STUDIA UNIVERSITATIS MOLDAVIAE
Revista științifică a Universității de Stat din Moldova, 2024, nr. 6(176)

CZU: 576.35:582.263 **https://doi.org/10.59295/sum6(176)2024_08**

UTILIZAREA PRODUCȚIEI PRIMARE ALGALE DE CĂTRE CONSUMATORII DIN VERIGILE TROFICE SUPERIOARE

Elena ROȘCOV, Ion TODERAȘ, Laurenția UNGUREANU, Daria TUMANOVA,
Universitatea de Stat din Moldova

Studiul prezintă rezultatele investigațiilor privind utilizarea speciilor de microalge Chlorella vulgaris Beijerinck 1890 și Oscillatoria amphibia C.Agardh ex Gomont 1892, ca sursă de hrană pentru populația de *Paramecium caudatum* Ehrenberg, 1834. Rezultatele demonstrează cum diferite concentrații ale culturilor de alge influențează parametrii reproducției celulare la *Paramecium caudatum*. Concentrațiile scăzute de Chlorella vulgaris stimulează creșterea, în timp ce concentrațiile mari de Oscillatoria amphibia au un efect negativ asupra populației de paramecii. Chlorella vulgaris poate fi eficientă în doze mici pentru a stimula creșterea și productivitatea pe termen scurt, în timp ce Oscillatoria amphibia, în concentrații ridicate poate afecta negativ reproducerea și diviziunea celulară. Importanța acestor constatări rezidă în înțelegerea utilizării algelor ca sursă de hrană pentru ciliate, având consecințe asupra stării ecologice a ecosistemelor acvatice și asupra sănătății populațiilor de protozoare.

Cuvinte-cheie: *microalge, Chlorophyta, Chlorella vulgaris, Cyanophyta,* Oscillatoria amphibia*, Paramecium caudatum, efectivul numeric, rata de reproducere.*

THE UTILIZATION OF ALGAL PRIMARY PRODUCTION BY CONSUMERS IN UPPER TROPHIC LEVELS

The study presents the results of investigations regarding the use of the microalgae species Chlorella vulgaris Beijerinck 1890 and Oscillatoria amphibia C. Agardh ex Gomont 1892 as a food source for the population of Paramecium caudatum Ehrenberg, 1834. The results demonstrate how different concentrations of algae cultures influence the cellular reproduction parameters in Paramecium caudatum. Low concentrations of Chlorella vulgaris stimulate growth, while high concentrations of Oscillatoria amphibia have a negative effect on the paramecia population. Chlorella vulgaris can be effective in small doses to stimulate growth and short-term productivity, while Oscillatoria amphibia, in high concentrations, can negatively impact reproduction and cell division. The importance of these findings lies in understanding the use of algae as a food source for ciliates, with implications for the ecological status of aquatic ecosystems and the health of protozoan populations.

Keywords: *microalgae, Chlorophyta, Chlorella vulgaris, Cyanophyta, Oscillatoria amphibia, Paramecium caudatum, population density, reproduction rate.*

Introducere

Posibilitățile utilizării eficiente a biomasei algale în acvacultură este un subiect de interes constant pentru hidrobiologi, care își concentrează atenția asupra modului în care producția primară algală poate fi utilizată în mod optim de către consumatorii din diferite verigi trofice superioare. Hidrobiologii sunt preocupați de identificarea modalităților optime de utilizare a producției primare algale de către organisme consumatoare din diverse niveluri trofice. Această preocupare se axează pe optimizarea utilizării biomasei algale în domeniul acvaculturii, în care interacțiunile dintre organisme animale și vegetale joacă un rol decisiv [1]. În ecosisteme, interacțiunile dintre specii sunt variate, incluzând aspecte precum reproducerea, răspândirea, apărarea și nutriția. În acest context, legăturile trofice sunt considerate cele mai importante, deoarece sunt fundamentale pentru circuitul materiei în ecosisteme. Aceste relații influențează densitatea organismelor și reglează echilibrul din ecosistem. Testările utilizării culturilor de microalge în calitate de hrană pentru organismele acvatice reprezintă o gamă vastă de metode esențiale de cercetări ecologice [2]. Prin intermediul acestor teste, se evaluează efectul speciilor de microalge asupra altor organisme, cum ar fi protozoarele dintre care *Paramecium caudatum* Ehrenberg 1833. În studiu au fost utilizate două specii de microalge *Chlorella vulgaris* Beijerinck 1890 *(*din filumul *Chlorophyta,* alge verzi) și Oscillatoria amphibia C. Agardh

ex Gomont 1892 (din filumul *Cyanophyta (Cyanobacteria).* Aceste studii reprezintă eforturi importante pentru înțelegerea și gestionarea eficientă a resurselor biologice acvatice în acvacultură.

Aceste microalge au o importanță semnificativă în ecosistemele acvatice, influențând ciclurile nutrienților, intensitatea producției primare, nivelul de troficitate și calitatea apei în ecosisteme acvatice. Culturile de microalge din filumuri diferite (*Chlorophyta* și *Cyanophyta (Cyanobacteria))* pot oferi o gamă variată de substanțe nutritive, cum ar fi proteine, carbohidrați, grăsimi, vitamine și minerale consumatorilor primari [3].

Chlorella vulgaris Beijerinck 1890 este o microalgă verde, răspândită global, care colonizează atât mediile acvatice, cât și terestre. Aceste alge tolerează temperaturi mai mari și condiții de lumină intensă. La 25^0C, are un raport mai mare între fotosinteză și respirație. Poate reveni complet la performanța fotosintetică după deshidratarea la 84% umiditate relativă și are conținut ridicat de aminoacizi [4].

Oscillatoria amphibia C.Agardh ex Gomont 1892 este o cianobacterie care se găsește în mediile acvatice. Celulele sale sunt filamentoase și se mișcă într-un mod oscilatoriu. Conțin pigmenți fotosintetici, inclusiv clorofila-a și ficobiliproteine. *Oscillatoria amphibia* poate fixa azotul din atmosferă și este importantă pentru ciclul global al azotului [5].

Este cunoscut că parameciul se hrănește cu o varietate de organisme, inclusiv microorganisme precum algele. Testarea efectului nutriției cu speciile menționate de microalge asupra protozoarelor permite evaluarea potențialului lor în calitate de hrană naturală pentru protozoare.

Scopul studiului este de a determina modul în care nutriția cu microalge influențează parametrii reproductivi și dinamica populației speciei *Paramecium caudatum* [6]. Rezultatele obținute reprezintă informații valoroase privind dinamica populațiilor naturale de protozoare și relațiile trofice ale acestora cu alte organisme acvatice și pot contribui la dezvoltarea strategiilor de conservare și gestionare a resurselor naturale acvatice.

