прямого фотолиза составила $(2,20 \pm 0,11) \cdot 10^{-4} \text{c}^{-1}$, а время полураспада 52 мин. 30 с.

Рис. 3. Зависимость скорости фотолиза витамина B_{12} от его концентрации. $\text{pH}=5,03$, $t=15,2$ °C.



Для разъяснения полученных данных были сняты спектры поглощения витамина B_{12} до и после процесса фотолиза. Согласно полученным спектрам (рис.4), наблюдается гипсохромный сдвиг максимумов поглощения с 361 нм до 351 нм и с 550 нм до 525 нм. Это подтверждает механизм, предложенный в научной литературе [10, 16], согласно которому витамин B_{12} из формы *цианокобаламин* при фотолизе переходит в форму *гидрокобаламин* (рис.5).

Рис. 4. Спектр поглощения витамина B_{12} (цианокобаламин). $[B_{12}] = 3 \cdot 10^{-5}$ М

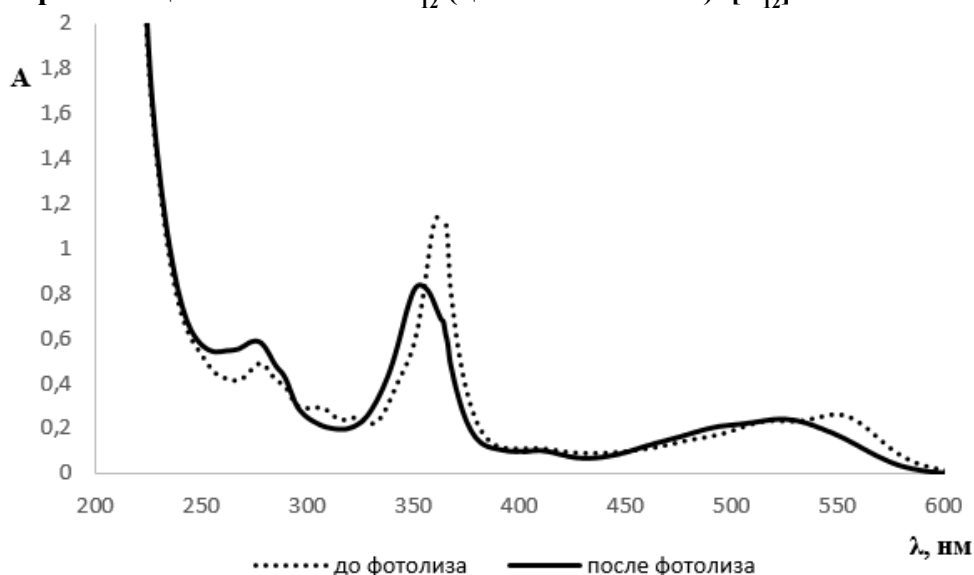
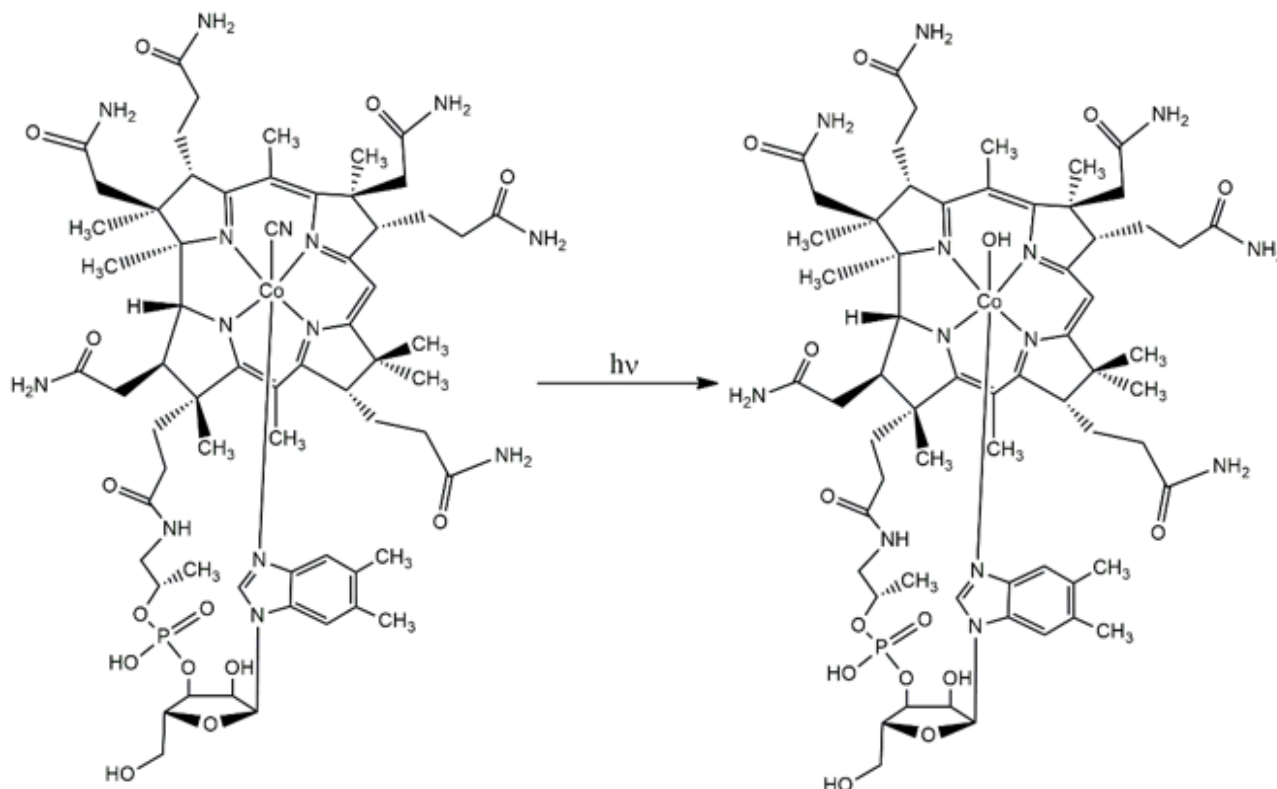
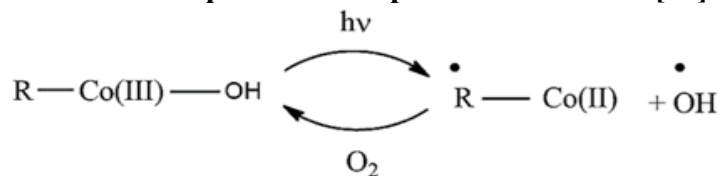


Рис. 5. Механизм прямого фотолиза цианокобаламина [10].



Согласно литературным данным [17-19], образовавшийся гидрокобаламин способен подвергаться дальнейшему фотолизу при электромагнитном облучении с длинами волн менее 350 нм с образованием свободных радикалов, но в присутствии кислорода происходит регенерация гидрокобаламина (рис. 6).

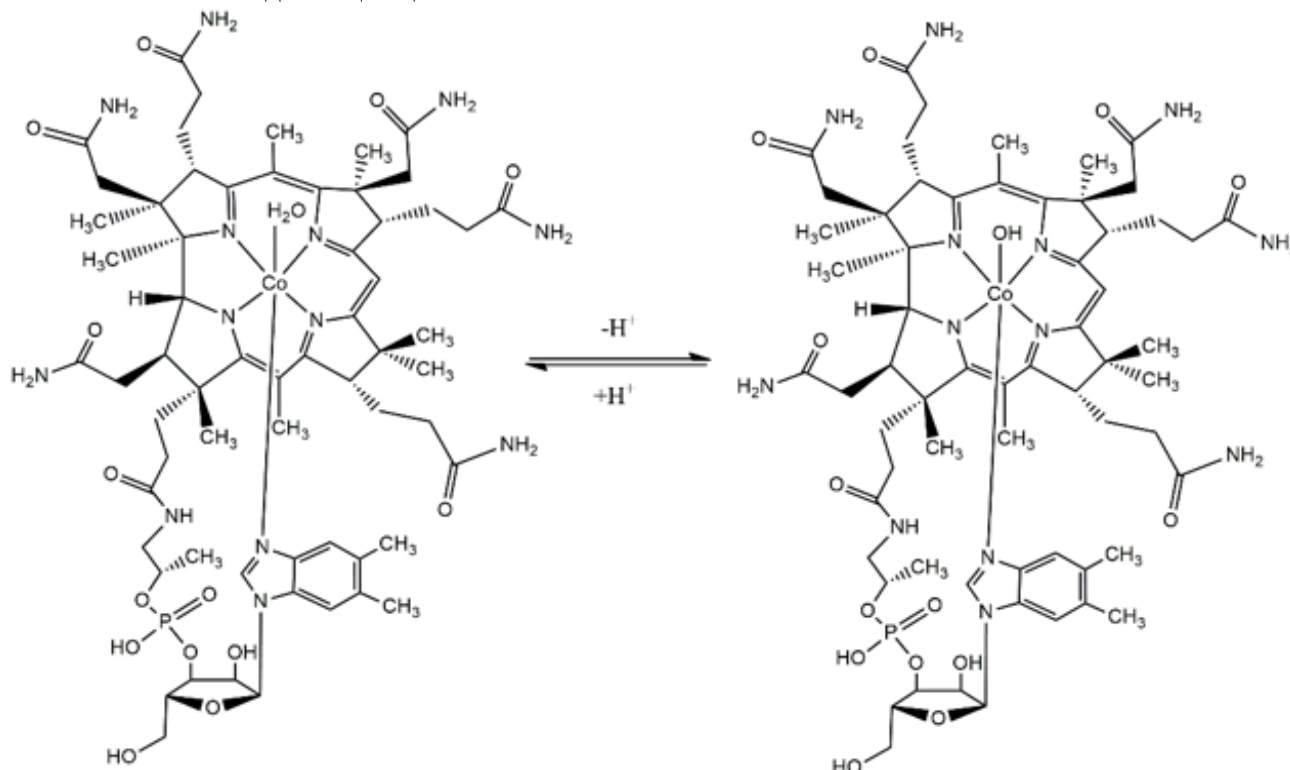
Рис. 6. Схематический механизм фотолиза гидроксокобаламина [17].



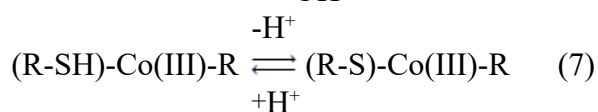
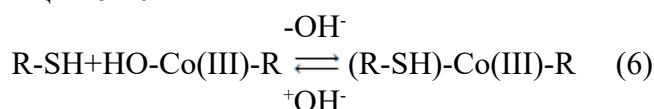
Таким образом, прямой фотолиз витамина В₁₂ в природных водах не будет приводить к уменьшению его концентрации, а лишь способствовать переходу из формы цианокобаламина в гидроксокобаламин, который является более стабильным, а его дальнейший фотолиз в условиях природных вод будет проходить с малой вероятностью из-за регенерации гидроксокобаламина в присутствии кислорода.

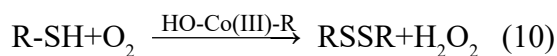
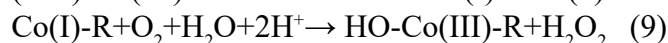
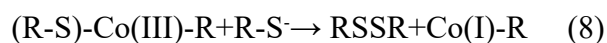
Учитывая сложность химического состава природных вод, фотолиз витамина В₁₂ может зависеть от присутствия в воде других веществ, в особенности продуктов метаболизма. Некоторые кинетические исследования [20-21] показывают, что в присутствии метаболитов, к примеру, тиолов, гидроксокобаламин может проявлять каталитические свойства в процессе их окисления. Также известно, что в водной среде аквакобаламин и гидроксокобаламин находятся в равновесии (рKa=7,8), что свидетельствует о том, что при значениях рН природных вод, гидроксокобаламин образуется не только в результате фотолиза цианокобаламина, но и в результате диссоциации аквакобаламина, который может быть продуктом метаболизма [18, 20] (рис. 7).

Рис. 7. Механизм диссоциации аквакобаламина.



Согласно литературным данным [21], взаимодействие витамина В₁₂ с тиолами может сопровождаться образованием пероксида водорода. Механизм данного процесса описывается уравнениями реакций 6-10:





Для подтверждения данного механизма был использован непрямой кинетический метод, позволяющий оценить образование свободных радикалов в системе путем использования *ловушки радикалов* – красителя п-нитрозодиметиланилина (ПНДМА). Данный метод также позволяет сделать вывод о влиянии витамина B_{12} на радикальные процессы самоочистения вод. С этой целью были смоделированы следующие системы, используя цистеин (Cys) в качестве метаболита из класса тиолов:

- 1) ПНДМА- H_2O_2 -hv (система сравнения),
- 2) B_{12} -ПНДМА- H_2O_2 -hv,
- 3) Cys-ПНДМА- H_2O_2 -hv,
- 4) B_{12} -Cys-ПНДМА- H_2O_2 -hv.

Для правильной оценки количества свободных радикалов в системе, вначале была определена индивидуальная ингибиторная способность витамина B_{12} (система 2) и цистеина (система 3). Полученные результаты указывают на то, что увеличение концентрации витамина B_{12} ведет к увеличению ингибиторной способности, что классифицирует этот витамин как восстановитель, который в условиях природных вод будет потреблять окислительные эквиваленты (рис. 8).

