**CZU: 582.263:631.461.5** **https://doi.org/10.59295/sum1(181)2025_25**

# ANALIZA PROCESULUI DE CREȘTERE ȘI DE FIXARE BIOLOGICĂ A AZOTULUI DE CĂTRE CIANOBACTERIA *NOSTOC PUNCTIFORME* (HARIOT) ELENKIN, CULTIVATĂ PE DIFERITE MEDII NUTRITIVE

***Sergiu DOBROJAN, Galina DOBROJAN,***
*Universitatea de Stat din Moldova*

În prezentul articol sunt prezentate rezultatele analizei procesului de creștere și fixare biologică a azotului atmosferic, realizat de cianobacteria *Nostoc punctiforme*, cultivată pe mediile nutritive M.S. Taha (M), Kratz și Myers (C), Detmer modificat (De) și Drew (Dr). Cea mai mare cantitate de biomasă, s-a atestat la cultivarea cianobacteriei pe mediul nutritiv De, iar cea mai mică pe mediul Dr, la fel ca și valorile vitezei de reproducere și ale coeficientului de reproducere. La cultivarea cianobacteriei pe mediile nutritive studiate, pH-ul are tendința de alcalinizare. Cea mai mare cantitate de azot atmosferic fixat s-a constatat la cultivarea pe mediile nutritive De și M, în a șasea zi de experiment, iar cultivarea pe mediul nutritiv Dr a prezentat cea mai redusă intensitate. Astfel, s-a constatat că fixarea biologică a azotului atmosferic, realizată de *N. punctiforme*, se supune legitimității „*autoreglării cantitative a azotului*".

***Cuvinte-cheie:*** *cianobacterie,* Nostoc punctiforme*, creștere, fixarea azotului.*

## ANALYSIS OF THE PROCESS OF GROWTH AND BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION BY CYANOBACTERIA *NOSTOC PUNCTIFORME* (HARIOT) ELENKIN, CULTIVATED ON DIFFERENT NUTRITIONAL MEDIUMS

This article presents the results of the analysis of the process of growth and biological fixation of atmospheric nitrogen, carried out by the cyanobacterium *Nostoc punctiforme*, cultivated on the nutrient media M.S. Taha (M), Kratz and Myers (C), modified Detmer (De) and Drew (Dr). The highest amount of biomass was attested when cultivating the cyanobacterium on the nutrient medium De, and the lowest on the medium Dr, as well as the values of the reproduction rate and the reproduction coefficient. When cultivating the cyanobacterium on the nutrient media studied, the pH tends to alkalize. The highest amount of fixed atmospheric nitrogen was found when cultivating on the nutrient media De and M, on the sixth day of the experiment, and cultivation on the nutrient medium Dr presented the lowest intensity. Thus, it was found that the biological fixation of atmospheric nitrogen, carried out by *N. punctiforme*, is subject to the legitimacy of *"quantitative nitrogen self-regulation"*.

***Keywords:*** *cyanobacteria, Nostoc punctiforme, growth, nitrogen fixation.*

### Introducere

Cianobacterile sunt un grup foarte vechi de microorganisme care au apărut pe Terra cu aproximativ 3-3,5 miliarde de ani în urmă, fiind unele dintre cele mai primitive autotrofe. Printre speciile de cianobacterii, anterior numite alge albastre-verzi, un loc aparte îl ocupă specia *Nostoc punctiforme* (Hariot).

*Nostoc punctiforme* prezintă interes în cercetările algologice și biotehnologice, în special datorită faptului că această cianobacterie habitează în cele mai diferite condiții de existență (în apă, pe sol, endofiton în țesuturile unor plante și licheni). În special, cianobacteria habitează în apele stătătoare, este epifită pe plante, pe scoarța arborilor (în special a plopilor), pe seva care curge din rănile copacilor și pe soluri.

Coloniile cianobacteriei sunt microscopice, mici, strâns atașate de substrat, neregulat sferice, cu diametrul de aproximativ 200 μ, sau alungite, împrăștiate sau fuzionate, înconjurate de un periderm incolor, în care trihomii sunt dens împletiți. Teaca este incoloră și îngustă. Celulele sunt mai mult sau mai puțin sferice,

în formă de butoi sau elipsoidale, cu lățimea de 2,4-4,4 μ (mai rar 2-5,7 μ), albastre-verzi. Heterocistele sunt mai mult sau mai puțin sferice, cu diametrul de 4-6,5 μ. Sporii sunt aproape sferici sau alungiți, cu lățimea de 3,2-6 μ și lungimea de 5-8 μ, având membrana netedă, incoloră sau ușor gălbuie.