Materiale și metode

Cultivarea speciilor de alge

Pentru studiu au fost selectate culturile de *Chlorella vulgaris* din filumul *Chlorophyta* și de *Oscillatoria amphibia* din filumul *Cyanophyta (Cyanobacteria)*. Culturile pure au fost obținute în laboratorul de Hidrobiologie și Ecotoxicologie al Institutului de Zoologie, USM de către profesorul, doctor habilitat Laurenția Ungureanu și doctorul în științe biologice Daria Tumanova, brevetate și depozitate în Colecția Națională de Microorganisme Nepatogene a Institutului de Microbiologie și Biotehnologie al Universității Tehnice a Moldovei.

Algele au fost cultivate în eprubete sterile sau baloane închise cu dopuri de bumbac. După inoculare, cultura a fost expusă la lumină (instalații de iluminat, echipate cu lămpi fluorescente DS-40 sau DS-80). Pentru studiu s-au folosit culturi de alge tinere, în proces de creștere intensă, în mediul Gromov [7].

Mediul Gromov (mg/l, mediu universal utilizat în diferite diluții):

KNO3 – 100	(NH4) • Mo7O24 . 4H2O - 1
K2HPO4 — 66,7	FeSO4 • 7H2O — 9,3
MgSO4 • 7H2O — 33,3	CaCl • 2H2O — 1,2
ZnSO4 • 7H2O — 0,022	Co (NO3)a • H2O — 0,02
MnSO4 • 7H2O - 1,81	EDTA — 10
CuSO4 • 5H2O — 0,079	Agar-agar — 1,5%
Na3 BO3 · 4H2 O − 2,63	

Cultivarea Paramecium caudatum

Pentru a forma o cultură de infuzori, se folosesc 2-3 borcane, fiecare având o capacitate de aproximativ 700 ml -1 litru, care sunt umplute cu apă din unul dintre acvariile de creștere. Se pregătește un mediu alcătuit din apă declorată și fiartă, la care se adaugă drojdia *Saccharomyces cerevisiae* (1 g/l) pentru a stimula dezvoltarea bacteriilor. În acest mediu se introduc câțiva infuzori prelevați dintr-o altă cultură, care servesc ca inocuul. Borcanele cu mediul pregătit și cultura de infuzori se păstrează la o temperatură de 18-20°C. După câteva zile, prin peretele transparent al borcanului se pot observa infuzorii dispersați în întregul

volum de apă. Pentru recoltarea infuzoriilor, se folosesc pipete de sticlă, transferându-i în fiole pregătite în prealabil pentru probele de cercetare și control. Este recomandat să se pregătească 2-3 astfel de borcane, deoarece la o frecvență de 5-6 hrăniri pe zi, cultura se epuizează rapid. Metodele clasice de cultivare au fost propuse de Садчиков А. П (2009) [8], Кокова В. (1982) [9], Яшин Я. (2017) [10].

Paramecii au fost expuși la acțiunea culturilor de microalge în concentrații de 0,1 mg/l, 0,5 mg/l, 1 mg/l și 10 mg/l, timp de 24, 48, 72, 76, 120 și 144 h și monitorizat răspunsul lor. A fost înregistrată densitatea, rata specifică de reproducere și alte aspecte relevante. Cultura a fost preparată și întreținută în recipiente sterilizate. Pentru a menține condiții optime de creștere, probele au fost incubate în incubator cu condiții de temperatură și lumină constantă.

Analize statistice

Au fost evaluați așa parametri relevanți, cum ar fi efectivul numeric (-în continuare Nt) al ciliatelor, rata specifică de reproducere (-în continuare Cw, (h^{-1})) cu media (M) și deviația standard (ES). Diferența față de martor a fost calculată pentru ambele măsurători și exprimată în valori absolute (d) și procentuale (%). Semnificația sau lipsa de semnificație a două valori medii sau procentuale, obținute pe eșantioane, s-a stabilit pe calea testului „t" Student (t_d) [11].

Au fost determine diferențele semnificative în rezultatele diferitelor grupuri, valorile $P < 0,05$ (S); $P < 0,01$ (S); $P < 0,001$ (HS) au fost considerate semnificative, iar valorile $P > 0,05$ (NS) nesemnificative [11, 12].

A fost efectuată o analiză descriptivă asupra numărului de diviziuni celulare (n), constantei vitezei de dividere (v) și timpului unei generații (g) pe parcursul perioadei de incubație de la 24 la 144 de ore.

Pentru a calcula timpul de generare a celulei, s-a utilizat ecuația, ținând cont de progresia geometrică a creșterii [13].

$N = N_0 2^n$, de unde $\lg N = \lg N_0 + n \lg 2$ (1).

unde N este numărul de celule.

Prin urmare, formula pentru numărul de diviziuni celulare (n) este:

$n = \lg N - \lg N_0 / \lg 2$ (2).

Constanta vitezei de divizare sau numărul de diviziuni celulare pe unitate timp, $t - t_0$ se calculează folosind formula:

$\nu = n/t$ (3).

și timpul unei generații (g), după formula:

$g = t/n = 1/\nu$ (4).

Parametrii au fost analizați statistic folosind programele Excel și Statistica pentru Windows.

Rezultate și discuții

În lucrare sunt expuse rezultatele testării culturilor de microalge *Chlorella vulgaris* din filumul *Chlorophyta* și *Oscillatoria amphibia* din filumul *Cyanophyta (Cyanobacteria)* în hrana ciliatelor *Paramecium caudatum* pentru diferite concentrații ale acestora (0,1 mg/l, 0,5 mg/l, 1 mg/l, 10 mg/l) în comparație cu un grup martor (fără substanță testată).

Efectul algei verzi, *Chlorella vulgaris*, utilizată ca hrană pentru ciliate - *Paramecium caudatum* a fost evaluat prin compararea rezultatelor grupurilor expuse la diferite concentrații de alge (0,1 mg/l, 0,5 mg/l, 1 mg/l, 10 mg/l) cu rezultatele grupului martor (Tabelul 1).

După 24 h de expunere a probelor în termostat, rezultatele indică o diferență semnificativă în efectivul numeric al parameciului și în rata de reproducere în grupul expus la 10 mg/l de alge, în comparație cu grupul martor. Efectul negativ este evidențiat prin diferența semnificativă (d) și procentul de diferență (%), care indică o scădere înalt semnificativă a Nt (60%) și a Cw (50,84%), având valori ale $P < 0,001$ (HS). Aceasta sugerează că o concentrație de 10 mg/l poate inhiba creșterea și reproducerea parameciului. Efect negativ s-a evidențiat și la concentrația de 0,1 mg/l, cu o scădere procentuală (d,%) a Nt (43,33%) și a Cw (31,84%) având valori ale $P < 0,01$ (S).

În grupurile expuse la 0,5 mg/l și 1 mg/l de clorela, Nt și Cw a ciliatelor au fost mai mici decât în grupul martor, dar diferențele nu au fost semnificative și procentele de diferență (d și %) au indicat că efectele au

fost minore. În grupul expus la 0,1 mg/l de clorela, nu s-au observat diferenţe semnificative ale Nt şi Cw în comparaţie cu grupul martor.

Tabelul 1. Rezultatele testării culturii de microalge Chlorella vulgaris în hrana ciliatelor Paramecium caudatum.