Цистеин также является восстановителем и потребляет окислительные эквиваленты, однако с увеличением его концентрации в системе, ингибиторная способность уменьшается в пределах того же порядка, что свидетельствует о том, что цистеин либо подвергается прямому фотолизу и не расходует радикалы, либо продукты фотолиза цистеина образуют небольшое количество радикалов (рис. 9).

Рис. 8. Зависимость ингибиторной способности и концентрации радикалов от концентрации витамина B_{12} .

[ПНДМА]= $2,37 \cdot 10^{-5}$ М, [H_2O_2]= 0,01, М

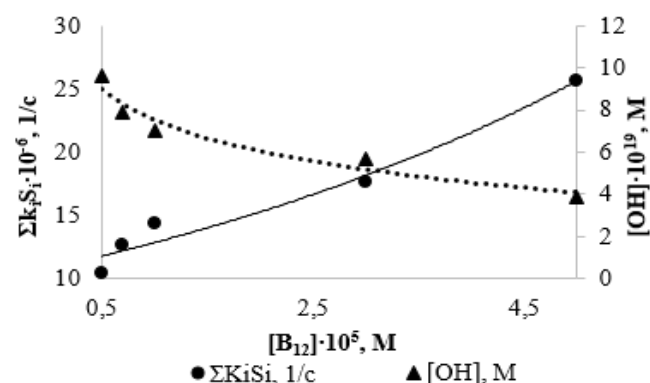
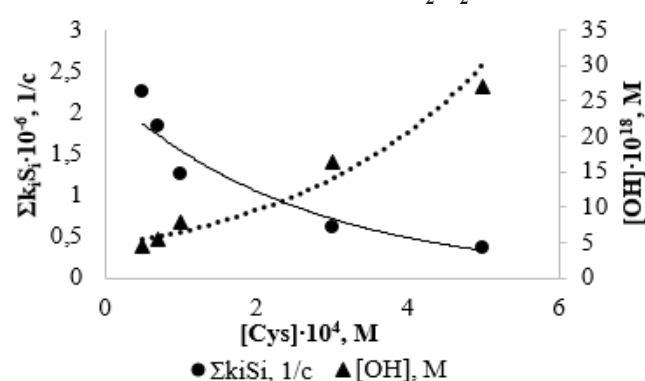


Рис. 9. Зависимость ингибиторной способности и концентрации радикалов от концентрации цистеина.

[ПНДМА]= $2,37 \cdot 10^{-5}$ М, [H_2O_2]= 0,01, М



В моделируемой системе 4 поочередно варьировалась концентрация одного из компонентов, в то время как концентрация другого оставалась постоянной (рис. 10-11).

Было определено, что в системе, где варьировалось содержание витамина B_{12} с увеличением его концентрации ингибиторная способность также увеличивается, а количество радикалов уменьшается. Это указывает на восстановительные свойства витамина B_{12} .

При варьировании содержания тиола в системе, были подтверждены каталитические свойства витамина B_{12} , так как первый имеет более выраженные восстановительные свойства. С увеличением концентрации цистеина ингибиторная способность уменьшается, а концентрация радикалов увеличивается на 2 порядка.

Рис. 10. Зависимость ингибиторной способности и концентрации радикалов от концентрации витамина B₁₂.

[Cys]=const= 1,00·10⁻⁴, М,
[ПНДМА]= 2,37·10⁻⁵, М, [H₂O₂]= 0,01, М

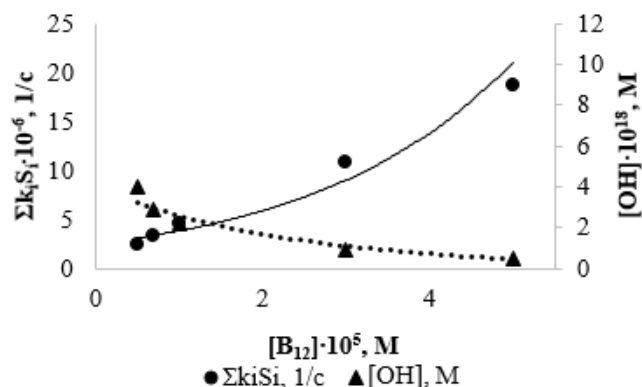
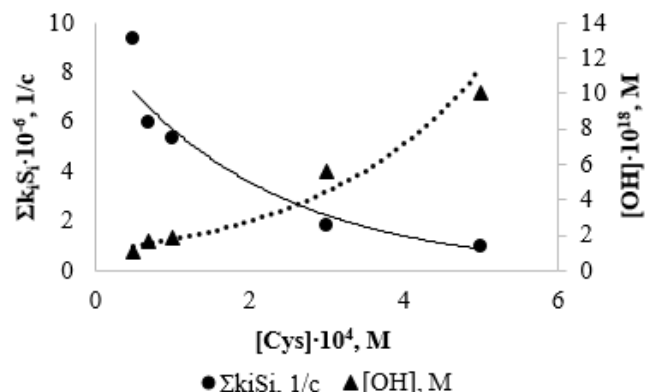


Рис. 11. Зависимость ингибиторной способности и концентрации радикалов от концентрации цистеина.

[B₁₂]=const= 1,00·10⁻⁵, М,
[ПНДМА]= 2,37·10⁻⁵, М, [H₂O₂]= 0,01, М



Выводы

1. Установлено, что в условиях природных вод прямой фотолиз витамина B₁₂ ($k=(2,20\pm 0,11)\cdot 10^{-4}\text{c}^{-1}$) не будет приводить к уменьшению концентрации витамина, а лишь к переходу из формы *цианокобаламин* в форму *гидрокобаламин*.

2. Используя косвенный метод, *ингибиторная способность*, было определено, что в присутствии окислительных эквивалентов, к примеру радикалов, витамин B₁₂ будет проявлять восстановительные свойства и будет приводить к уменьшению их концентрации ($\Sigma ki[Si]=1,6\cdot 10^7\text{c}^{-1}$).

3. В природных водах, с учетом сложности их состава и присутствии других веществ восстановительной природы, гидрокобаламин будет проявлять каталитические свойства в процессе окисления различных метаболитов, таких как тиолов.

Библиография:

1. DUCA, Gh., GLADCHI, V., ROMANCIUC, L. *Procese de poluare si autoepurare a apelor naturale*. Chișinău: CE USM, 2002, 145 p.
2. DUCA, Gh., MIHĂILĂ, Gh., GOREACEVA, N., CHETRUȘ, P. *Chimia apelor naturale*. Chișinău: CEP USM, 1995, 288 p.
3. DUCA, Gh., SCURLATOV, Iu., MISITI, A., MACOVEANU, M., SURPĂȚEANU, M. *Chimie ecologică*. București: Matrix ROM, 1999, 305 p.
4. DUCA, Gh., TRAVIN, S. *Reaction's mechanisms and applications of hydrogen peroxide*. In: *American Journal of Physical Chemistry*, 2020, Vol. 9, N. 2, pp. 36-44. DOI: 10.11648/j.ajpc.20200902.13.
5. GLADCHI, V. *Transformări catalitice și starea redox a mediului ambiant*. *Monografte*. Chișinău: CEP USM, 2018, 212 p.
6. BLONSCHI, V., GLADCHI, V., DUCA, G. *Participarea substanțelor tiolice în procese de autopurificare chimică a apelor naturale: Monografie*. Chișinău: CEP USM, 2022, 138 p.
7. HEAL, K. R., CARLSON, L. T., DEVOL, A. H., ARMBRUST, E. V., MOFFETT, J. W., STAHL, D. A., INGALLS, A. E. *Determination of four forms of vitamin B₁₂ and other B vitamins in seawater by liquid chromatography/tandem mass spectrometry*. In: *Rapid Commun. Mass Spectrom*, 2014, 28, pp. 2398-2404.
8. OKBAMICHAEL, M., SAÑUDO-WILHELMY, S. A. *A new method for the determination of Vitamin B₁₂ in seawater*. In: *Analytica Chimica Acta*, 2004, 517, pp. 33-38.
9. ZHU, Q., ALLER, R. C., KAUSHIK, A. *Analysis of vitamin B₁₂ in seawater and marine sediment porewater using ELISA*. In: *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 2011, 9, pp. 515-523.
10. JUZENIENE, A., NIZAUSKAITE, Z. *Photodegradation of cobalamins in aqueous solutions and in human blood*. In: *Journal of Photochemistry and Photobiology. B: Biology*, 2013, 122, pp. 7-14.

11. DUCA, Gh., LIS, A., GLADCHI, V., TRAVIN, S. *Indirect photolysis of cysteine and thiourea in the aquatic environment*. In: *Inorganica Chimica Acta*, 2023, vol. 557, 121682.
12. LIS, A., GLADCHI, V., DUKA, Gh., TRAVIN, S. *Sensitized photolysis of thioglycolic acid in aquatic environment*. In: *Chemistry Journal of Moldova*, 2021, nr. 1(16), pp. 46-59.
13. ЗАЗЫБИН, А., ЗИГАНШИН, М., МАНАПОВА, Л. *Практическое руководство к лабораторным работам по физической и коллоидной химии*. Казань, 2005, 64 с.
14. БАЙРАМОВ, В. М. *Основы химической кинетики и катализа*. Москва: Академия, 2003, 256 с.
15. DUCA, Gh., GLADCHI, V., GOREACEVA, N. *Lucrări practice la Chimia apelor naturale*. Chișinău: CEP USM, 2007, 108 p.
16. AHMAD, I., HUSSAIN, W., FAREEDI, A. *Photolysis of cyanocobalamin in aqueous solution*. In: *J. Pharm. Biomed. Anal.* 1992, 10, pp. 9-15.
17. SHELL, T. A., LAWRENCE, D. S. *A New Trick (Hydroxyl Radical Generation) for an Old Vitamin (B₁₂)*. In: *Journal of the American Chemical Society*, 2011, 133(7), pp. 2148–2150.
18. AHMAD, I., QADEER, K., HAFEEZ, A. *Effect of ascorbic acid on the photolysis of cyanocobalamin and aquocobalamin/hydroxocobalamin in aqueous solution: A kinetic study*. In: *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2017, 332, pp. 92–100.
19. KOZLOWSKI, P. M., GARABATO, B. D., LODOWSKI, P., JAWORSKA, M. *Photolytic properties of cobalamins: a theoretical perspective*. In: *Dalton Transactions*, 2016, 45(11), pp. 4457–4470.
20. QADEER, K., ARSALAN, A., AHMAD, I. *Photochemical interaction of cyanocobalamin and hydroxocobalamin with cysteine*. In: *Journal of Molecular Structure*, 2020, 129441.
21. JACOBSEN, D. W., TROXELL, L. S., BROWN, K. L. *Catalysis of thiol oxidation by cobalamins and cobinamides: reaction products and kinetics*. In: *Biochemistry*, 1984, 23(9), pp. 2017–2025.

Notă: Lucrarea a fost efectuată în cadrul proiectului 20.80009.5007.27 Mecanisme fizico-chimice a proceselor redox cu transfer de electroni implicate în sistemele vitale, tehnologice și de mediu.

Данные авторов:

Максим ЧИСТЯКОВ, докторант, Факультет Химии и Химической технологии, Молдавский государственный университет.

ORCID: 0000-0001-6486-616X

E-mail: maxim.cisteacovu@usm.md

Владислав БЛОНСКИ, доктор, лектор, Факультет Химии и Химической технологии Молдавский государственный университет.

ORCID: 0000-0001-8628-6756

E-mail: vlad.blonschi@usm.md

Виорика ГЛАДКИ, доктор, профессор, Факультет Химии и Химической технологии Молдавский государственный университет.

ORCID: 0000-0002-5847-4466

E-mail: viorica.gladchi@usm.md

Представлено 04. 12. 2023

CZU: 544.142.3:547-304.6

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_28](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_28)

EXPLORING THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF 1-(PIPERIDIN-1-YL)PROPANE-1,2-DIONE 4-PHENYLTHIOSEMICARBAZONE AND 3d METAL COORDINATION COMPOUNDS WITH THIS LIGAND

**Ianina GRAUR, Mihail MAXIM, Vasilii GRAUR,
Victor TSAPKOV, Aurelian GULEA,**

*Laboratory of Advanced Materials in Biopharmaceutics,
Institute of Chemistry, Moldova State University*

Olga GARBUZ,

*Laboratory of Systematics and Molecular Phylogenetics,
Institute of Zoology, Moldova State University*

The new 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (HL) and its 7 coordination compounds [Cu(L)X] (X = Br⁻ (I); Cl⁻ (II); NO₃⁻ (III); CH₃COO⁻ (IV); Cl₂CHCOO⁻ (V)), [Co(L)₂]NO₃ (VI), [Fe(L)₂]NO₃ (VII) have been synthesized and characterized by elemental analysis, FTIR, ¹H, ¹³C NMR spectra and molar electric conductivity. For the obtained compounds it was studied the antioxidant activity towards ABTS⁺ radical cation. Uncoordinated 4-phenylthiosemicarbazone HL is the most active one with IC₅₀ 14.1 μM. Its activity is higher than that of Trolox which is used in medicine as an antioxidant. Among all the synthesized coordination compounds, the iron(III) complex VII showed the greatest activity. The antioxidant activity of metal complexes is influenced by the anion and the nature of the central metal atom.