Această specie, în afară de divizarea obișnuită a celulelor, se mai divizează vegetativ prin desprinderea lanțurilor de celule din filament în celule individuale „*coci*”, care pot fi solitare sau pot forma conglomerate înconjurate de o teacă comună. Cocii, în condiții optime, cresc și formează colonii noi compacte, înconjurate de mucilagiu comun [11].

*Nostoc punctiforme* prezintă interes în cercetări datorită proprietăților sale de fotosinteză, fixare a azotului atmosferic și facilitării dezvoltării microorganismelor la aplicarea în calitate de biofertilizant. O proprietate importantă a acestei specii este capacitatea de a utiliza atât azot organic, cât și azot anorganic. Azotul anorganic este utilizat în următoarea ordine ierarhică: $NH_4^+ > NO_3^- > N_2$. Flexibilitatea în utilizarea diferitelor surse de azot pentru creștere permite ca *N. punctiforme* să colonizeze și să concureze cu fototrofele în habitate iluminate, indiferent de sursa specifică de azot. *N. punctiforme* se numără printre numărul limitat de cianobacterii care pot crește în întuneric continuu ca heterotrofe respiratoare atunci când li se furnizează surse de zaharoză, glucoză sau fructoză, deși rata de creștere este mai mică de jumătate comparativ cu cea a culturii fotoautotrofe [4; 8-9 ].

Se menționează că *Nostoc punctiforme* este unul dintre cei mai răspândiți simbionți din genul *Nostoc*, conviețuind cu unele plante superioare (Gunnera, Cycadeae) și cu licheni inferioare din genurile *Peltigera, Pannaria, Stictina.* Cianobacteria colonizează cu succes o gamă largă de plante gazdă, inclusiv *Anthoceros punctatus* erbacee angiosperme din genul *Gunnera* și, mai recent, orez [1; 5-6]. Colonizarea plantelor de către *Nostoc punctiforme*, în unele cazuri, are ca efect creșterea imunității plantelor și a rezistenței față de factorii patogeni. Mai mult, rădăcinile plantelor inoculate cu *N. punctiforme* prezintă atât prezența heterocisturilor, cât și activitate azotazică, rezultând în promovarea creșterii plantelor în condiții de deficit de azot și oferind astfel beneficii plantei [3].

Cercetările recente au demonstrat că biomasa de *Nostoc punctiforme* este capabilă să protejeze împotriva decesului celular programat (PCD) al culturii de *Arabidopsis thaliana*. Interesant este că reducerea PCD a fost precedată de inducerea genei asociate cu apărarea și imunitatea, dintre care cei mai izbitori au fost o serie de factori de transcripție. Astfel, s-a demonstrat că cianobacteria *N. punctiforme* protejează celulele de *Arabidopsis thaliana* împotriva morții programate [2]. Specia este răspândită în Europa (regiunea Leningrad, Moscova, Ivanovsk, Ucraina, Republica Moldova), Asia, Siberia și alte regiuni geografice ale lumii. Nostoc punctiforme prezintă interes de utilizare ca biofertilizant, în primul rând datorită capacității majore de fixare a azotului atmosferic, care depășește cu mult alte specii de cianobacterii azotfixatoare (precum *Stratonostoc linkia, Amorphonostoc paludosum, Plectonema nostocorum*) [12].

Pentru obținerea biomasei de *Nostoc punctiforme* cu potențial de utilizare în practică, este necesar ca, în condiții de laborator, să se identifice metoda de cultivare, mediul nutritiv și condițiile optime (iluminare, agitare, temperatură etc.). Unul dintre principalii factori care determină acumularea biomasei cianobacteriene este selectarea mediului nutritiv optim de cultivare și, de aceea, ne-am propus ca, în prezentul studiu, să selectăm mediul nutritiv optim pentru *n. punctiforme* în scopul obținerii unei biomase majore, care ulterior va putea fi valorificată în diverse domenii.