Loturile experimentale	N	Chlorella vulgaris							
		Efectivul numeric (Nt) M ± ES	Diferenţa faţă de martor			Rata de reproducere (Cw) M ± ES	Diferenţa faţă de martor		
			d	%	t_d		d	%	t_d
24 h									
Martor	10	6,00±0,67				1,79±0,11			
0,1 mg/l	10	3,40±0,55	-2,60	43.33	3,00**	1,22±0,18	-0,57	31,84	2,70**
0,5 mg/l	10	4,90±0,53	-1,10	18,33	1,29	1,59±0,12	-0,20	11,17	1,23
1 mg/l	9	5,89±1,10	-0,11	1,83	0,09	1,77±0,17	-0,02	1,12	0,10
10 mg/l	10	2,40±0,17	-3,60	60,00	5,21***	0,88±0,07	-0,91	50,84	6,98***
72 h									
Martor	9	109,00±18,69				1,56±0,05			
0,1 mg/l	10	157,60±35,38	+48,60	44,59	1,21	1,69±0,09	+0,13	8,33	1,26
0,5 mg/l	10	178,40±18,80	+69,40	63,67	2,62**	1,73±0,03	+0,17	10,90	2,92**
1 mg/l	10	187,40±30,00	+78,40	71,93	2,22*	1,74±0,05	+0,18	11,54	2,55*
10 mg/l	10	136,00±24,71	+27,00	24,77	0,87	1,64±0,08	+0,09	5,77	0,95
120 h									
Martor	10	199,40±27,14				1,06±0,04			
0,1 mg/l	10	354,90±80,94	+155,50	77,98	1,82	1,17±0,06	+0,07	6,60	0,97
0,5 mg/l	10	437,30±101,26	+237,90	119,31	2,27*	1,22±0,06	+0,11	10,38	1,53
1 mg/l	10	301,30±28,72	+101,90	51,10	2,58**	1,14±0,02	+0,09	8,49	2,01*
10 mg/l	9	223,33±44,06	+23,93	12,00	0,46	1,08±0,05	0,00	0,00	0,00
144 h									
Martor	10	160,30±15,78				0,85±0,02			
0,1 mg/l	10	343,90±45,68	+183,60	114,54	3,80***	0,97±0,03	+0,12	14,12	3,33***
0,5 mg/l	10	460,50±32,87	+300,20	187,27	8,23***	1,02±0,01	+0,17	20,00	7,60***
1 mg/l	10	285,60±42,72	+125,30	78,17	2,75**	0,94±0,05	+0,09	10,59	1,67
10 mg/l	9	222,78±36,18	+62,48	30,98	1,58	0,90±0,05	+0,05	5,88	0,93

Remarcă: * - $P < 0,05$ (S); ** - $P < 0,01$ (S); *** - $P < 0,001$ (HS); $P > 0,05$ (NS)

Astfel, după 24 h, concentraţiile 10 mg/l şi 0,1 mg/l de clorela au un efect semnificativ inhibitor asupra creşterii şi reproducţiei ciliatei *P. caudatum*, în timp ce concentraţiile medii (0,5 şi 1 mg/l) au avut efecte minore sau nesemnificative.

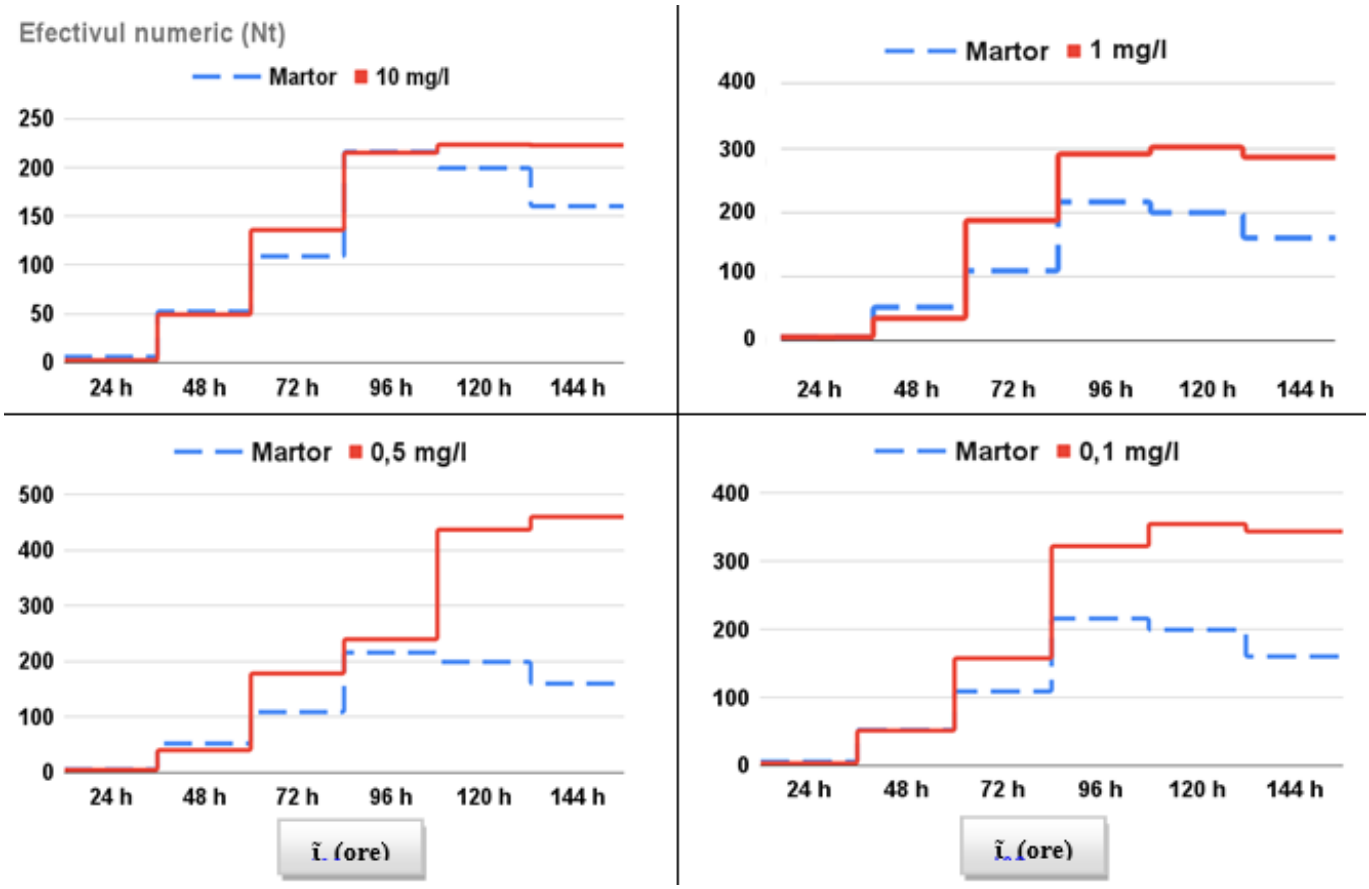
După 72 ore de incubare, pentru concentraţia de 0,1 mg/l, înregistrăm o creştere a valorii medii de la 109,00 la 157,60, cu o diferenţă de +48,60 şi o valoare procentuală de 44,59. Valoarea medie Cw a fost de 1,69 cu o diferenţă de +0,13 faţă de martor. Creşterea este nesemnificativă având $P > 0,05$ (NS).