Keywords: coordination compounds, 4-phenylthiosemicarbazone, pyruvamide, antioxidant activity.

STUDIUL ACTIVITĂȚII ANTIOXIDANTE A 4-FENILTIOSEMICARBAZONEI 1-(PIPERIDIN-1-IL)PROPAN-1,2-DIONEI ȘI A COMPUȘILOR COORDINATIVI AI METALELOR 3d CU ACEST LIGAND

Un ligand nou, 4-feniltiosemicarbazona 1-(piperidin-1-il)propan-1,2-dionei (HL) și 7 compuși coordinativi [Cu(L)X] (X = Br⁻ (I); Cl⁻ (II); NO₃⁻ (III); CH₃COO⁻ (IV); Cl₂CHCOO⁻ (V)), [Co(L)₂]NO₃ (VI), [Fe(L)₂]NO₃ (VII) au fost sintetizați și caracterizați prin analiză elementală, spectroscopia FTIR, ¹H, ¹³C RMN și conductibilitatea electrică molară. Pentru compușii obținuți a fost studiată activitatea antioxidantă față de cation-radical ABTS⁺. 4-Feniltiosemicarbazona HL necoordonată este cea mai activă cu IC₅₀ 14.1 μM, activitatea ei este mai mare decât cea a Troloxului, care este folosit în medicină ca antioxidant. Dintre toți compușii coordinativi sintetizați, complexul de fier(III) VII posedă cea mai pronunțată activitate. Activitatea antioxidantă a complexelor metalice este influențată atât de anion, cât și de natura atomului central.

Cuvinte-cheie: compuși coordinativi, 4-feniltiosemicarbazona, amidă acidului pyruvic, activitatea antioxidantă.

Introduction

Thiosemicarbazones are a group of compounds usually obtained by the condensation reaction between a thiosemicarbazide and an aldehyde or ketone [1]. For many years scientists focused on thiosemicarbazone derivatives, considering them not only as potential ligands but also as compounds displaying a wide spectrum of biological activities [2-6]. In recent decades, thiosemicarbazones have undergone clinical development for a variety of diseases, including tuberculosis, viral infections, malaria and cancer [7]. Certain derivatives of thiosemicarbazones demonstrated notable inhibition of tumor cell growth in Hep3B, A549, and MCF-7 cell lines [8]. 4-Phenylthiosemicarbazone and its 3d metal complexes manifest antibacterial [9], antioxidant [10-11] and anticancer [12] activities.

Pyruvic acid is a compound formed during the metabolism of carbohydrates, proteins, and fats. It

is a component of a blood cell processing solution utilized to revitalize a unit of red blood cells before transfusion. Pyruvic acid is recognized for its diverse pharmacological effects, including anti-inflammatory, neuroprotective, and anticancer properties. These effects are believed to stem from its antioxidant and free radical scavenging capabilities [13]. Piperidine can be obtained from plant sources or synthesized through various chemical reactions. Piperidine scaffold has been utilized in numerous pharmaceutical drugs that are currently available in the market [14]. Piperidine is employed as agent against cancer, viruses, malaria, microbes, fungi, hypertension, inflammation, Alzheimer's disease, psychiatric disorders, and blood clotting [15]. Therefore, it is assumed that piperidine-based pyruvic acid amide can impart interesting biological properties in the composition of thiosemicarbazones and their complexes.

4-Allylthiosemicarbazone of pyruvic acid amide based on piperidine and its copper(II), nickel(II) and iron(III) complexes were previously synthesized and described [16]. The antioxidant activity against ABTS^{•+} cation radicals was studied for these substances and it was concluded that the activity is influenced by the nature of the central metal atom.

Based on the foregoing, it is of interest to study how the replacement of the radical in the fourth position with the phenyl group in thiosemicarbazone will affect its antioxidant activity and the activity of its complexes. So, the aim of this work is synthesis of 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone and its 3d metal coordination compounds and study of their antioxidant activity.

Materials and methods

Pyruvic acid, 4-phenylthiosemicarbazide, oxalyl chloride, sodium carbonate, dichloromethane, dimethylformamide, piperidine, copper(II) chloride dihydrate, copper(II) bromide, copper(II) nitrate trihydrate, copper(II) dichloroacetate, copper(II) acetate monohydrate, cobalt(II) nitrate hexahydrate, iron(III) nitrate hexahydrate were obtained from Sigma-Aldrich and used without further purification.

The ¹H and ¹³C NMR spectra were recorded on a Bruker DRX-400, using CDCl₃ as a solvent.

FTIR spectra were obtained on a Bruker ALPHA FTIR spectrophotometer at room temperature in the range of 4000-400 cm⁻¹.

The determination of copper, cobalt and iron content in the synthesized coordination compounds, using titration methods, performed similarly to the literature procedures [17-18].

The resistance of solutions of complexes in methanol (20°C, 0.001 M) was measured using an R-38 rheochord bridge.

1-(Piperidin-1-yl)propane-1,2-dione

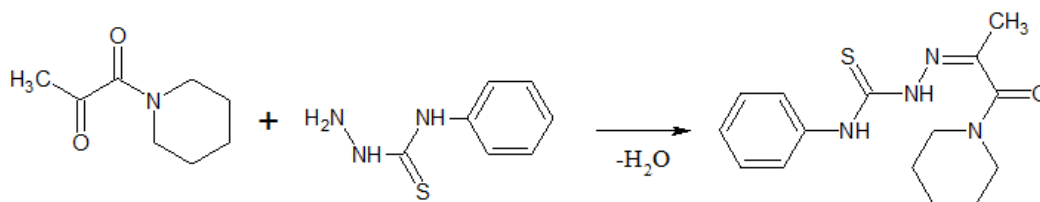
1-(Piperidin-1-yl)propane-1,2-dione was synthesized by the method described in [16]. Pyruvic acid (8.80 g, 0.100 mol) was dissolved in 5 mL CH₂Cl₂ and placed in a flat-bottomed flask. Oxalyl chloride (15.24 g, 0.120 mol) was dissolved in 10 mL CH₂Cl₂ and was added dropwise to the reaction mixture with stirring at the 0°C. Following this, 3 drops of dimethylformamide were introduced as a catalyst and the condenser with drying tube containing calcium chloride was fitted onto the flask. The reaction mixture was stirred and heated for 1.5 hours, yielding a yellow oil. A suspension of piperidine (8.50 g, 0.100 mol), sodium carbonate (10.60 g, 0.100 mol) and 10 mL CH₂Cl₂ was stirred at 0°C. The obtained yellow oil, that contains 2-oxopropanoyl chloride, was added dropwise to the cooled suspension and the mixture was stirred at rt for 1 h. The mixture was filtered and filtrate that contains 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione in CH₂Cl₂ was air-dried resulting the crude product in the form of a mobile, yellow oil.

1-(Piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (HL)

1-(Piperidin-1-yl)propane-1,2-dione (3.10 g, 20.0 mmol) was dissolved in 25 mL of ethanol, followed by the addition of 4-phenylthiosemicarbazide (3.34 g, 20.0 mmol) was added to the reaction mixture under stirring and heating (Scheme 1). The obtained pale-yellow precipitate was filtered, washed with small amount of ethanol and dried on air. Yield: 82%. m.p. 130-131°C; ¹H NMR (400 MHz, CDCl₃): 9.13 (s, 1H, NH); 8.81 (s, 1H, NH); 7.60 (d, 2×1H, CH_{phenyl}); 7.37 (t, 2×1H, CH_{phenyl}); 7.23 (t, 1H, CH_{phenyl}); 3.55 (m, 2×2H, CH_{2piperidine}); 2.15 (s, 3H, CH₃); 1.69 (m, 2H, CH_{2piperidine}); 1.62 (m, 2×2H, CH_{2piperidine}); ¹³C NMR (100 MHz,

CDCl₃): 176.42 (C=S); 165.23 (C=O); 143.72 (C=N); 137.51, 128.85, 126.36, 124.10 (C_{phenyl}); 45.62, 26.06, 24.50 (C_{piperidine}); 14.39 (CH₃). FTIR data (cm⁻¹): 3276, 3199 (NH), 1616 (C=O), 1591 (C=N), 1363 (C=S).

Scheme 1. Synthesis of 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (HL).



Synthesis of coordination compounds

[Cu(L)Br] (I)

The ethanol solution containing 4-phenylthiosemicarbazone **HL** (0.304 g, 1.00 mmol) was combined with an ethanol solution of copper(II) bromide (0.224 g, 1.00 mmol). A green precipitate formed upon stirring. The resulting precipitate was filtered, washed with a small amount of ethanol and then dried. Yield: 86%. FTIR data (cm⁻¹): 3199, 1626, 1589, 1559, 755; λ (MeOH, $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$): 90; copper content (%): 14.15; calcd (%) for C₁₅H₁₉BrCuN₄OS: 14.22.

[Cu(L)Cl] (II)

The reaction was carried out as described above, but copper(II) chloride dihydrate (0.171 g, 1.00 mmol) was used instead of copper(II) bromide. A green precipitate formed upon stirring. The resulting precipitate was filtered off, washed with a small amount of ethanol and then dried. Yield: 72%. FTIR data (cm⁻¹): 3272, 1603, 1589, 1575, 757; λ (MeOH, $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$): 79; copper content (%): 15.62; calcd (%) for C₁₅H₁₉ClCuN₄OS: 15.79.

[Cu(L)NO₃] (III)

The reaction was carried out as described above, but copper(II) nitrate trihydrate (0.242 g, 1.00 mmol) was used instead of copper(II) chloride dihydrate. A green precipitate formed upon stirring. The resulting precipitate was filtered, washed with a small amount of ethanol and then dried. Yield: 78%. FTIR data (cm⁻¹): 3246, 1596, 1587, 1561, 749; λ (MeOH, $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$): 72; copper content (%): 14.74; calcd (%) for C₁₅H₁₉CuN₅O₄S: 14.81.

[Cu(L)CH₃COO] (IV)

The reaction was carried out as described above, but copper(II) acetate monohydrate (0.200 g, 1.00 mmol) was used instead of copper(II) nitrate trihydrate. A green precipitate formed upon stirring. The resulting precipitate was filtered, washed with a small amount of ethanol and then dried. Yield: 80%. FTIR data (cm⁻¹): 3254, 1630, 1593, 1581, 1544, 753; λ (MeOH, $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$): 67; copper content (%): 14.86; calcd (%) for C₁₇H₂₂CuN₄O₃S: 14.92.

[Cu(L)(Cl₂CHCOO)] (V)

The reaction was carried out as described above, but copper(II) dichloroacetate (0.321 g, 1.00 mmol) was used instead of copper(II) acetate monohydrate. A green precipitate formed upon stirring. The resulting precipitate was filtered, washed with a small amount of ethanol and then dried. Yield: 81%. FTIR data (cm⁻¹): 3272, 1638, 1587, 1546, 755; λ (MeOH, $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$): 68; copper content (%): 12.74; calcd (%) for C₁₇H₂₀Cl₂CuN₄O₃S: 12.84.

[Co(L)₂]NO₃ (VI)

The ethanol solution containing 4-phenylthiosemicarbazone **HL** (0.304 g, 1.00 mmol) was combined with an ethanol solution of cobalt(II) nitrate hexahydrate (0.146 g, 0.50 mmol). A reddish brown precipitate formed upon stirring. The resulting precipitate was filtered, washed with a small amount of ethanol and then dried. Yield: 70%. FTIR data (cm⁻¹): 3246, 1601, 1576, 1557, 755; λ (MeOH, $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$): 90; cobalt content (%): 7.97; calcd (%) for C₃₀H₃₈CoN₉O₅S₂: 8.10.

[Fe(L)₂]NO₃ (VII)

The reaction was carried out as described above, but iron(III) nitrate hexahydrate (0.175 g, 0.50 mmol) was used instead of cobalt(II) nitrate hexahydrate. A brown precipitate formed upon stirring. The resulting

precipitate was filtered, washed with a small amount of ethanol and then dried. Yield: 70%. FTIR data (cm^{-1}): 3244, 1601, 1575, 1546, 755; λ (MeOH, $\Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$): 80; iron content (%): 7.63; calcd (%) for $\text{C}_{30}\text{H}_{38}\text{FeN}_9\text{O}_5\text{S}_2$: 7.71.

Antioxidant activity

The antioxidant activity of the synthesized compounds was investigated using the ABTS⁺ method described by Re *et al.* [19] with modifications. The ABTS⁺ radical was produced by mixing a 7 mM solution of ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid)) from Sigma with a 2.45 mM solution of potassium persulfate ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), also from Sigma, at 25°C in the dark for 12-20 hours at room temperature. The resulting solution was diluted by combining it with acetate-buffered saline (0.02 M, pH 6.5) until an absorbance of 0.70 ± 0.01 units at 734 nm was attained. The studied compounds were diluted in DMSO, with concentrations ranging from 1 to 100 μM . Next, 20 μL of each compound's dilution was added to a 96-well microtiter plate, followed by the addition of 180 μL of the ABTS⁺ working solution was dispensed using the dispense module of the hybrid reader (BioTek). The reduction in absorbance at 734 nm was accurately measured after a 30-minute incubation at 25°C. All measurements were conducted in triplicate, with DMSO serving as the negative control, and blank samples were run using solvent without ABTS⁺. The hybrid reader used for the measurement was the Synergy H1 from BioTek. Each experiment was repeated three times, and the resulting data were averaged.