**Metode şi materiale aplicate**

Tulpina cianobacteriei *Nostoc punctiforme* utilizată în experimente face parte din colecția LCȘ „Algologie V. Șalaru” a Universității de Stat din Moldova. Cianobacteria a fost cultivată, conform metodei periodice, pe medii nutritive specifice: M.S. Taha (M), Kratz și Myers (C), Detmer modificat (De), Drew (Dr) cu componența indicată în tab. 1.

Temperatura din laboratorul de cultivare pe parcursul experimentelor a fost de 25 °C, iluminarea continuă de 3000 lux, iar probele experimentale nu au fost agitate periodic. Experimentele au fost efectuate în baloane Erlenmeyer cu un volum de 100 ml, volumul mediului nutritiv fiind de 100 ml, iar cantitatea inoculului algal de 0,04 g (sau 0,4 g/l). Toate experimentele au fost realizate în trei repetări.

**Tabelul 1. Componența mediilor nutritive utilizate la cultivarea cianobacteriei *N. punctiforme***

| Ingredientul | Mediul nutritiv | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **M** | **C** | **De** | **Dr** |
| $MgSO_4*7H_2O$, g/l | 0,25 | 0,25 | 0,55 | 0,20 |
| $Ca(NO_3)_2*4H_2O$, g/l | - | - | 1 | - |
| $K_2HPO_4$, g/l | 1,00 | 0,04 | 0,26 | 0,20 |
| KCl, g/l | - | - | 0,5 | - |
| EDTA*2Na, g/l | - | - | 0,2 | - |
| $CaCl_2*6\ H_2O$, g/l | 0,0238 | 0,0238 | - | urme |
| $FeCl_3$ | - | - | - | urme |
| $FeSO_4*7H_2O$, g/l | - | - | 0,02 | - |
| $Fe_2(SO_4)_3$, g/l | 0,003 | 0,02 | - | - |
| $Na_3C_6H_5O_7$, g/l | 0,165 | 0,165 | - | - |
| Microelemente, ml | 1 ml | 1 ml | | - |

***Notă:** 1. semul „-" indică lipsa ingredientului; 2. Componența microelmentelor pentru mediile nutritive M și C (g/l) - $H_3BO_3$ – 2,86; $MnCl_2*4H_2O$ – 1,81, $ZnSO_4*7H_2O$ – 0,222; $Na_3MoO_4*2H_2O$ – 0,252; $CuSO_4*5H_2O$ – 0,079; 3. Componența microelementelor pentru mediul D (g/l) - $H_3BO_3$ – 0,0029; $ZnCl_2$- 0,00011, $MnCl_2*4H_2O$ – 0,00181, $(NH_4)_6MoO_{24}*4H_2O$ – 0,000018; $CuSO_4*5H_2O$ – 0,00008.*

**Determinarea productivității cianobacteriei**

Productivitatea algală a fost determinată utilizând metoda diferențială, aplicată astfel: inițial, printr-un filtru curat se filtrează, utilizând pompa de extragere în vid (model VE-115 SV), un volum de 50 ml apă distilată, după care filtrul se cântărește pe un cântar analitic (Axis). După cântărire, prin același filtru se filtrează (cu ajutorul pompei de extragere în vid) mediul nutritiv cu biomasa algală.

Productivitatea algală (P) a fost determinată utilizând următoarea formulă:

P = (Mfb-Mfg∗10) / 1000 (g/l)

unde:

Mfb – masa filtrului cu biomasa algală (mg);

Mfg – masa filtrului gol prin care sa trecut apa distilată (mg);

10 – pentru recalcularea volumului la 1l;

1000 – recalculul biomasei din mg în g.

Intensitatea creșterii cianobacteriei a fost stabilită conform următorilor indicatori:

a) Viteza de creștere a populației algale (Vcp) a fost determinată conform metodei descrisă de C. Дж. Перт [13];

b) Viteza de reproducere (μ) a algei a fost determinată după criteriul stabilit de К. М. Хайлов [14];

c) Coeficientul de reproducere a algei (Cr) a fost stabilit după formula propus de М. Г. Владимиров și В. Е. Семененко [10].

pH-ul mediului nutritiv a fost determinat cu ajutorul electrodului de pH al aparatului Consort C-933. Azotul total a fost calculat prin sumarea N- total din biomasa algelor (mgN*BAU)+ $N\text{-}NH_4^+$+$N\text{-}NO_3^-$+$N\text{-}NO_2^-$ (din mediul nutritiv).