Pentru concentraţia de 0,5 mg/l, observăm o creştere a valorilor medii de la 109,00 la 178,40, cu o diferenţă de +69,40 şi o valoare procentuală de 63,67. Valorile corespunzătoare Cw şi diferenţelor medii sunt de 1,73 şi +0,17. Diferenţele au fost semnificative cu $P < 0,01$ (S).

Pentru concentrația de 1 mg/l, înregistrăm de asemenea o creștere a valorilor medii de la 109,00 la 187,40, cu o diferență de +78,40 și o valoare procentuală de 71,93. Valorile corespunzătoare Cw și diferențelor medii sunt de 1,74 și +0,18. P < 0,05 (S) deci creșterea este semnificativă. Iar, pentru concentrația de 10 mg/l Nt și Cw a ciliatei au fost mai mari decât în grupul martor, dar diferențele nu au fost semnificative.

Astfel, putem spune că există o relație directă între concentrația culturii algale testate și creșterea valorilor înregistrate în martor. Cu cât concentrația crește, cu atât valorile înregistrate față de valorile martor sunt mai mari. Această relație este semnificativă statistic în cazul concentrațiilor de 0,5 mg/l și 1 mg/l, având valorile P mai mici de 0,05.

Figura 1. Efectivul numeric (Nt) al parameciului după administrarea a 10 mg/l, 1 mg/l, 0,5 mg/l, și 0,1 l de Chlorella vulgaris timp de 24…144 h.



După 120 h s-a observat că, pentru martor, media Nt a fost de 199,40 și media Cw de 1,06. Pentru concentrația de 0,1 mg/l, observăm o creștere a valorii medii Nt de 354,90, cu o majorare semnificativă față de martor, de 155,50 și o valoare procentuală de 77,98. Valoarea Cw a fost de 1,17, cu o diferență de 0,07, puțin mai mare decât cea a martorului.

Pentru concentrația de 0,5 mg/l, media Nt a fost de 437,30, cu o creștere elocventă față de martor, de 237,90, cu circa 119,31%. P < 0,05 (S), deci creșterea este semnificativă. Valoarea medie Cw a fost de 1,22 cu o diferență de +0,11, demonstrând o creștere puțin mai mare decât la concentrația de 0,1 mg/l. La concentrația de 1 mg/l, media Nt crește cu o diferență de 51,10 % (101,90), având valori mai mari, de 301,30. Creșterea este semnificativă cu P < 0,01 (S). Valoarea Cw a fost de 1,14, mai mare decât martorul și mai mică decât la concentrațiile de 0,1 și 0,5 mg/l, unde P < 0,05 (S). Pentru concentrația de 10 mg/l, media Nt a fost de 223,33, cu o creștere ușoară față de martor, de 23,93, cu t_d = 0,46. Valoarea Cw a fost de 1,08, similară cu cea a martorului.

În concluzie, concentrațiile culturii analizate, după 120 h de incubare, au avut o influență semnificativă asupra parameciului. În general, concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l au avut un impact pozitiv, care s-a manifestat prin creșterea valorilor măsurate.

După 144 ore, pentru concentrația de 0,1 mg/l, s-a înregistrat o creștere de cca 2 ori a valorii Nt, de la 160,30 (martorul) la 343,90, cu diferența înregistrată de +183,60. De asemenea, s-a observat o creștere a Cw de la 0,85 (martorul) la 0,97, cu o diferență de +0,12. Valorile Nt cât și Cw sunt înalt semnificative din punct de vedere statistic, având P < 0,001(HS).

Pentru concentrația de 0,5 mg/l a culturii algale de clorela, s-a înregistrat o creștere a valorii Nt la 460,50, cu diferența de +300,20. Cw, de asemenea, a crescut până la 1,02, cu diferența de +0,17. Diferențele înregistrate sunt înalt semnificative statistic (P < 0,001). Pentru concentrația de 1 mg/l, Nt crește până la 285,60. Diferența înregistrată este de 125,30 și este semnificativă statistic (P < 0,01). Cw înregistrează o creștere ușoară de la 0,85 (martorul) la 0,94, însă această creștere nu este semnificativă statistic.

La concentrația de 10 mg/l, valoarea Nt crește până la 222,78, cu diferența înregistrată de 62,48. De asemenea, s-a observat o creștere a Cw până la 0,90, cu diferența de 0,05. Creșterile Nt și Cw nu sunt semnificative statistic.

Rezultatele experimentale atestă faptul că concentrațiile de 0,1 mg/l, 0,5 mg/l și 1 mg/l au stimulat creșterea efectivului numeric și al ratei de reproducere la paramecii cu valori semnificative din punct de vedere statistic.

Totodată a fost evaluat efectul concentrațiilor de 0,1 mg/l, 0,5 mg/l, 1 mg/l și 10 mg/l de clorela asupra numărului de diviziuni celulare (n, formula 2), constantei vitezei de dividere (v, formula 3) și timpului unei generații (g, formula 4) pe parcursul perioadei de incubație de la 24 la 144 de ore (Tab. 2).

Tabelul 2. Efectul culturii de Chlorella vulgaris asupra numărului de diviziuni celulare (n), constantei vitezei de dividere (v) și a timpului unei generații (g) în populația de P. caudatum.

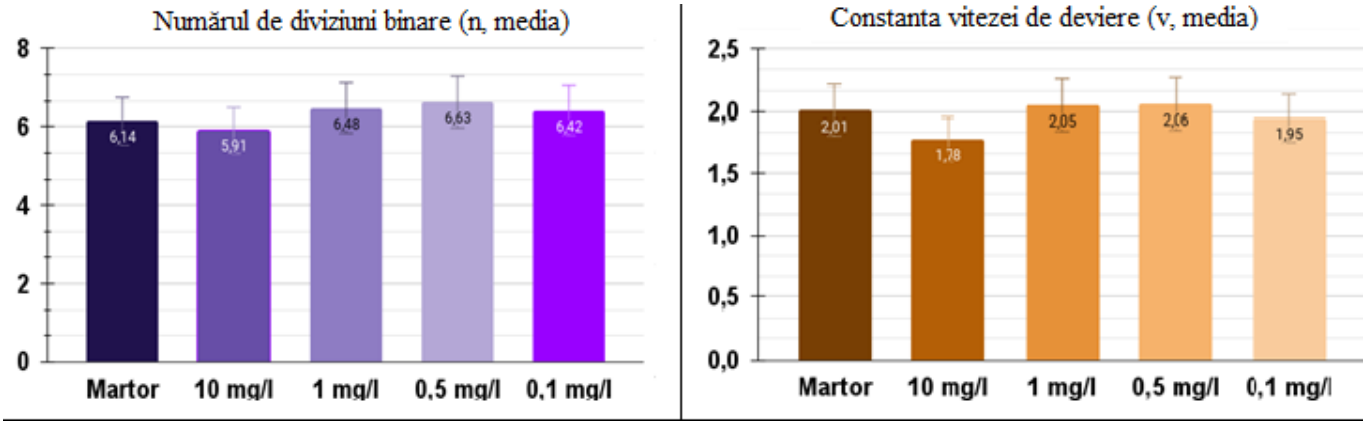
Parametrii	Martor	10 mg/l	1 mg/l	0,5 mg/l	0,1 mg/l
Numarul de diviziuni celulare **n** (M±ES)	6,14±0,65	5,91±0,81	6,48±0,78	6,63±0,83	6,42±0,87
Constanta vitezei de dividere **v** (M±ES)	2,01±0,20	1,78±0,19	2,05±0,16	2,06±0,15	1,95±0,17
Timpul unei generatii **g** (M±ES)	0,54±0,06	0,61±0,06	0,52±0,05	0,51±0,04	0,54±0,04