Results and discussion

The new 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone (**HL**) was obtained through a two-stage process. In the initial stage, 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione was produced by interaction of pyruvic acid, oxalyl chloride, and piperidine in CH_2Cl_2 . In the subsequent phase, the obtained 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione reacted with 4-phenylthiosemicarbazide in ethanol, with both compounds utilized in equal molar proportions. Its structure was confirmed via NMR spectroscopy (Fig.1, 2).

Fig. 1 ¹H NMR spectrum of HL.

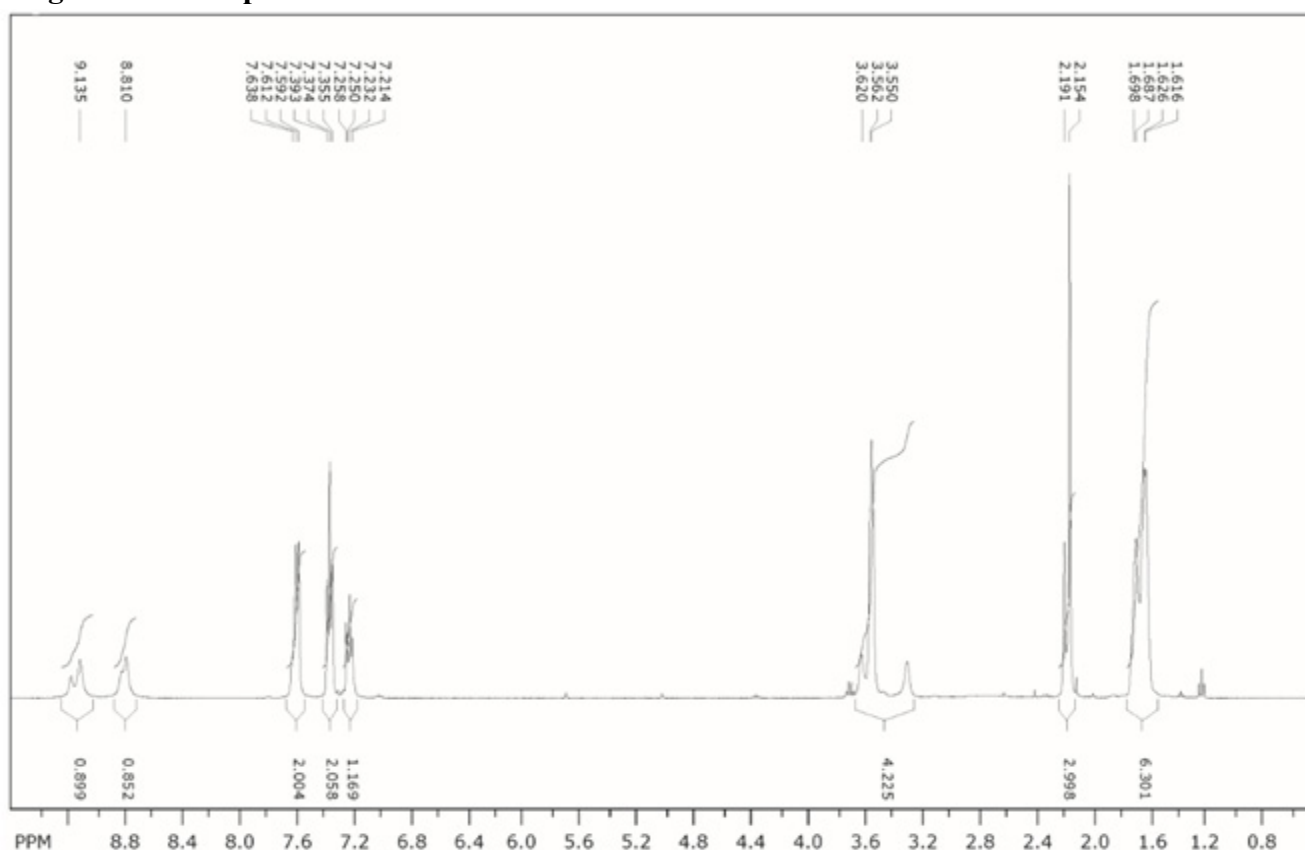
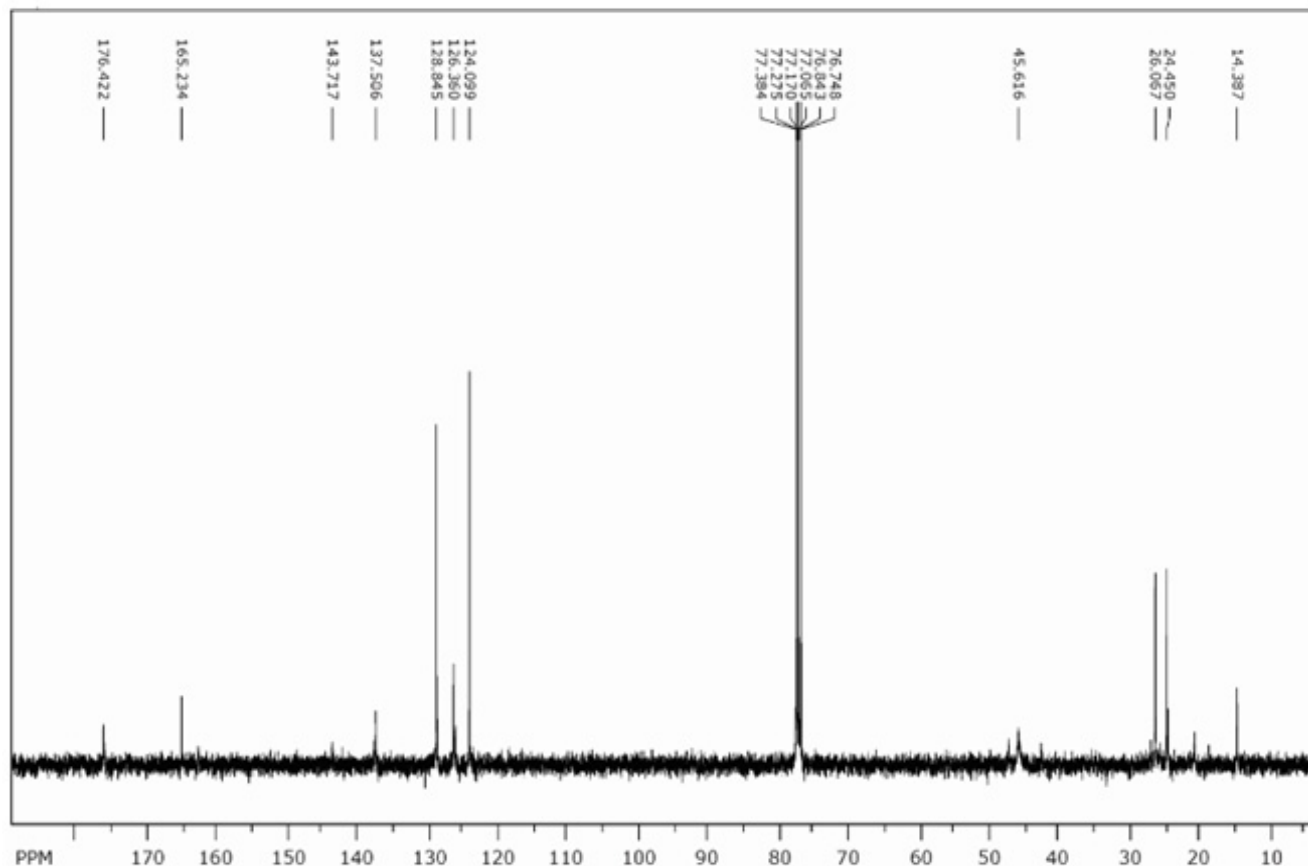


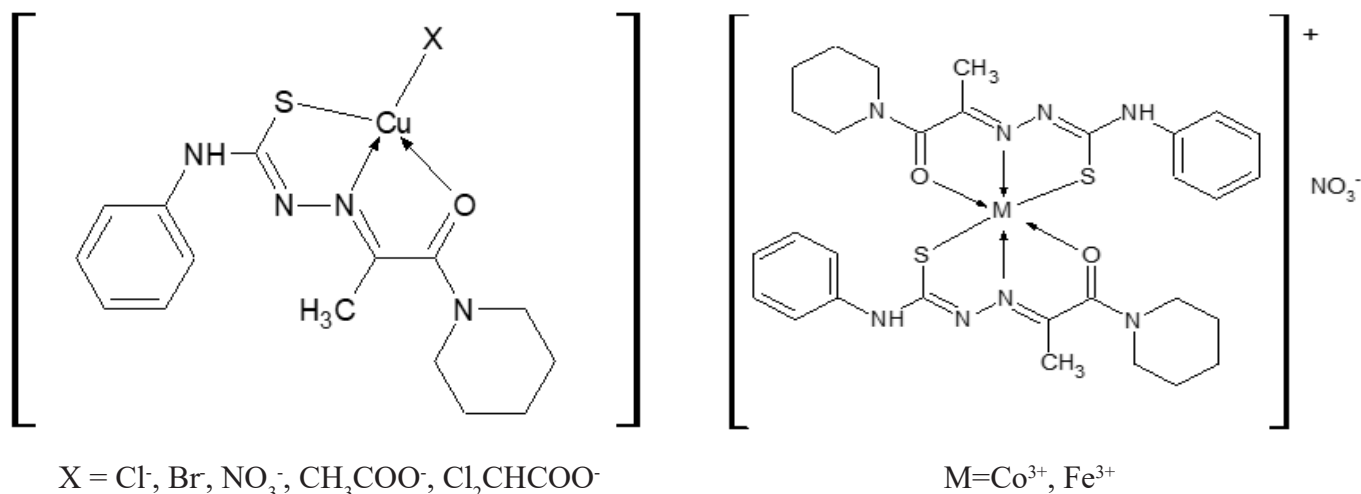
Fig. 2 ^{13}C NMR spectrum of HL

Seven new coordination compounds were synthesized based on 4-phenylthiosemicarbazone **HL**. Copper(II) complexes **I-V** were obtained by the reaction between **HL** and copper(II) salts in molar ratio 1:1 in hot ethanolic solutions. Cobalt(III) and iron(III) complexes were synthesized by heating a mixture of **HL** and metal salt in a 2:1 molar ratio. Elemental analyses on copper, cobalt, and iron of the complexes suggest the general formulas $[\text{Cu}(\text{L})\text{X}]$ ($\text{X} = \text{Br}$ (**I**); Cl^- (**II**); NO_3^- (**III**); CH_3COO^- (**IV**); $\text{Cl}_2\text{CHCOO}^-$ (**V**)), $[\text{Co}(\text{L})_2]\text{NO}_3$ (**VI**), $[\text{Fe}(\text{L})_2]\text{NO}_3$ (**VII**). The molar conductivity values of the synthesized complexes **I-VII** are in the range $67\text{--}90 \Omega^{-1}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}$ suggesting that these complexes are 1:1 electrolytes.

In the FTIR spectra of **HL** are presented the absorption bands at 3276 and 3199 cm^{-1} that indicate two NH groups, $\nu(\text{C}=\text{O})$ absorption band at 1616 cm^{-1} , $\nu(\text{C}=\text{N})$ absorption band at 1591 cm^{-1} and $\nu(\text{C}=\text{S})$ absorption band at 1363 cm^{-1} . The spectra of the obtained complexes **I-VII** exhibit absorption bands ranging from $3199\text{--}3272$, $1589\text{--}1638$, and $1575\text{--}1589 \text{ cm}^{-1}$, representing the stretching vibrations specific to the coordinated molecules of **HL**. The changes occurring in the FTIR spectrum during the coordination of 4-phenylthiosemicarbazone **HL** to the central metal atoms are similar to those that were previously published for 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-allylthiosemicarbazone and its complexes [16]. In the FTIR spectra of complexes **I-VII**, the disappearance of one of the $\nu(\text{N-H})$ absorption bands indicates the deprotonation of the **HL**. Furthermore, the spectra indicate shifts to the lower frequency region for the $\nu(\text{C}=\text{O})$ absorption band and for the $\nu(\text{C}=\text{N})$ absorption band. Also, the disappearance of the $\nu(\text{C}=\text{S})$ absorption band was noted, along with the appearance of the $\nu(\text{C-S})$ absorption bands in the region of $749\text{--}757 \text{ cm}^{-1}$. The absence of the $\nu(\text{C}=\text{S})$ group suggests that the **HL** has transformed from the thione form to a thiol form followed by deprotonation. Based on these findings, it can be proved that **HL** coordinates with the metal ions in a mono-deprotonated thiol form using the oxygen atom of the amide group, nitrogen atom of the azomethine group, and deprotonated sulfur atom and forms five- and six-membered metallacycles.