Rezultatele obținute au fost prelucrate matematic utilizând programul computerizat Microsoft Office Excel 2013, determinându-se media aritmetică (X) și eroarea standard (x).

**Rezultate obţinute şi discuţii**

Componența mediilor nutritive influențează direct procesul de creștere și dezvoltare a culturilor, fiind un element primordial care determină biomasa cianobacteriană, dar și menținerea culturii în stare pură.

**Tabelul 2. Productivitatea cianobacteriei *N. punctiforme* cultivată pe diferite medii nutritive, g/l**

| Perioada analizată, zile | Mediul nutritiv | | | |
|---|---|---|---|---|
| | M | C | De | Dr |
| **1** | 0,4±0,02 | 0,4±0,02 | 0,4±0,02 | 0,4±0,02 |
| **3** | 0,90±0,04 | 0,8±0,04 | 0,95±0,03 | 0,6±0,03 |
| **6** | 1,42±0,07 | 1,41±0,07 | 1,60±0,07 | 0,9±0,04 |
| **9** | 2,12±0,1 | 2,0±0,1 | 2,55±0,12 | 1,1±0,04 |
| **12** | 3,10±0,15 | 3,11±0,14 | 3,60±0,18 | 2,0±0,1 |

După cum se observă din datele prezentate în Tabelul 2, pe perioada analizată, cultura s-a aflat în faza exponențială de creștere în toate variantele experimentate. Cea mai mare cantitate de biomasă, 3,60±0,18 g/l, s-a atestat la cultivarea cianobacteriei pe mediul nutritiv De. Aceste rezultat se explică prin faptul că mediul nutritive în cauză are un conținut semnificativ de Ca, Mg, S, K, Fe, Na, C, fapt care a contribuit la creșterea biomasei cianobacteriene și că cianobacteria prefetă combinația dozată a elementelor chimice prezente în componența acestuia.

**Tabelul 3. Valorile indicatorilor de creştere a populație de *N. punctiforme* cultivată pe diferite medii nutritive, g/l**

| Perioada analizată, zile | Mediul nutritiv | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | M | | | C | | | De | | | Dr | | |
| | μ | Vcp | Cr | μ | Vcp | Cr | μ | Vcp | Cr | μ | Vcp | Cr |
| **3** | 0,117 | 0,250 | 2,250 | 0,100 | 0,200 | 2,000 | 0,125 | 0,275 | 2,375 | 0,058 | 0,100 | 1,500 |
| **6** | 0,066 | 0,173 | 1,577 | 0,082 | 0,203 | 1,762 | 0,075 | 0,216 | 1,684 | 0,058 | 0,100 | 1,500 |
| **9** | 0,043 | 0,233 | 1,492 | 0,038 | 0,196 | 1,418 | 0,050 | 0,316 | 1,593 | 0,021 | 0,066 | 1,222 |
| **12** | 0,055 | 0,326 | 1,462 | 0,063 | 0,370 | 1,555 | 0,049 | 0,350 | 1,411 | 0,086 | 0,300 | 1,818 |

Valorile indicatorilor de creștere a populației de *N. punctiforme* cultivate pe diferite medii nutritive atestă variații în funcție de mediul nutritiv utilizat și perioada analizată. Astfel, valorile vitezei de reproducere a cianobacteriei sunt cele mai ridicate pe mediul nutritiv De, începând cu a 3-a zi (0,125 zile$^{-1}$), când biomasa algală a înregistrat o creștere accentuată. În schimb, pe mediul nutritiv Dr, acest indice a atins valoarea de 0,086 zile$^{-1}$ abia în a 12-a zi.

Viteza de creștere a populației, la a 12-a zi de cultivare, a înregistrat cele mai mari valori în cazul mediului nutritiv C (0,370 zile$^{-1}$) și cele mai mici pe mediul nutritiv Dr (0,300 zile$^{-1}$). În ceea ce privește coeficientul de reproducere, cele mai mari valori s-au înregistrat la cultivarea cianobacteriei pe mediul De (2,375 zile$^{-1}$) în a 3-a zi, iar cele mai mici la cultivarea pe mediul Dr, unde, abia la a 12-a zi de analiză, acesta a atins valoarea maximă de 1,818 zile$^{-1}$ (tab. 3). Aceste rezultate indică faptul că mediul nutritiv De este cel mai potrivit pentru cultivarea cianobacteriei *N. punctiforme*, deoarece asigură o creștere rapidă a populației într-un timp relativ scurt.