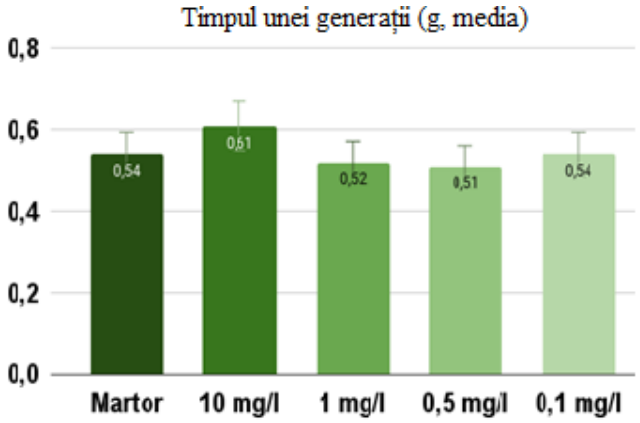
Efectele observate la concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l de clorelă prezintă o tendință de creștere a diviziunii celulare (n) și a constantei vitezei medii de dividere (v) a parameciului. Această creștere este confirmată de n=6,63 (pentru 0,5 mg/l) și n= 6,48 (pentru 1 mg/l), iar v=2,06 (pentru 0,5 mg/l) și v=2,05 (pentru 1 mg/l), în comparație cu grupul martor care avea valori de n=6,14 și v=2,01**.**

Timpul mediu al unei generații, notat cu g, prezintă o variație ușoară de scădere**.** Astfel, pentru formarea unei generații, este necesară o perioadă mai mică de timp, de 0,51 (pentru 0,5 mg/l) și 0,52 (pentru 1 mg/l), comparativ cu grupul martor care are un timp mediu necesar pentru o generație mai mare (0,54).

La parameciile expuse la concentrația de 0,1 mg/l a culturii de *Chlorella vulgaris***,** s-a demonstrat că, în decursul a 144 de ore de incubație, au loc în medie aproximativ 6,42 diviziuni celulare**,** cu o viteză de dividere de 1,95. Pe durata întregii perioade experimentale, o nouă generație de paramecii s-a format la fiecare 0,54 ore (Fig. 2).

Figura 2. Influența Chlorella vulgaris asupra diviziunii celulare (n), vitezei de dividere (v) și timpului de generație (g) la P. caudatum în decursul a 144 de ore de incubare.





Sub acțiunea clorelei cu concentrația de 10 mg/l valorile medii n, v și g sunt mai mici decât valorile martorului, fapt care ne indică despre acțiunea nefavorabilă a compusului în concentrația majoră asupra parametrilor studiați la paramecii.

În concluzie, concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l de clorela au avut un efect benefic asupra diviziunii celulare la paramecii, accelerând viteza de dividere și crescând valorile n și g.

În condiții de laborator a fost cercetată acțiunea microalgei *Oscillatoria amphibia* din filumul *Cyanophyta (Cyanobacteria)*, în calitate de hrană, asupra ciliatelor *Paramecium caudatum*. Acest studiu a furnizat informații interesante privind interacțiunea dintre aceste organisme.

Rezultatele arată că, după 24 h de incubare, concentrațiile de 0,1 mg/l, 0,5 mg/l, 1 mg/l și 10 mg/l de *O. amphibia* au efecte variate asupra ciliatelor. De exemplu, concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l au avut cele mai pronunțate efecte negative față de martor în ceea ce privește efectivul numeric și rata de reproducere a parameciilor.

La concentrația de 0,1 mg/l a fost înregistrată o rată de reproducere similară cu cea a martorului, cu o mică diferență negativă de doar 0,18. Totuși, acest lot a avut o diferență mai mare în efectivul numeric față de martor, de 4,76%.

Concentrațiile mai mari de 0,5 mg/l, 1 mg/l si 10 mg/l au provocat reduceri semnificative atât ale efectivului numeric, cât și ale ratei de reproducere față de martor. Diferențele au fost mai mari odată cu creșterea concentrației de microalge, cu valori intre 0,28 și 0,56 pentru efectivul numeric și intre 0,06 si 0,16 pentru rata de reproducere.

Cele mai mari diferențe față de martor au fost înregistrate la concentrația de 0,5 mg/l atât în efectivul numeric (14,81%), cât și în rata de reproducere (12,03%).

Concentrația de 0,1 mg/l înregistrează un efect nepronunțat sau chiar ușor pozitiv asupra ciliatelor, în timp ce concentrațiile mai mari au dus la scăderi semnificative în populația acestora.

Concentrația de 10 mg/l influențează negativ populația de paramecii, însă nu afectează puternic rata lor de reproducere în acest interval scurt de timp.

Tabelul 3. Testarea culturii de microalge Oscillatoria amphibia în hrana ciliatelor Paramecium caudatum.

Loturile experimentale	N	Oscillatoria amphibia							
		Efectivul numeric (Nt) M ± ES	Diferența față de martor			Rata de reproducere (Cw) M ± ES	Diferența față de martor		
			d	%	t_d		d	%	t_d
24 h									
Martor	10	3,78±0,68				1,33±0,16			
0,1 mg/l	10	3,60±0,42	-0,18	4,76	0,23	1,28±0,12	-0,05	3,76	0,25
0,5 mg/l	10	3,22±0,61	-0,56	14,81	0,61	1,17±0,17	-0,16	12,03	0,69
1 mg/l	9	3,44±0,56	-0,34	8,99	0,39	1,27±0,16	-0,06	4,51	0,27
10 mg/l	10	3,50±0,40	-0,28	7,41	0,35	1,24±0,16	-0,09	6,77	0,40
72 h									
Martor	9	91,78±46,03				1,51±0,16			
0,1 mg/l	10	88,11±45,54	-3,67	4,00	0,06	1,49±0,12	-0,02	1,32	0,10
0,5 mg/l	10	64,38±29,93	-27,40	29,85	0,50	1,39±0,12	-0,12	7,95	0,60