Scheme 2 illustrates the suggested distribution of chemical bonds in the coordination compounds **I-VII**.

Scheme 2. Proposed distribution of chemical bonds in the complexes I-VII.



The antioxidant activity of the synthesized compounds **HL** and complexes **I-VII** was investigated using the ABTS⁺ method (Table 1). Almost all copper(II) complexes showed no activity, except for the complex [Cu(L)CH₃COO] with IC₅₀ 30.2 μM. This shows that the anion in the complexes affects their antioxidant activity. The cobalt(III) complex showed no activity, but the iron(III) complex showed activity with IC₅₀ 20.7 μM. 4-Phenylthiosemicarbazone **HL** is the most active substance among all synthesized compounds. Its activity also surpasses that of trolox which was used as a standard antioxidant for comparison.

Table 1. IC₅₀ values of the synthesized substances towards ABTS⁺ radical cation.

Compound	IC ₅₀ , μM
HL	14.1
I	≥100
II	≥100
III	≥100
IV	30.2
V	≥100
VI	≥100
VII	20.7
Trolox	33.0

The obtained results can be compared with previously published data with the antioxidant activity of similar complexes based on 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-allylthiosemicarbazone [16]. The activity of the thiosemicarbazone **HL** is higher than that of its 4-allylthiosemicarbazone analogue, which means that the appearance of a phenyl fragment in the fourth position of this thiosemicarbazone increased its antioxidant activity. Iron(III) complex with **HL** also surpasses the corresponding iron(III) complex with 4-allylthiosemicarbazone analogue.

Conclusions

The new 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-phenylthiosemicarbazone and its 7 coordination compounds were synthesized and characterized using NMR, FTIR spectroscopy, elemental analysis and molar conductivity. It was determined that the non-coordinated 4-phenylthiosemicarbazone **HL** exhibits the greatest activity against ABTS⁺ radical cation. Among the synthesized coordination compounds, only the copper(II) and iron(III) complexes show activity that is slightly higher than the activity of Trolox. However, the results showed that the thiosemicarbazone containing a phenyl radical in the fourth

position is more active in comparison with the previously published 1-(piperidin-1-yl)propane-1,2-dione 4-allylthiosemicarbazone. It was also determined that the antioxidant activity of the synthesized substances is significantly influenced by the nature of the central metal atom.

References:

1. HASSAN, A., SHAWKY, A., SHEHATTA, H. *Chemistry and heterocyclization of thiosemicarbazones*. In: *J Heterocyclic Chem.* 2012. nr. 49, p. 21–37.
2. ARORA, S., AGARWAL, S., SINGHAL, S. *Anticancer activities of thiosemicarbazides/thiosemicarbazones: a review*. In: *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2014, Vol. 6(9), p. 34-41.
3. LIBERTA, A. E., WEST, D. X. *Antifungal and antitumor activity of heterocyclic thiosemicarbazones and their metal complexes: current status*. In: *Biometals*, 1992, Nr. 5, p. 121-126.
4. SHIM, J., JYOTHI, N. R., FAROOK, N. M. (2013). *Biological applications of thiosemicarbazones and their metal complexes*. In: *Asian Journal of Chemistry*, 2013, Vol. 25(10), p. 5838.
5. SIDDIQUI, E. J., AZAD, I., KHAN, A. R., KHAN, T. *Thiosemicarbazone complexes as versatile medicinal chemistry agents: a review*. In: *Journal of drug delivery and therapeutics*, 2019, Vol. 9(3), p. 689-703.
6. PAHONTU, E., JULEA, F., ROSU, T., PURCAREA, V., CHUMAKOV, Y., PETRENCO, P., GULEA, A. *Antibacterial, antifungal and in vitro antileukaemia activity of metal complexes with thiosemicarbazones*. In: *Journal of cellular and molecular medicine*, 2015, Vol. 19(4), p. 865-878.
7. SINGHAL, S., ARORA, S., AGARWAL, S., SHARMA, R., SINGHAL, N. *A review on potential biological activities of thiosemicarbazides*. In: *World J Pharm and Pharm Sci.* 2013, Vol. 2, p. 4661–4481.
8. PHAM, V., PHAN, T., PHAN, D., VU, B. *Synthesis and bioactivity of thiosemicarbazones containing adamantane skeletons*. In: *Molecules*, 2020, Vol. 25(2), p. 324.
9. KIZILCIKLI, İ., KURT, Y. D., AKKURT, B., GENEL, A. Y., BIRTEKSÖZ, S., ÖTÜK, G., ÜLKÜSEVEN, B. *Antimicrobial activity of a series of thiosemicarbazones and their Zn II and Pd II complexes*. In: *Folia microbiologica*, 2007, Vol. 52, p. 15-25.
10. ILIES, D. C., SHOVA, S., RADULESCU, V., PAHONTU, E., ROSU, T. *Synthesis, characterization, crystal structure and antioxidant activity of Ni (II) and Cu (II) complexes with 2-formilpyridine N(4)-phenylthiosemicarbazone*. In: *Polyhedron*, 2015, Vol. 97, p. 157-166.
11. KUMAR, V. A., SIDDIKHA, A., SEKHAR, A. R., KUMAR, A. S., BABU, S., RAO, C. A., REDDY, A. V. *Synthesis, Characterization, Antimicrobial and Antioxidant Activity of 2-Hydroxy-3-Methoxybenzaldehyde-4-Phenylthiosemicarbazone and its Pd (II) Complex, Ni (II) Mixed Ligand Complex and Cu(II) Complex having Heterocyclic Bases*. In: *World Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2017, Vol. 8(4), p. 127-138.
12. HOSSEINI-YAZDI, S. A., MIRZAAHMADI, A., KHANDAR, A. A., EIGNER, V., DUŠEK, M., MAHDAVI, M., WHITE, J. *Reactions of copper (II), nickel (II), and zinc (II) acetates with a new water-soluble 4-phenylthiosemicarbazone Schiff base ligand: Synthesis, characterization, unexpected cyclization, antimicrobial, antioxidant, and anticancer activities*. In: *Polyhedron*, 2017, Vol. 124, p. 156-165.
13. KŁADNA, A., MARCHLEWICZ, M., PIECHOWSKA, T., KRUK, I., ABOUL-ENEIN, H. Y. *Reactivity of pyruvic acid and its derivatives towards reactive oxygen species*. In: *Luminescence*, 2015, Vol. 30(7), p. 1153-1158.
14. NAICKER, L., VENUGOPALA, K. N., SHODE, F., ODHAV, B. *Antimicrobial and antioxidant activities of piperidine derivatives*. In: *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2015, Vol. 9(31), p. 783-792.
15. ABDELSHAHEED, M. M., FAWZY, I. M., EL-SUBBAGH, H. I., YOUSSEF, K. M. *Piperidine nucleus in the field of drug discovery*. In: *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2021, Nr. 7, p. 1-11.
16. GRAUR, I., BESPALOVA, T., GRAUR, V., TSAPKOV, V., GARBUZ, O., MELNIC, E., BOUROSH, P., GULEA, A. *A new thiosemicarbazone and its 3d metal complexes: Synthetic, structural, and antioxidant studies*. In: *Journal of Chemical Research*, 2023, Vol. 47(6).
17. ПОДЧАЙНОВА, В. Н., СИМОНОВА, Л. Н. *Медь. Аналитическая химия элементов*. Москва: Наука, 1990, с. 78-80.
18. БЕЛЯВСКАЯ, Т. А. *Практическое руководство по гравиметрии и титриметрии*. Москва: Издательство Московского Университета, 1986, с. 123.

19. RE, R., PELLEGRINI, N., PROTEGGENTE, A., PANNALA, A., YANG, M., RICE-EVANS, C. *Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay*. In: *Free radical biology and medicine*. 1999, Vol. 26(9-10), p. 1231-1237.

Notă: Lucrarea a fost efectuată în cadrul subprogramei 010602 și 010701 a proiectului instituțional.

Date despre autori:

Ianina GRAUR, doctor în științe chimice, cercetător științific superior, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0002-3345-7539

E-mail: ulchina.ianina@usm.md

Mihail MAXIM, masterand, Facultatea de Chimie și Tehnologie Chimică, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0009-0006-3417-1133

E-mail: ch20maxim.mihail@gmail.com

Vasilii GRAUR, doctor în științe chimice, cercetător științific superior, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-8153-2153

E-mail: vasilii.graur@usm.md

Victor TSAPKOV, doctor în științe chimice, conferențiar universitar, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-1732-3116

E-mail: victor.tapcov@usm.md

Aurelian GULEA, doctor habilitat, profesor universitar, academician al Academiei de Științe a Moldovei, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-2010-7959

E-mail: aurelian.gulea@usm.md

Olga GARBUZ, doctor în științe biologice, Institutul de Zoologie, Universitatea de stat din Moldova.

ORCID: 0000-0001-8783-892X

E-mail: olga.garbuza@sti.usm.md

Prezentat la 28.03.2024

CZU: 615.322:638.135

[https://doi.org/10.59295/sum1\(171\)2024_29](https://doi.org/10.59295/sum1(171)2024_29)

CONȚINUTUL TOTAL DE POLIFENOLI ȘI ACTIVITATEA ANTIOXIDANTĂ A EXTRACTELOR ETANOLICE DE PROPOLIS

*Carolina GRIGORAȘ, Maria GONȚA,**Universitatea de Stat din Moldova*

Propolisul este un produs secundar apicol cu un conținut înalt de polifenoli ce manifestă acțiune antioxidantă. În articolul dat a fost realizat studiul comparativ al rezultatelor obținute privind conținutul total de polifenoli din extractele de propolis și activitatea antioxidantă a acestora în funcție de unii factori: concentrația solventului, metoda de extracție. Conținutul total de polifenoli a fost determinat prin metoda Folin-Ciocalteu, iar activitatea antioxidantă prin metoda DPPH. Analiza datelor a relevat că conținutul total de polifenoli și activitatea antioxidantă depinde, în mare parte, de concentrația solventului, iar concentrația optimă pentru obținerea extractelor etanolice de propolis cu un conținut înalt de polifenoli, este de 70%.

Cuvinte-cheie: *propolis, extract, macerare, extracție cu ultrasunet, polifenoli, metoda Folin-Ciocalteu, metoda DPPH.*

TOTAL POLYPHENOL CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF ETHANOLIC PROPOLIS EXTRACTS

Propolis is a beekeeping by-product with a high content of polyphenols that manifests antioxidant action. In this article was conducted the comparative study of the obtained results regarding the total polyphenol content of propolis extracts and their antioxidant activity depending on several factors: solvent concentration, extraction method. The total polyphenol content was determined by the Folin-Ciocalteu method and the antioxidant activity by the DPPH method. The analysis of the data revealed that the total polyphenol content and antioxidant activity is largely depended by the solvent concentration, optimal for obtaining ethanolic extracts of propolis with a high content of polyphenols, being ethyl alcohol with a concentration of 70%.

Keywords: *propolis, extract, maceration, ultrasound extraction, polyphenols, Folin-Ciocalteu method, DPPH method.*

Introducere

Propolisul este unul dintre cele mai cunoscute produse apicole, folosit în medicina populară încă din cele mai vechi timpuri pentru numeroasele sale efecte terapeutice asupra sănătății: antimicrobiene, antifungice, antivirale, anticanceroase, antidiabetice, antioxidante ș.a. În prezent, este o materie primă frecvent utilizată pentru fabricarea diferitelor extracte care pot servi ca ingrediente active în industria farmaceutică.

Propolisul brut este un amestec natural, colectat de albine, din muguri de flori și frunze ale diferitelor specii de plante. În general, propolisul constă din 50% rășini vegetale, 30% ceară de albine, 10% uleiuri esențiale, 5% polen și 5% impurități. Compușii organici care au fost identificați în propolis sunt: polifenoli, terpene, esterii, aminoacizi, vitamine, minerale și hidrați de carbon [1,2].

Profilul molecular bioactiv al propolisului brut variază în funcție de originea geografică și botanică, anotimp, genetica albinelor și a factorilor de mediu. Calitatea și cantitatea propolisului colectat depind de diversitatea și disponibilitatea plantelor, de sursa și timpul recoltării, de tehnicile și practicile apicultorilor, cât și de starea ecologică a mediului ambiant [1].

Compușii bioactivi prezenți în propolis au proprietatea de a neutraliza radicalii liberi destul de eficient, ceea ce face ca propolisul să fie o sursă promițătoare de antioxidanți naturali cu activitate antioxidantă înaltă [3]. Antioxidanții au o importanță mare pentru organism în scopul combaterii radicalilor liberi. Astfel studiul activității antioxidante a extractului de propolis este important [2].

Profilul chimic al extractelor de propolis depinde, de asemenea, de tipul de solvent utilizat pentru extracție, raportul de solvenți și materie primă și metodele de extracție. În total, există peste 500 de compuși

bioactivi identificați în propolis, iar majoritatea sunt metaboliți secundari ai plantelor. Deși polifenolii sunt un grup destul de divers, ei au multe asemănări, iar farmacologia propolisului este în mare parte rezultatul activității și interacțiunii lor. Compușii biologic activi din propolisul brut sunt de obicei extrași cu utilizarea solvenților precum etanolul (EtOH), glicerol sau apă [4].