Conform unor cercetări, pentru menținerea ciclului de dezvoltare a cianobacteriei *N. punctiforme*, este esențială asigurarea culturii cu substanțe nutritive. Dintre acestea, azotul nu poate fi considerat un factor limitativ al creșterii, deoarece, în lipsa sa din mediul nutritiv, se atestă o dezvoltare intensă a heterocistelor – celule specializate în fixarea azotului atmosferic [7].

Mai dificilă este cultivarea și obținerea unei cantități majore de biomasă cianobacteriană în condițiile limitării celorlalte substanțe biogene (P, K, Na, Mg, S, Ca și unele microelemente), deoarece acestea influențează direct productivitatea algei și activitatea sa metabolică. Această corelație s-a observat și în experimentele prezentate. De exemplu, cultura cultivată pe mediul nutritiv Dr, sărac în substanțe nutritive, a prezentat o pro-

ductivitate redusă și valori mici ale indicatorilor de creștere. În schimb, cele cultivate pe mediile nutritive De, M și C au înregistrat valori ridicate ale biomasei, deoarece aceste medii sunt bogate în substanțe nutritive.

Pentru obținerea unei biomase cianobacteriene optime, nu este suficient ca mediile nutritive să conțină cantități mari de substanțe biogene, dar este important ca acestea să fie prezente în proporții echilibrate și într-o combinație adecvată, favorabilă dezvoltării celulelor și respective intensificării proceselor de reproducere.

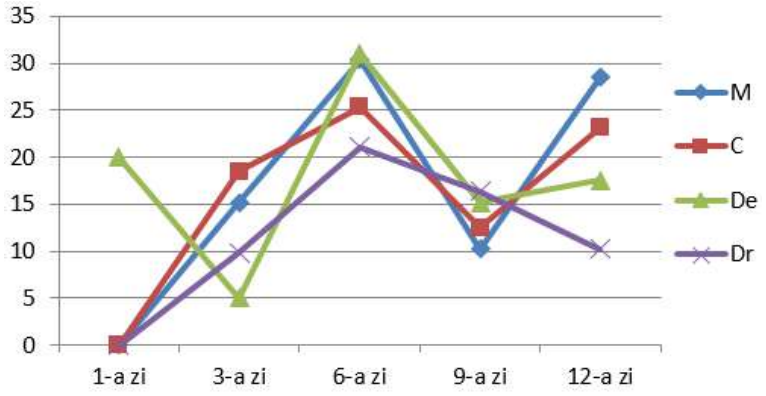



**Figura 1. Modificările pH-ului mediului nutritiv atestate la cultivarea cianobacteriei *N. punctiforme* pe diferite medii nutritive**

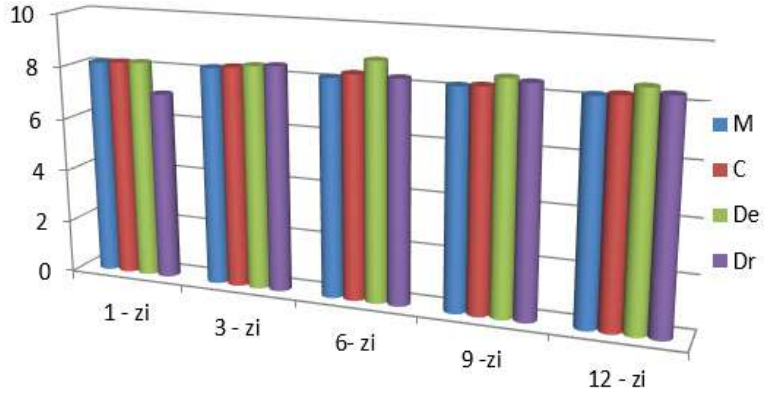



**Figura 2. Fixarea biologică a azotului atmospheric realizată de cianobacteria *N. punctiforme* la cultivarea pe diferite medii nutritive**