1 mg/l	10	73,56±24,26	-18,22	19,85	0,35	1,43±0,12	-0,08	5,30	0,40
10 mg/l	10	23,20±3,34	-68,58	74,72	1,49	1,05±0,04	-0,46	30,46	2,79**
120 h									
Martor	10	114,40±36,98				0,95±0,07			
0,1 mg/l	10	81,80±19,80	-32,60	28,50	0,78	0,88±0,04	-0,07	7,37	0,87
0,5 mg/l	10	69,90±15,08	-44,50	38,90	1,11	0,85±0,05	-0,10	10,53	1,16
1 mg/l	10	65,80±15,67	-48,60	42,48	1,21	0,84±0,05	-0,11	11,58	1,28
10 mg/l	9	39,11±7,38	-75,29	65,81	2,00*	0,73±0,04	-0,22	23,16	2,73**
144 h									
Martor	10	66,44±8,02				0,70±0,02			
0,1 mg/l	10	64,80±9,48	-1,64	2,47	0,13	0,70±0,03	0,00	0,00	0,00
0,5 mg/l	10	56,78±12,13	-9,66	14,54	0,66	0,67±0,04	-0,03	4,29	0,67
1 mg/l	10	61,33±7,27	-5,11	7,69	0,47	0,69±0,02	-0,01	1,43	0,35
10 mg/l	9	65,63±6,12	-0,81	1,22	0,08	0,70±0,02	0,00	0,00	0,00

Remarcă: * - P < 0,05 (S); ** - P < 0,01 (S); *** - P < 0,001 (HS); P > 0,05 (NS)

Analiza datelor experimentale la 72 h demonstrează că, grupurile tratate cu concentrații de *Oscillatoria amphibia* (0,1 mg/l, 0,5 mg/l, 1 mg/l, 10 mg/l) au înregistrat în continuare scăderi ale parametrilor măsurați (de la -3.67% la -68.58%) în comparație cu grupul martor.

Concentrația de 0,1 mg/l a avut valori asemănătoare cu ale martorului cu cea mai mică diferență de -3,67, și aproximativ 4,00%. Concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l, de asemenea, au provocat scăderi atât ale efectivului numeric cu -27,40 (29,85%) și cu -18,22 (19,85%), cât și ale ratei de reproducere cu -0,12 (7,95%) și cu -0,08 (5,30%) față de martor. Pe când, concentrația de 10 mg/l are cel mai mare impact. Astfel, s-a înregistrat o scădere semnificativă a parametrului măsurat Cw, în comparație cu celelalte concentrații de 0,1 mg/l, 0,5 mg/l și 1 mg/l, iar diferența a fost considerată extrem de semnificativă statistic (P = 2.79**).

Valorile P pentru diferențele semnificative ale Nt între grupul martor și grupurile tratate cu diferite concentrații (0,1 mg/l, 0,5 mg/l, 1 mg/l, 10 mg/l) sunt destul de mici (între 0,06 și 1,49), indicând că aceste diferențe sunt nesemnificative statistic.

Concentrațiile crescute de *Oscillatoria amphibia* reduc drastic populația de protozoare și afectează negativ rata lor de reproducere în acest interval de timp mai lung.

După 120 h de incubare, analiza detaliată a rezultatelor demonstrează că toate concentrațiile testate reduc numărul de paramecii în comparație cu martorul. Concentrația de 0,1 mg/l a avut o diferență a numărului total de paramecii (Nt) față de martor de -32,60 (28,50%), iar coieficientul de creștere (Cw) a fost de -0,07, reprezentând 7,37 %.

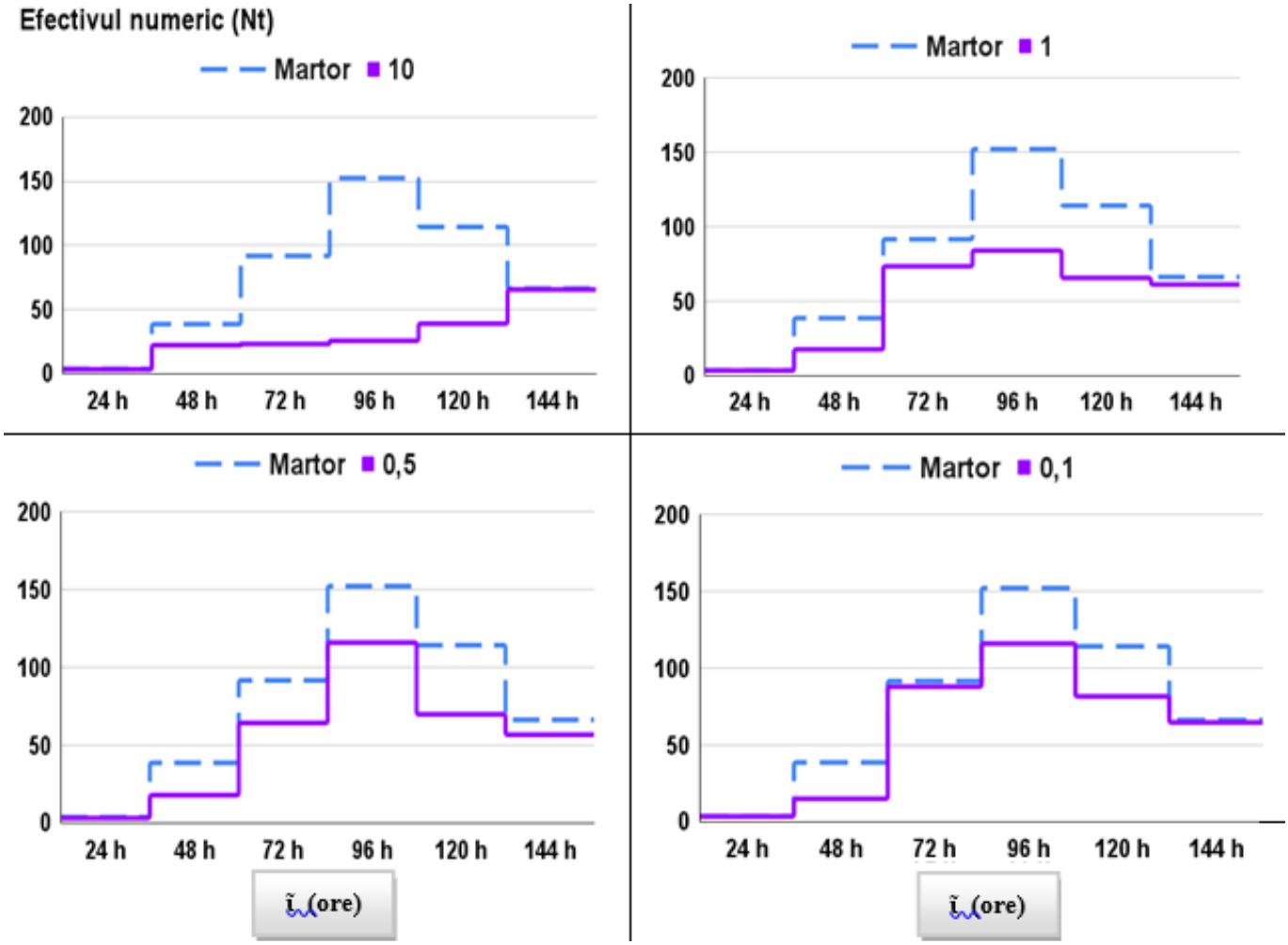
Concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l au avut un efect negativ mai pronunțat, cu o diferență a Nt față de martor de -44,50 (38,90% pentru 0,5 mg/l) și de -48,60 (42,48% pentru 1 mg/l), iar Cw a fost de -0,10 (10,53% pentru 0,5 mg/l) și de -0,11 (11,58% pentru 1 mg/l) respectiv.