Metode și materiale

Reactivi chimici de calitate pură pentru analiză: alcool etilic 96%, reactiv Folin-Ciocalteu VWR Chemicals, acid galic SIGMA Aldrich, carbonat de sodiu, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) SIGMA Aldrich.

Materia primă (propolisul brut) a fost colectată în septembrie 2023, de la coloniile de albine localizate în satul Mihailovca, raionul Cimișlia. Probele de propolis brut au fost apoi păstrate la loc rece în vase întunecate pentru a preveni fotodegradarea, înainte de investigarea ulterioară.

Metodologia de obținere a extractului de propolis

Procesul de obținere a extractelor de propolis a fost constituit din următoarele etape:

1. selectarea propolisului care la examinarea organoleptică nu a prezentat aspect lucios, impurități sau alte semne de degradare;
2. mărunțirea blocurilor de propolis pentru a mări suprafața de contact cu solventul, facilitând extracția;
3. extracția prin macerarea cu alcool etilic de 60-80% în raportul materie primă (g) – solvent (mL) de 1:10, timp de 10 zile, în vas de sticlă de culoare închisă, la temperatura camerei prin agitare periodică, iar după 10 zile extractul a fost filtrat în scopul separării reziduurilor nedizolvate;
4. extracția cu ultrasunet cu alcool etilic de 60-80% în raportul materie primă (g) – solvent (mL) de 1:10, timp de 30 minute la 25 kHz, temperatura de 40 °C. Extractele obținute au fost centrifugate la 8800 rpm, timp de 10 minute, ulterior filtrate și plasate pentru 12 ore la 4°C, după care extractele au fost centrifugate și filtrate repetat.

Toate tipurile de extracte au fost preparate în trei repetări [1,5].

Determinarea conținutului total de polifenoli prin metoda Folin-Ciocalteu

Probele de analizat ale extractelor de propolis au fost obținute prin diluția a 25 μL extract în balon cotat de 10 mL și aduse până la cotă cu solventul utilizat la extracție (EtOH 60-80%). Prepararea soluțiilor de analizat:

1. soluția de analizat: în eprubetă au fost transferați 7,5 mL apă distilată, 0,5 mL reactiv Folin-Ciocalteu, 0,5 mL extract diluat;
2. soluția de analizat pentru curba de etalonare: în eprubetă au fost transferați 7,5 mL apă distilată, 0,5 mL reactiv Folin-Ciocalteu, 0,5 mL soluție etalon a acidului galic 40-200 mg/L (preparate prin diluția soluției stoc standard cu concentrația 1g/L);
3. soluția martor: în eprubetă au fost transferați 7,5 mL apă distilată, 0,5 mL reactiv Folin-Ciocalteu, 0,5 mL apă distilată.

Conținutul fiecărei eprubete a fost agitat și lăsat în repaus timp de 6 minute. Ulterior în fiecare eprubetă a fost adăugat 1,5 mL soluție de carbonat de sodiu 20% și a fost agitat riguros. S-a introdus eprubetele, în termostat pentru 120 min, la $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Absorbanta soluțiilor a fost măsurată la 765 nm, față de soluția martor. Conținutul total de polifenoli a fost calculat, folosind curba de etalonare pentru acidul galic (standard de referință), în limita de concentrații de la 40 la 200 mg/L [5,6].

Conținutul total de polifenoli a fost exprimat în mg echivalenți de acid galic la g extract de propolis (mg GAE/g), conform următoarei formule de calcul:

$$\text{Conținutul total de polifenoli (mg GAE/g)} = (\text{GAC} \times V \times \text{FD} \times 100) / (m \times (100 - w)) \quad (1),$$

unde: GAC = concentrația acidului galic din curba de etalonare (mg/mL); V = volumul probei (mL); FD = factor de diluție a probei; m = greutatea probei (g); w = umiditatea (%) [7].

Determinarea activității antioxidante

Activitatea de captare a radicalilor prin metoda DPPH se bazează pe transferul de electroni antioxidanți

și neutralizarea radicalului DPPH. Reacția este însoțită de decolorarea soluției de DPPH, cu maximum de absorbție la 517 nm, iar gradul de decolorare este un indicator al activității antioxidante [8].

Absorbanța amestecului constituit din probă și soluția de DPPH a fost înregistrat pe un spectrofotometru (T70 UV/VIS) la lungimea de undă de 517 nm față de soluția martor corespunzătoare, timp de 60 minute, la diferite intervale de timp 1; 3; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60 min. Pentru a determina absorbanta soluției ($\lambda=517$ nm) în cuvă au fost transferați 3,3 mL soluție DPPH ($A=0,700\pm 0,002$) și 0,7 mL soluție de extract etanolic de propolis (EEP) diluat ($FD=2000$). Procentul de captare a radicalilor DPPH este calculat după ecuația (2):

$$\text{Activitatea antioxidantă (AA\%)} = \frac{(A_{\text{martor}} - A_{\text{probă}})}{A_{\text{martor}}} \times 100 \quad (2),$$

unde: A_{martor} este absorbanta soluției de DPPH și $A_{\text{probă}}$ este absorbanta soluției de analizat cu DPPH după 60 minute [9].

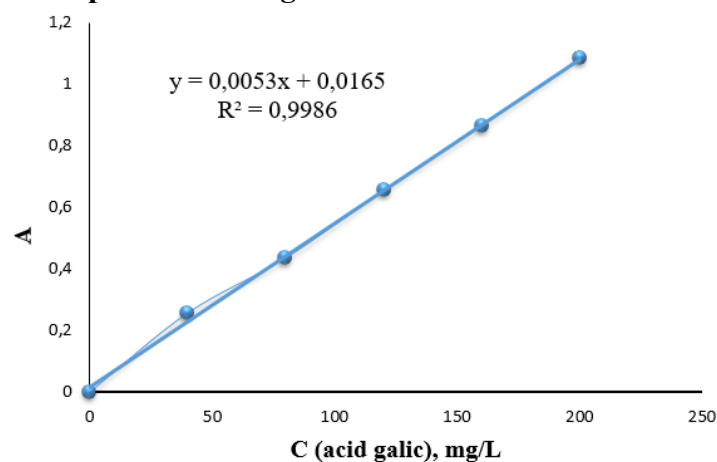
Rezultate și discuții

Au fost obținute 18 extracte etanolice de propolis (EEP), nouă extracte cu volumul de 50 mL fiecare cu un conținut de $\pm 5,0000$ g propolis brut mărunțit și solvent EtOH 60-80% și nouă extracte a câte 10 mL obținute prin extracție cu ultrasunet cu un conținut de $\pm 1,0000$ g propolis brut mărunțit și solvent EtOH 60-80%.

Determinarea conținutului total de polifenoli

Polifenolii din EEP obținute în prealabil, reacționează cu reactivul Folin-Ciocalteu în prezența carbonatului de sodiu și formează un complex albastru. Intensitatea culorii albastre este proporțională cu cantitatea de compuși fenolici reactivi din probă. Conținutul polifenolic se determină prin măsurarea absorbantei soluției de analizat la 765 nm, rezultatele sunt calculate în baza curbei de etalonare (Figura 1) și formula de calcul (1), acestea sunt prezentate în Tabelul 1.

Fig. 1. Curba de etalonare pentru acidul galic.

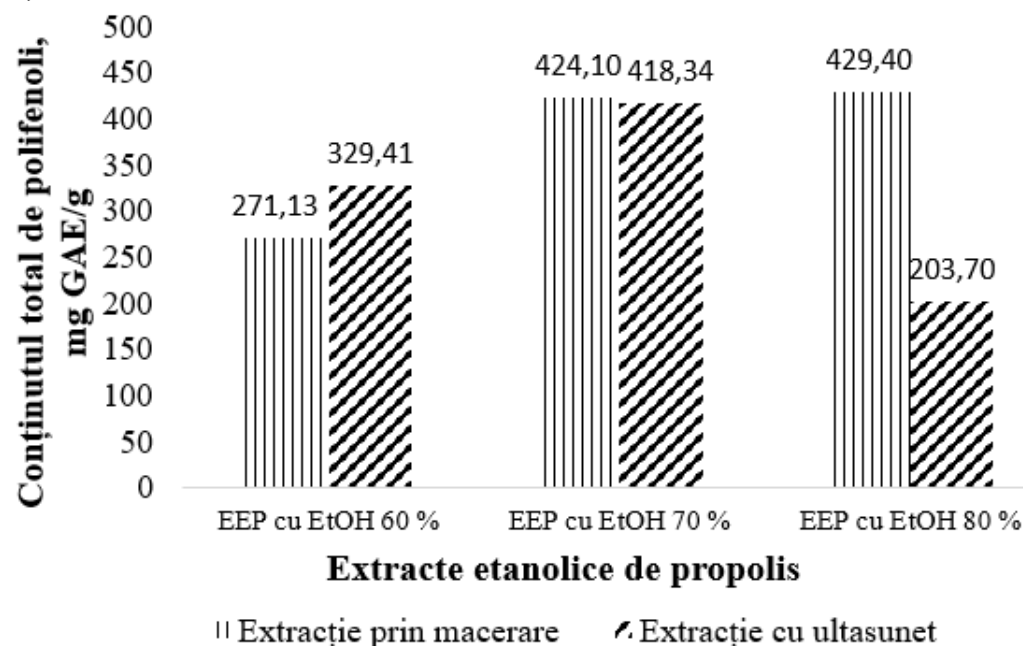


Tabelul 1. Conținutul total de polifenoli în extractele de propolis analizate.

Soluția de analizat	A_{765}	Concentrația calculată din curba de etalonare, mg/mL	Conținutul total de polifenoli, mg GAE/g
Extractele obținute prin macerare			
EEP ₁ -EtOH 60%	0,369	66,51	271,13±14,26
EEP ₂ -EtOH 60%	0,349	62,74	
EEP ₃ -EtOH 60%	0,388	70,09	
EEP ₁ -EtOH 70%	0,570	104,43	424,10±6,26
EEP ₂ -EtOH 70%	0,557	101,98	
EEP ₃ -EtOH 70%	0,575	105,38	

EEP ₁ -EtOH 80%	0,601	110,28	429,40±17,75
EEP ₂ -EtOH 80%	0,561	102,74	
EEP ₃ -EtOH 80%	0,558	102,17	
Extractele obținute prin aplicarea ultrasunetului			
EEP ₁ -EtOH 60%	0,407	73,68	329,41±22,45
EEP ₂ -EtOH 60%	0,460	83,68	
EEP ₃ -EtOH 60%	0,458	83,30	
EEP ₁ -EtOH 70%	0,540	98,77	418,34±12,18
EEP ₂ -EtOH 70%	0,560	102,55	
EEP ₃ -EtOH 70%	0,573	105,00	
EEP ₁ -EtOH 80%	0,287	51,04	203,70±33,17
EEP ₂ -EtOH 80%	0,233	40,85	
EEP ₃ -EtOH 80%	0,319	57,08	

Fig. 2. Conținutul total de polifenoli a extractelor de propolis analizate.



Conținutul total de polifenoli analizat în extractele etanolice de propolis variază de la 203,70 până la 429,40 mg GAE/g în funcție de concentrația solventului utilizat, metoda de extracție aplicată, condițiile de extracție și dimensiunea particulelor de propolis brut utilizat. Analiza datelor prezentate în Tabelul 1 și Figura 2 relevă că concentrația EtOH de 70% este cea mai optimă, pentru extragerea compușilor polifenolici pentru ambele metode de extracție.

Deși conținutul total de polifenoli în cazul extracției cu EtOH de 80% la macerare este mai mare și constituie 429,40 mg GAE/g, această diferență este nesemnificativă față de conținutul total de polifenoli în cazul extractelor de propolis cu EtOH de 70% obținute prin ambele metode. În același timp cel mai mic conținut total de polifenoli a fost identificat în extractul de propolis cu EtOH de 80% la extracția cu ultrasunet, ceea ce poate fi explicat prin faptul că condițiile de extracție și concentrația solventului utilizat au dus la degradarea anumitor compuși polifenolici.

Determinarea activității antioxidante

Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 2 și Tabelul 3. Punctul zero se determină adăugând în cuvă 3,3 mL soluție DPPH și 0,7 mL de alcool etilic de concentrația utilizată pentru extracție.

Tabelul 2. Variația în timp a absorbanței soluției ce conține DPPH la interacțiunea cu extractul etanolic de propolis obținut la macerare.