Un indice important, care necesită analiză, este pH-ul mediului nutritiv pe parcursul perioadei de cultivare, deoarece acesta este strâns legat de activitatea de reproducere a algelor, de răspândirea lor, de cantitatea de biomasă obținută etc. La cultivarea cianobacteriei *N. punctiforme* pe diferite medii nutritive, valorile pH-ului se modifică, având tendința de alcalinizare (Figura 1). Cele mai mari valori ale pH-ului se observă la cultivarea cianobacteriei pe mediul De (8,89) în a 6-a zi de experiment. În urma cultivării cianobacteriei pe mediul M, pH-ul crește până la 8,22 (în a 3-a zi de experiment), după care urmează o reducere treptată, alternând cu creșteri și scăderi. În cazul utilizării mediilor de cultivare Dr și C, valorile pH-ului sunt mult mai reduse și nu depășesc 8,49-8,36 (Figura 1). Aceste modificări sunt dependente de cantitatea de săruri din mediul nutritiv, de consumul acestora, de activitatea populației cianobacteriene, de metaboliții eliminați etc. Merită menționat faptul că, pe mediile unde s-au înregistrat cele mai mari valori ale pH-ului, s-a obținut și cea mai mare cantitate de biomasă cianobacteriană.

După cum se observă din datele prezentate în Figura 2, cantitatea de azot atmosferic fixat de cianobacteria cercetată variază în funcție de tipul mediului nutritiv utilizat la cultivare. Cea mai mare cantitate de azot atmosferic fixat s-a constatat la cultivarea pe mediile nutritive De și M în a șasea zi de experiment, iar cultivarea pe mediul nutritiv Dr a prezentat cea mai redusă intensitate de fixare a azotului atmosferic. Acest fapt este explicat prin compoziția substanțelor din mediul nutritiv; astfel, în cazul mediilor nutritive complexe, cu un conținut sporit de elemente stimulatoare ale nitrogenazei, procesul de fixare a azotului este mai intens, iar în cazul celor sărace în aceste substanțe, se constată o reducere a acestuia.

Este de menționat faptul că aproape pe toate mediile nutritive analizate s-a observat o oscilație cantitativă a azotului atmosferic fixat de *N. punctiforme*, caracterizată prin fixarea biologică a azotului, urmată de consumul acestuia și repetarea procesului. Această regularitate a fost confirmată și în cazul analizei procesului de fixare biologică a azotului observat la alte cianobacterii cercetate anterior de noi (*N. gelatinosum, N. flagelliforme* și *Cylindrospermum majus*).

Astfel, putem constata că procesul de fixare biologică a azotului atmosferic realizat de cianobacteria *N. punctiforme* se supune aceleiași reguli de „*autoreglare cantitativă a azotului în apă*”, specifică și altor cianobacterii azot fixatoare cercetate de noi, iar populația cianobacteriană îndeplinește funcția de menținere a echilibrului acestuia în apă.

**Concluzii**

1. Productivitatea cianobacteriei *N. punctiforme* diferă în funcție de mediile nutritive. Astfel, cultivarea cianobacteriei pe mediul Detmer asigură obținerea a 3,60±0,18 g/l de biomasă, pe mediul M.S. Taha – 3,10±0,15 g/l, pe mediul Kratz și Myers – 3,11±0,14 g/l, iar pe mediul Drew – 2,0±0,1 g/l.
2. La cultivarea cianobacteriei *N. punctiforme*, valorile pH-ului se modifică, având tendința de alcalinizare; pH-ul optim se situează între 8,22 și 8,89, asigurând obținerea celei mai mari cantități de biomasă.
3. Cele mai ridicate valori ale vitezei de reproducere, vitezei de creștere a populației și coeficientului de reproducere se înregistrează la cultivarea cianobacteriei *N. punctiforme* pe mediul nutritiv Detmer, iar cele mai reduse pe mediul nutritiv Drew. Acest fapt argumentează că mediul Detmer este cel mai potrivit pentru cultivarea tulpinii studiate. Recomandăm utilizarea mediului nutritiv Detmer pentru cultivarea industrială a cianobacteriei *N. punctiforme*, în scopul obținerii biomasei cu potențial de utilizare în agricultură, protecția mediului și alte domenii.
4. Fixarea biologică a azotului atmosferic, realizată de cianobacteria N. punctiforme cultivată pe diferite medii nutritive, oscilează. Analiza acestui proces ne-a permis să constatăm că cianobacteria posedă capacitatea de autoreglare cantitativă a azotului în apă, o caracteristică specifică și altor specii de cianobacterii.