Concentrația de 10 mg/l are cel mai puternic efect negativ, cu o diferență a Nt față de martor de -75,29, reprezentând 65,81%, și o diferență semnificativă statistică P < 0,05 (S) (P=2,00*). Parametrul Cw a înregistrat o diferență de -0,22 (23,16%), diferență considerată semnificativă statistic P < 0,01 (S) (P=2,73**).

Efectul negativ al concentrațiilor crescute de alge asupra numărului și ratei de reproducere al parameciilor devine mai accentuat pe măsură ce timpul de incubație crește. De asemenea, variabilitatea datelor a crescut odată cu creșterea concentrațiilor în mediul de testare.

La timpul de incubare de 144 de ore, concentrațiile medii au redus efectivul numeric al ciliatelor. Efectele negative notabile au fost observate la concentrațiile de 0,5, și 1 mg/l. Concentrațiile de 0,1 mg/l și 10 mg/l au prezentat valori similare cu martorul, indicând absența unor efecte semnificative. Rata de reproducere a rămas relativ constantă în toate loturile experimentale.

Figura 3. Efectivul numeric (Nt) al parameciei după administrarea a 10 mg/l, 1 mg/l, 0,5 mg/l, și 0,1 mg/l de Oscillatoria amphibia timp de 24…144 h.



Efectul redus al concentrațiilor mai mari asupra numărului de paramecii în acest interval de timp sugerează o posibilă adaptare sau stabilizare a populației de paramecii în fața expunerii îndelungate la cultura de *Oscillatoria amphibia.*

Analiza detaliată a tabelului 4 prezintă date referitoare la numărul de diviziuni celulare **(**n) în funcție de martor, constanta vitezei de dividere **(**v) și timpul unei generații (g) a populației de parameciului hrănit cu *Oscillatoria amphibia.* Concentrația de 10 mg/l prezintă cel mai mare efect redus**,** având o medie de n=4,23, v=1,38, și g=0,79, indicând o inhibare semnificativă a parametrilor respectivi. Concentrațiile mai mici, de 1 mg/l, 0,5 mg/l, și 0,1 mg/l, au, de asemenea, efecte negative asupra numărului de diviziuni celulare (n), constantei vitezei de dividere (v) și timpului unei generații (g), dar cu valori mai mari comparativ cu concentrația de 10 mg/l și valori mai mici comparativ cu martorul.

Tabelul 4. Efectul culturii de Oscillatoria amphibia asupra numărului de diviziuni celulare (n), constantei vitezei de dividere (v) și a timpului unei generații (g) a populației de P. caudatum.

Parametrii	Martor	10 mg/l	1 mg/l	0,5 mg/l	0,1 mg/l
Numarul de diviziuni celulare **n** (M±ES)	5,01±0,797	4,23±0,65	4,68±0,75	4,67±0,77	4,83±0,78
Constanta vitezei de dividere **v** (M±ES)	1,59±0,18	1,38±0,21	1,49±0,16	1,47±0,17	1,53±0,16
Timpul unei generatii **g** (M±ES)	0,67±0,09	0,79±0,11	0,72±0,08	0,72±0,09	0,69±0,08

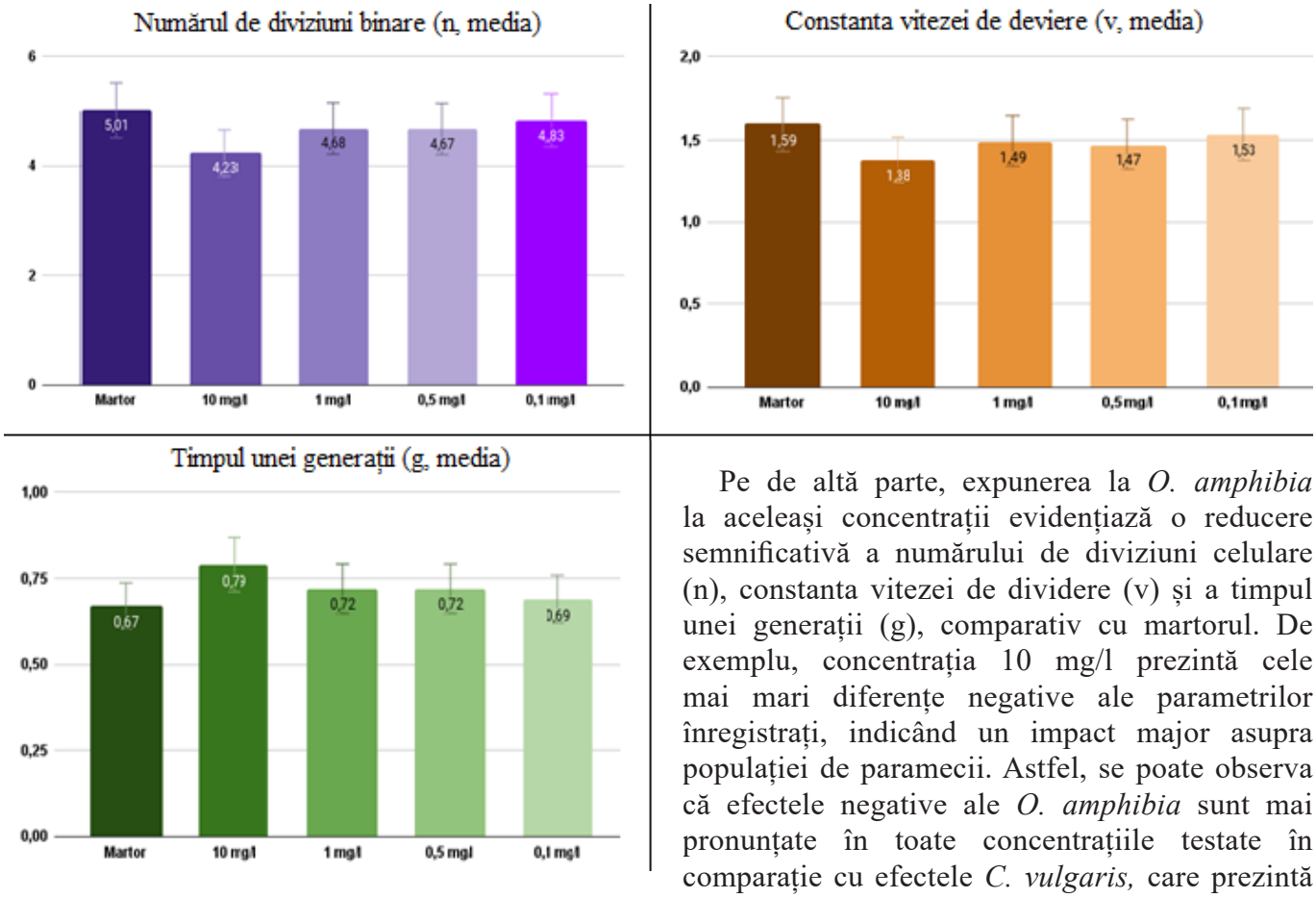
Astfel, concentrațiile crescute de *Oscillatoria amphibia* au un impact negativ semnificativ asupra

numărului de diviziuni celulare (n), a constantei vitezei de dividere (v) și a timpului unei generații (g) în populația de *P. caudatum* (Fig. 4).