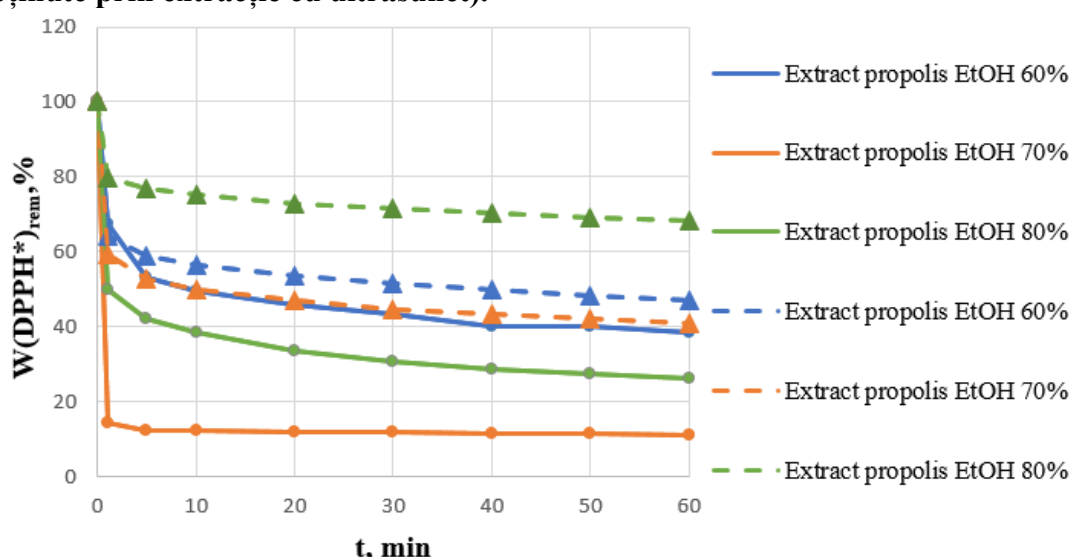
Timpul, min	0	1	5	10	20	30	40	50	60
Extract de propolis cu EtOH 60%									
A ₅₁₇ EEP ₁	0,531	0,370	0,324	0,298	0,268	0,248	0,233	0,222	0,207
A ₅₁₇ EEP ₂	0,531	0,365	0,256	0,254	0,252	0,252	0,252	0,252	0,251
A ₅₁₇ EEP ₃	0,531	0,340	0,270	0,236	0,211	0,195	0,169	0,168	0,157
A ₅₁₇ medie	0,531	0,358	0,283	0,262	0,243	0,231	0,214	0,214	0,205
AA,%		32,58	46,69	50,66	54,23	56,50	59,70	59,70	61,40
W(DPPH*) _{rem} ,%	100	67,42	53,29	49,34	45,76	43,50	40,30	40,30	38,60
Extract de propolis cu EtOH 70%									
A ₅₁₇ EEP ₁	0,567	0,075	0,067	0,064	0,063	0,062	0,062	0,061	0,061
A ₅₁₇ EEP ₂	0,567	0,078	0,065	0,063	0,061	0,061	0,061	0,061	0,060
A ₅₁₇ EEP ₃	0,567	0,091	0,084	0,083	0,079	0,079	0,077	0,077	0,072
A ₅₁₇ medie	0,567	0,081	0,072	0,070	0,067	0,067	0,066	0,066	0,064
AA,%		85,71	87,30	87,65	88,18	88,18	88,36	88,36	88,71
W(DPPH*) _{rem} ,%	100	14,29	12,30	12,35	11,82	11,82	11,64	11,64	11,29
Extract de propolis cu EtOH 80%									
A ₅₁₇ EEP ₁	0,565		0,277	0,256		0,211	0,199	0,190	0,188
A ₅₁₇ EEP ₂	0,565		0,238	0,217		0,174	0,160	0,148	0,139
A ₅₁₇ EEP ₃	0,565		0,201	0,175		0,139	0,131	0,125	0,121
A ₅₁₇ medie	0,565		0,238	0,216		0,174	0,163	0,154	0,149
AA,%			57,88	61,77		69,20	71,15	72,74	73,63
W(DPPH*) _{rem} ,%	100		42,12	38,23		30,80	28,85	27,26	26,37

Tabelul 3. Variația în timp a absorbanței soluției ce conține DPPH la interacțiunea cu extractul etanolic de propolis obținut prin extracție cu ultrasunet.

Timpul, min	0	1	5	10	20	30	40	50	60
Extract de propolis cu EtOH 60%									
A ₅₁₇ EEP ₁	0,572	0,363	0,335	0,321	0,303	0,292	0,282	0,273	0,265
A ₅₁₇ EEP ₂	0,572	0,365	0,334	0,320	0,302	0,292	0,283	0,275	0,268
A ₅₁₇ EEP ₃	0,572	0,374	0,346	0,332	0,315	0,304	0,293	0,285	0,277
A ₅₁₇ medie	0,572	0,367	0,338	0,324	0,306	0,296	0,286	0,277	0,270
AA,%		35,84	40,91	43,35	46,50	48,25	50,00	51,57	52,80
W(DPPH*) _{rem} ,%	100	64,16	59,09	56,64	53,50	51,75	50,00	48,43	47,20
Extract de propolis cu EtOH 70%									
A ₅₁₇ EEP ₁	0,567	0,356	0,327	0,313	0,297	0,285	0,277	0,269	0,261
A ₅₁₇ EEP ₂	0,567	0,418	0,400	0,389	0,378	0,369	0,363	0,357	0,351
A ₅₁₇ EEP ₃	0,567	0,239	0,174	0,149	0,125	0,110	0,099	0,092	0,086
A ₅₁₇ medie	0,567	0,337	0,300	0,283	0,266	0,254	0,246	0,239	0,232
AA,%		40,56	47,09	50,09	53,09	55,20	56,60	57,85	59,08
W(DPPH*) _{rem} ,%	100	59,44	52,91	49,91	46,91	44,80	43,40	42,15	40,92

Extract de propolis cu EtOH 80%									
$A_{517}EEP_1$	0,541		0,409	0,402		0,379	0,372	0,366	0,360
$A_{517}EEP_2$	0,541		0,436	0,428		0,411	0,405	0,399	0,394
$A_{517}EEP_3$	0,541		0,407	0,396		0,373	0,366	0,359	0,353
Absorbanța medie	0,541		0,417	0,408		0,387	0,381	0,374	0,369
AA, %			22,92	24,58		28,47	29,57	30,87	31,79
$W(DPPH^*)_{rem}, \%$	100		77,08	75,42		71,53	70,43	69,13	68,21

Fig. 3. Curbele cinetice de consum a DPPH-lui (%) (cu linii sunt prezentate curbele cinctice pentru extractele obținute prin macerare, iar cu linii întrerupte sunt prezentate curbele cinetice pentru extractele obținute prin extracție cu ultrasunet).



Activitate antioxidantă cea mai înaltă din extractele de propolis analizate o posedă extractul de propolis cu EtOH 70% obținut prin macerare, ceea ce poate fi confirmat prin analiza curbelor cinetice de consum a DPPH-ului în timp Figura 3, astfel cu cât conținutul remanent de DPPH este mai mic cu atât activitatea antioxidantă este mai mare.

Concluzii

Analiza datelor conținutului total de polifenoli exprimați în mg GAE/g relevă că alcoolul etilic cu concentrația de 70% este solvenul optim utilizat pentru a extrage compușii polifenolici prin ambele metode de extracție. Activitatea antioxidantă este cea mai pronunțată în cazul extractului de propolis cu concentrația alcoolului etilic de 70% obținut prin macerare $AA_{60min}=88,71\%$, iar pentru extractul obținut prin extracție cu ultrasunet $AA_{60min}=59,08\%$, astfel ambele metode de extracție pot fi utilizate pentru a obține extract etanolic de propolis cu un conținut sporit de polifenoli și activitate antioxidantă înaltă. Pentru utilizarea ulterioară a extractului de propolis ca ingredient activ a unui produs cosmetic sau farmaceutic se recomandă standardizarea acestuia.

Referințe:

1. ŠURAN, J., CEPANEC, I., MASEK, T., RADIC, B., RADIC, S., TLAČ, G.I., VLAINIC, J. *Propolis Extract and Its Bioactive Compounds-From Traditional to Modern Extraction Technologies*. In: *Molecules*, 2021, Vol. 26(10): 2930, p.1-2. DOI: 10,3390/molecules26 102930
2. SYED SALLEHSNA, M. HANAPIAH, N., AHMAD, H., WAN JOHARI, W. L., OSMAN, N. H., MAMAT, M. R. *Determination of Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity and GC-MS Analysis of Malaysian Stingless Bee Propolis Water Extracts*. In: *Scientifica (Cairo)*, 2021, p.1-2. DOI:10.1155/2021/3789351

3. PAZIN, W. M., MONACO, EGEA SOARES, A. E., MIGUEL, F. G., BERRETTA, A. A., ITO, A. S. *Antioxidant activities of three stingless bee propolis and green propolis types*. In: *Journal of Apicultural Research*, 2017, Vol. 56 (1), p.40–49. DOI: <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1263496>
4. GALEOTTI, F., MACCARI, F., FACHINI, A., VOLPI, N. *Chemical Composition and Antioxidant Activity of Propolis Prepared in Different Forms and in Different Solvent Useful for Finished Products*. In: *Foods*, 2018, Vol. 7(3), p. 41. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods7030041>
5. CIOBANU, C., GURANDA, D., CIOBANU, N., COJOCARU-TOMA, M., SOLONARI, R. *Obținerea și determinarea activității antioxidante a extractelor polifenolice din propolis*. În: *Sănătate Publică, Economie și Management în Medicină*, 2021, Vol. 2(89), p. 4-8. ISSN 1729-8687. DOI: [doi.org/10.52556/2587-3873.2021.2\(89\).01](https://doi.org/10.52556/2587-3873.2021.2(89).01)
6. KUPINA, S., FIELDS, C., ROMAN, M. C., BRUNELLE, S. L. *Determination of Total Phenolic Content Using the Folin-C Assay: Single-Laboratory Validation, First Action 2017*. Vol. 13. In: *Journal of AOAC International* 2019. DOI: [10.5740/jaoacint.2017.13](https://doi.org/10.5740/jaoacint.2017.13)
7. GONZALEZ-MONTIEL, L., FIGUEIRA, A. C., MEDINA-PEREZ, G., FERNANDEZ-LUQUENO, F., AGUIRRE-ALVAREZ, G., PEREZ-SOTO, E., PEREZ-RIOS, S., CAMPOS-MONTIEL, R. G. *Bioactive Compounds, Antioxidant and Antimicrobial Activity of Propolis Extracts during In Vitro Digestion*. In: *Applied Science*, 2022, Vol. 12(15), 7892, p. 3. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12157892>
8. MUNTEANU, I. G., APETREI, C. *Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review*. In: *International Journal of Molecular Science*. 2021. Vol. 22(7):3380. p.23. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>
9. ANNU, A. A., SHAKEEL, A. *Eco-friendly natural extract loaded antioxidative chitosan/polyvinyl alcohol based active films for food packaging*. In: *Heliyon*, 2021, Vol. 7(3), p. 3. DOI: [10.1016/j.heliyon.2021.e06550](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06550)

Date despre autori:

Carolina GRIGORAȘ, doctorandă, Școala Doctorală Științe Biologice, Geomice, Chimice și Tehnologice, Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0009-0006-7123-7453

E-mail: carolina.grigoras@usm.md

Maria GONȚA, dr. hab., prof. univ., Universitatea de Stat din Moldova.

ORCID: 0000-0003-3476-0967

E-mail: mvgonta@yahoo.com

Prezentat la 28.03.2024

CUPRINS

Științe biologice

*Galina LUPAȘCU, Svetlana GAVZER,
Nicolae CRISTEA, Lucian LUPAȘCU,
Eugenia STÎNGACI, Marina ZVEAGHINȚEVA,
Serghei POGREBNOI, Fliur MACAEV*
ACTIVITATEA ANTIMICROBIANĂ
A UNOR DERIVAȚI VINIL-TRIAZOLICI

*Maria ZAMORNEA, Dumitru ERHAN,
Ștefan RUSU, Oleg CHIHAI,
Olesea GLIGA, Nicolai BOTNARU*
INFESTAȚII CU SPECII DE NEMATODE
LA FAZANUL COMUN
(PHASIANUS COLCHICUS L.)
ȘI PREPELIȚE (COTRUNIX COTRUNIX L.)
DIN REPUBLICA MOLDOVA

Leonid VOLOȘCIUC, Mihail BATCO
REALIZĂRI BIOTEHNOLOGICE
ÎN COMBATEREA
INSECTELOR DĂUNĂTOARE

*Dumitru BULAT, Denis BULAT, Elena ZUBCOV,
Lucia BILEȚCHI, Nicolae ȘAPTEFRĂȚI,
Antoaneta ENE, Neculai PATRICHE*
ANALIZĂ A DESCOPERIRILOR RECENTE
PRIVIND IHTIOFAUNA DIN RÂUL PRUT,
REPUBLICA MOLDOVA

Nina FULGA, Denis BULAT, Dumitru BULAT
МОРФОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ
ХАРАКТЕРИСТИКА ГОНАД
У САМОК ПРОХОДНОЙ
ЧЕРНОМОРСКО-АЗОВСКОЙ СЕЛЬДИ
ALOSA IMMACULATA
В СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЯХ НИЖНЕГО ДНЕСТРА
В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

*Iurie BACALOV, Aurelia CRIVOI, Elena CHIRIȚA,
Adriana DRUȚA, Lidia COJOCARI*
EVALUAREA UNOR INDICI FIZIOLOGICI
LA COPIII CU RAHITISM