**Bibliografie:**

1. ЕЛЕННКИН, А. А. *Синезеленые водоросли СССР,* специальная часть 1. Из. Академии Наук ССР, Москва, 1938, 984 с.
2. MEEKS, J. C., ELHAI, J., THIEL, T., POTTS, M., LARIMER, F., LAMERDIN, J., PREDKI, P., ATLAS, R. *An overview of the genome of Nostoc punctiforme, a multicellular, symbiotic cyanobacterium*. *Photosynthesis Research* 70, 2001, p. 85–106.
3. CAMPBELL, EL., MEEKS, JC. *Evidence for plant-mediated regulation of nitrogenase expression in the Anthoceros-Nostoc symbiotic association. J Gen Microbiol* 138, 1992, p. 473–480.
4. SUMMERS, ML., WALLIS, JG., CAMPBELL, EL., MEEKS, JC. *Genetic evidence of a major role for glucose-6-phosphate dehydrogenase in nitrogen fixation and dark growth of the cyanobacterium Nostoc sp. strain ATCC 29133. J Bacteriol* 177, 1995, p. 6184–6194.
5. EKMAN, M., PICOSSI, S., CAMPBELL, EL., MEEKS, JC., FLORES, E. A Nostoc punctiforme sugar transporter necessary to establish a Cyanobacterium-plant symbiosis. *Plant Physiology* 161, 2013, p. 1984-1992. https://doi.org/10.1104/pp.112.213116
6. CHIU, WL., PETERS, GA., LEVIEILLE, G., STILL, PC., COUSINS, S., OSBORNE, B., ELHAI, J. *Nitrogen deprivation stimulates symbiotic gland development in Gunnera manicata. Plant Physiology 139,* 2005, p. 224-230. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.105.064931
7. ÁLVAREZ, C., NAVARRO, JA., MOLINA-HEREDI, A FP., MARISCAL, V. *Endophytic colonization of rice (Oryza sativa L.) by the symbiotic strain Nostoc punctiforme PCC 73102. Molecular Plant-Microbe Interactions,* 2020, p. 1040-1045. DOI: https://doi.org/10.1094/MPMI-01-20-0015-SC
8. BELTON, SA. P., MCCABE, P. F., NG CARL, K. Y. *The nitrogen-fixing symbiotic cyanobacterium, Nostoc punctiforme can regulate plant programmed cell death. Biorxiv,* 2020, doi.org/10.1101/2020.08.13.249318.
9. BELTON, S., MCCABE, P. F., NG, C. K. Y. *The cyanobacterium, Nostoc punctiforme can protect against programmed cell death and induce defence genes in Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Interactions,* 2021, p. 64-74. DOI: 10.1080/17429145.2021.1891306.
10. МУЗАФВРОВ, А. М. *Значение сине-зеленых водорослей в фиксации азота воздуха*. Труд института ботаники, вып. 2, отдельный оттиск, 1953, 11 с.
11. ПЕРТ, С. Д. *Основы культивирования микроорганизмов и клеток.* Москва, „Мир”, 1978, 330 с.

12. ХАЙЛОВ, К. М. *Экологическая физиология морских планктонных водорослей (в условиях культур).* Киев, „Наукова думка”, 1971, 206 с.
13. ВЛАДИМИРОВ, М. Г., СЕМЕНЕНКО, В. Е. *Интенсивная культура одноклеточных водорослей.* М.: Изд-во АН СССР, 1962. 60 с.
14. MEEKS J. C., CAMPBELL E. L., SUMMERS M. L., WONG F. C. *Cellular differentiation in the cyanobacterium Nostoc punctiforme. Arch Microbiol,* 2002, 178, p. 395–403. DOI: 10.1007/s00203-002-0476-5.

**Date despre autori:**
***Sergiu DOBROJAN***, doctor în biologie, conf. univ., cercetător ştiinţific principal LCŞ „Algologie Vasile Şalaru”, Universitatea de Stat din Moldova.
**ORCID:** 0000-0003-0040-5836
**E-mail:** sergiudobrojan84@yahoo.com

***Galina DOBROJAN***, cercetător ştiinţific LCŞ „Algologie Vasile Şalaru”, Universitatea de Stat din Moldova.
**ORCID:** 0009-0003-1629-2220
**E-mail:**galinadobrojan87@gmail.com

*Prezentat: 03.03.2025*