Nina CIOCĂRLAN
ASTERACEE MEDICINALE ALOHTONE
INTRODUSE ȘI CERCETATE
ÎN GRĂDINA BOTANICĂ NAȚIONALĂ
(INSTITUT) „AL. CIUBOTARU”

Petru CUZA
EVALUAREA DISTRIBUȚIEI
ÎNĂLȚIMEA-DIAMETRUL COROANELOR
LA STEJARUL PEDUNCULAT
(QUERCUS ROBUR)
ȘI A PERFORMANȚEI MODELELOR
DE REGRESIE

SUMMARY

Biological sciences

- 3 ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF SOME VINYL-TRIAZOLE DERIVATIVES
- 13 INFESTATIONS WITH NEMATODE SPECIES IN THE COMMON PHEASANT (PHASIANUS COLCHICUS L.) AND QUAILS (COTRUNIX COTRUNIX L.) FROM THE REPUBLIC OF MOLDOVA
- 18 BIOTECHNOLOGICAL ACHIEVEMENTS IN COMBATING PEST INSECTS
- 30 REVIEW OF THE RECENT FINDINGS ON THE ICHTHYOFAUNA OF THE PRUT RIVER, REPUBLIC OF MOLDOVA
- 42 MORPHOFUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE GONADS IN FEMALES OF THE PONTIC SHAD ALOSA IMMACULATA IN MODERN ECOLOGICAL CONDITIONS OF THE LOWER DNISTER IN THE SPRING-SUMMER PERIOD
- 47 ASSESSMENT OF SOME PHYSIOLOGICAL INDICES IN CHILDREN WITH RICKETS
- 56 ALLOTHONOUS MEDICINAL ASTERACEAE SPECIES INTRODUCED AND STUDIED IN THE NATIONAL BOTANICAL GARDEN (INSTITUTE) „AL. CIUBOTARU”
- 65 ASSESSMENT OF CROWN HEIGHT-DIAMETER DISTRIBUTION IN PEDUNCULATE OAK (QUERCUS ROBUR) AND THE PERFORMANCE OF REGRESSION MODELS

- Anastasia BABILEVA, Tudor STRUTINSCHI,
Ion MEREUȚĂ*
INFLUENȚA RAȚIILOR ALIMENTARE
ÎN RAPORT CU TIPUL HIPERSTENIC
DE CONSTITUȚIE ASUPRA
ACTIVITĂȚII ENZIMELOR
PROTEOLITICE ȘI AMILOLITICE 75 THE INFLUENCE OF NUTRIENTS
IN RELATION TO THE
HYPERSTHENIC TYPE OF CONSTITUTION
ON THE ACTIVITY OF PROTEOLITIC
AND AMYLOLYTIC ENZYMES
- Valentina BULIMAGA, Liliana ZOSIM,
Alina TROFIM, Daniela ELENCIUC,
Valeriu RUDIC, Greta BALAN*
SUBSTANȚE BIOACTIVE
CU ACTIVITATE ANTIBACTERIANĂ
ANTIVIRALĂ ȘI ANTIFUNGICĂ
OBȚINUTE DIN CIANOBACTERII 81 BIOACTIVE SUBSTANCES WITH
ANTIBACTERIAL ANTIVIRAL
AND ANTIFUNGAL ACTIVITY
OBTAINED FROM CYANOBACTERIA
- Sergiu DOBROJAN*
PERSPECTIVA UTILIZĂRII ALGELOR
ÎN CALITATE DE BIOFERTILIZANT
LA CULTIVAREA PLANTELOR
AROMATICE ȘI MEDICINALE 93 THE PERSPECTIVE OF THE USE
OF ALGAE AS A BIOFERTILIZER
IN THE CULTIVATION OF AROMATIC
AND MEDICINAL PLANTS
- Veronica FLORENȚA, Corina CERTAN,
Nadejda GRABCO, Constantin BULIMAGA*
RELAȚIILE DINTRE SERVICIILE
ECOSISTEMICE FURNIZATE DE
ECOSISTEMELE FORESTIERE
ȘI BUNĂSTAREA UMANĂ 100 RELATIONSHIPS BETWEEN
ECOSYSTEM SERVICES
PROVIDED BY FOREST ECOSYSTEMS
AND HUMAN WELL-BEING
- Ion MUNTEANU*
MECANISM DE INACTIVARE
A AGENȚILOR PATOGENI
CU APLICARE ÎN IMPLANTOLOGIE 109 PATHOGEN INACTIVATION
MECHANISM WITH APPLICATION
IN IMPLANTOLOGY
- Anastasia GARBUZNEAC,
Vladimir ȘEPTIȚCHI, Ana LEORDA,
Svetlana BURȚEVA, Maxim BÎRSA*
ÎNVĂȚAREA SPAȚIALĂ ȘI
MEMORIA ȘOBOLANILOR ALBI
ÎN LABIRINTUL RADIAL
CU OPT BRAȚE
SUB INFLUENȚA BIOMASEI
DE STREPTOMICETE IZOLATE
DIN SOLURILE REPUBLICII MOLDOVA 116 SPATIAL LEARNING
AND MEMORY OF WHITE RATS
IN THE EIGHT-ARM RADIAL MAZE
UNDER THE INFLUENCE
OF THE BIOMASS OF STREPTOMYCETES
ISOLATED FROM THE SOILS OF THE
REPUBLIC OF MOLDOVA
- Виктория ЕРОШЕНКОВА*
ФЛОРА ПРИБРЕЖНО-ВОДНОЙ
ПОЛОСЫ НИЖНЕГО УЧАСТКА
РЕКИ ДНЕСТР И ЕЕ ПРИТОКОВ
НА ТЕРРИТОРИИ
РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА 127 FLORA OF THE RIVERSIDE-WATER SIDE
OF THE LOWER SECTION OF THE
DNIEST RIVER AND ITS TRIBUTARIES
ON THE TERRITORY OF
THE REPUBLIC OF MOLDOVA
- Alina TROFIM, Valentina BULIMAGA,
Liliana ZOSIM, Daniela ELENCIUC,
Valeriu RUDIC*
CIANOBACTERIIE- SURSE
DE COMPUȘI BIOACTIVI
CU PROPRIETĂȚI ANTIOXIDANTE 137 CYANOBACTERIA- SOURCES
OF BIOACTIVE COMPOUNDS
WITH ANTIOXIDANT PROPERTIES

- Irina PUNGA*
IMPACTUL IMPLEMENTĂRII
MECANISMULUI DE EVALUARE A
BIODIVERSITĂȚII -
STUDIU DE CAZ,
REPUBLICA MOLDOVA 147 THE IMPACT OF IMPLEMENTING
THE BIODIVERSITY
ASSESSMENT MECHANISM -
CASE STUDY
REPUBLIC OF MOLDOVA
- Alina GÎSCĂ*
INFLUENȚA
BIOSTIMULATORULUI REGLALG
ȘI MICROELEMENTELOR
ASUPRA PRODUCTIVITĂȚII
FOTOSINTETICE
A SOIURILOR DE PRUN
DE SELECȚIE AUTOHTONĂ ȘI STRĂINĂ 153 THE INFLUENCE OF
THE REGLALG BIOSTIMULATOR
AND MICRO ELEMENTS
ON THE PHOTOSYNTHETIC
PRODUCTIVITY
OF NATIVE AND FOREIGN
PLUM VARIETIES
- Aliona ISAC*
CARACTERIZAREA CONDIȚIILOR
GEOGRAFICE ALE BAZINULUI
RÂULUI BOTNA ÎN RAPORT
CU SCHIMBĂRILE GLOBALE 159 CHARACTERIZATION OF THE
GEOGRAPHICAL CONDITIONS
OF THE BOTNA RIVER BASIN
IN RELATION TO GLOBAL CHANGES
- Валентина СВЕТЛИЧЕНКО*
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ХРАНЕНИЯ
НА ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА
ПЛОДОВ ЯБЛОНИ 164 INFLUENCE OF STORAGE
CONDITIONS ON CHANGES
IN SOME QUALITY INDICATORS
OF APPLE TREE FRUITS
- Aliona PÎNTEA, Andrei CIURSIN,
Roman RUSNAC, Aurelian GULEA*
COMBINAȚII COORDINATIVE
ALE Cu(II) ÎN BAZA
N-HEXIL-2-[(PIRIDIN-2-IL)
METILIDEN]
HIDRAZINE-1-CARBOTIOAMIDEI:
PROIECTARE, SINTEZĂ,
EVALUAREA PROPRIETĂȚILOR
ANTIMICROBIENE ȘI ANTIFUNGICE 168 COORDINATION COMPOUNDS OF
Cu(II) WITH
N-HEXYL-2-[(PYRIDIN-2-YL)
METHYLIDENE]
HYDRAZINE-1-CARBOTIOAMIDE:
DESIGN, SYNTHESIS, EVALUATION
OF ANTIMICROBIAL AND
ANTIFUNGAL PROPERTIES
- Maria DUCA, Steliana CLAPCO,
Ana MUTU, Rodica MARTEA*
ABORDĂRI METODOLOGICE
ÎN STUDIUL STRESULUI
HIDRIC LA PLANTE 178 METHODOLOGICAL APPROACHES
IN THE STUDY OF HYDRIC STRESS
IN PLANTS
- Natalia BURACINSCHI, Ion ROȘCA,
Mihai MĂRZA*
FLORA SINANTROPĂ
NECULTIVATĂ A PARCULUI SILVIC
„LUNCA GÂȘTEI”
DIN ORAȘUL CHIȘINĂU 190 UNCULTIVATED SYNANTROPIC FLORA
A FORESTRY PARK
„LUNCA GAȘTEI”
IN THE CITY OF CHISINAU
- Vladislav GRATI, Iurie BEJAN,
Sabina GRATI*
COMPOZIȚIA ARBORETELOR
DIN CODRII STRĂȘENILOR
COMPARATIV CU POTENȚIALUL
PRODUCTIV AL TERENULUI 197 THE COMPOSITION OF TREES
FROM STRASENI FOREST
COMPARED WITH THE
PRODUCTIVE POTENTIAL

*Vladislav GRATI, Iurie BEJAN,
Tatiana NAGACEVSCHI, Tatiana BUNDUC*
 CHARACTERIZAREA FACTORULUI EDAFIC 203 CHARACTERIZATION OF THE
 ÎN CARE VEGETEAZĂ EDAPHIC FACTOR IN
 SPECIILE FORESTIERE DIN CADRUL WHICH WITHIN THE STRASENI
 ENTITĂȚII SILVICE STRĂȘENI FORESTRY ENTITY

Științe chimice

Chemical sciences

*Gheorghe DUCA, Maria SANDU,
Viorica GLADCHI, Angela LIS,
Vladislav BLONSCHI*
 CAPACITATEA DE AUTOPURIFICARE 218 THE BIOLOGICAL SELF-PURIFICATION
 BIOLOGICĂ A APELOR CAPACITY OF NATURAL
 NATURALE ȘI UZATE PRIN EVALUAREA AND WASTE WATERS BY ASSESSING
 RAPORTULUI DINTRE POLUANȚII THE RATIO BETWEEN BIODEGRADABLE
 BIODEGRADABILI ȘI CEI TOXICI AND TOXIC POLLUTANTS

*Максим ЧИСТЯКОВ, Владислав БЛОНСКИ,
Виорика ГЛАДКИ*
 ВЛИЯНИЕ ВИТАМИНА В12 230 INFLUENCE OF VITAMIN B12
 НА ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ON CHEMICAL SELF-PURIFICATION
 САМООЧИЩЕНИЯ ВОДНЫХ СИСТЕМ PROCESSES OF WATER SYSTEMS

*Ianina GRAUR, Mihail MAXIM,
Vasilii GRAUR, Victor TSAPKOV,
Aurelian GULEA, Olga GARBUZ*
 STUDIUL ACTIVITĂȚII 239 EXPLORING THE ANTIOXIDANT
 ANTIOXIDANTE A ACTIVITY OF 1-(PIPERIDIN-1-YL)
 4-FENILTIOSEMICARBAZONEI PROPANE-1,2-DIONE4-PHENYLTHIOSEMI-
 1-(PIPERIDIN-1-IL)PROPAN-1,2-DIONEI CARBAZONE AND 3d METAL
 ȘI A COMPUȘILOR COORDINATIVI COORDINATION COMPOUNDS
 AI METALELOR 3d CU ACEST LIGAND WITH THIS LIGAND

Carolina GRIGORAȘ, Maria GONȚA
 CONȚINUTUL TOTAL 247 TOTAL POLYPHENOL CONTENT
 DE POLIFENOLI ȘI ACTIVITATEA AND ANTIOXIDANT
 ANTIOXIDANTĂ A EXTRACTELOR ACTIVITY OF ETHANOLIC
 ETANOLICE DE PROPOLIS PROPOLIS EXTRACTS

Adresa redacției:
str. A. Mateevici, 60
MD 2009, Chișinău, Republica Moldova
Tel. (37322) 24 22 53;
e-mail: studia.universitatis@usm.md
web: <https://studiamsu.md/>

Formatul 60x84 ^{1/8}.
Coli de tipar 26,3. Coli editoriale 21,0.
Comanda 160. Tirajul 100 ex.
Centrul Editorial-Poligrafic al USM
str. Al.Mateevici, 60. Chișinău, MD 2009