Analiza comparativă a tabelelor 2 și 4 relevă diferențe semnificative în efectele exercitate de *Chlorella vulgaris* și *Oscillatoria amphibia* asupra populației de *P. caudatum.*

Expunerea cu cultura de *Chlorella vulgaris* la diferite concentrații indică o variație relativ mică a numărului de diviziuni celulare (n), a constantei vitezei de dividere (v) și a timpului unei generații (g) în comparație cu martorul. De exemplu, concentrația de 0,5 mg/l prezintă cele mai mici diferențe a acestor parametri, înregistrând un efect mai puțin semnificativ în comparație cu celelalte concentrații testate.

Figura 4. Influența culturii de Oscillatoria amphibia asupra diviziunii celulare (n), vitezei de dividere (v) și timpului de generație (g) a P. caudatum în decursul a 144 de ore de incubare.



Pe de altă parte, expunerea la *O. amphibia* la aceleași concentrații evidențiază o reducere semnificativă a numărului de diviziuni celulare (n), constanta vitezei de dividere (v) și a timpul unei generații (g), comparativ cu martorul. De exemplu, concentrația 10 mg/l prezintă cele mai mari diferențe negative ale parametrilor înregistrați, indicând un impact major asupra populației de paramecii. Astfel, se poate observa că efectele negative ale *O. amphibia* sunt mai pronunțate în toate concentrațiile testate în comparație cu efectele *C. vulgaris,* care prezintă variații mai mici și mai inconsistente în funcție de concentrație.

Ambele studii au demonstrat că algele pot influența diviziunea celulară, constanta vitezei de dividere (v) și timpul unei generații (g), cu toate că efectele pot varia în funcție de specia de alge și concentrația utilizată. Există o necesitate continuă pentru cercetări suplimentare pentru a înțelege mai bine interacțiunile dintre diferite specii de alge și *P. caudatum*, precum și efectele pe termen lung asupra parameciei și ecosistemelor în care aceste organisme interacționează.

Concluzii

1. Efectul culturii de *Chlorella vulgaris* asupra populației de ciliate *Paramecium caudatum* indică că concentrațiile de 0,1 mg/l, 0,5 mg/l și 1 mg/l determină creșterea Nt și Cw a populației de paramecii, în timp ce concentrația de 10 mg/l înregistrează valori asemănătoare martorului. Aceste concluzii sunt valabile după 24, 72, 120 și 144 ore de expunere la cultura de *Chlorella vulgaris*.

2. Se observă că cele mai semnificative diferențe față de grupul martor se înregistrează pentru *Chlorella vulgaris* testată la concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l, în special timp de 72 și 120 de ore.

3. Efectul *Oscillatoria amphibia* asupra ciliatelor arată că expunerea la concentrații crescute a dus la scăderea parametrilor măsurați în mod dependent de concentrație. Concentrațiile de 0,5 mg/l, 1 mg/l și 10 mg/l au determinat scăderea ratei de reproducere a ciliatelor în comparație cu martorul. La concentrația de 0,1 mg/l, efectul a fost mai puțin pronunțat, însă totuși s-a observat o diferență față de martor.

4. Pe măsură ce timpul de expunere a crescut (de la 24 de ore la 144 de ore), efectul concentrațiilor culturii de *O. amphibia* asupra ciliatelor a devenit mai pronunțat. La 72 de ore și 120 de ore, concentrația de 10 mg/l a avut cel mai mare impact negativ și cele mai semnificative efecte asupra ratei de reproducere a ciliatelor.

5. Studiile au demonstrat că *Chlorella vulgaris* la concentrațiile de 0,5 mg/l și 1 mg/l a avut un efect benefic asupra diviziunii celulare la paramecii, accelerând viteza de dividere și crescând valorile n și g, în timp ce *Oscillatoria amphibia* la concentrațiile de 10 mg/l, 1 mg/l și 0,5 mg/l a avut un impact negativ semnificativ, reducând viteza de dividere și crescând valorile n și g.

6. A fost demonstrată activitatea biologică înaltă a tulpinii de alge planctonice *Chlorella vulgaris*, care ne dă posibilitatea de a utiliza această hrană pe termen scurt și în doze mici, pentru menținerea la un nivel înalt a ritmurilor de creștere și productivitatea parameciilor.

Referințe:

1. ZUBCOV, E., MIRON, L. D. *Ghid metodologic pentru piscicultori/Programul Operațional Comun România-Republica Moldova 2014-2020.* Institutul de Zoologie. Universitatea de Științele Vieții „Ion Ionescu de Brad" din Iași. 2020, 95 p. ISBN 978-5-88554-098-8.
2. PENESCU, A. *Ecologie şi Protectia Mediului. Obiectul şi Istoricul Ecologiei. Dezvoltarea Ecologiei în Tara Noastră. Noțiuni Generale în Ecologie.* Notă de curs. București, 2010. 215 p.
3. FABRIS, M., ABBRIANO, R.M., PERNICE, M., SUTHERLAND, D. L.,, COMMAULT, A. S., HALL, C. C., LABEEUW, L., MCCAULEY, J. I., KUZHIUPARAMBIL, U., RAY, P., KAHLKE, T. AND RALPH, P. J. *Emerging Technologies in Algal Biotechnology: Toward the Establishment of a Sustainable, Algae-Based Bioeconomy.* In: *Frontiers in Plant Science. Sec*. *Plant Biotechnology.* Volume 11, 2020, 22 p. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00279
4. MD GUIRY IN GUIRY, M. D. & GUIRY, G. M. 08 November 2023. *AlgaeBase. World-wide electronic publication,* National University of Ireland, Galway. https://www.algaebase.org. https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=27676
5. GM GUIRY IN GUIRY, M. D. & GUIRY, G. M. 21 November 2023. A*lgaeBase. World-wide electronic publication,* National University of Ireland, Galway. https://www.algaebase.org https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=24845
6. VAN HOUTEN, J. *A Review for the Special Issue on Paramecium as a Modern Model Organism. Microorganisms,* 2023, 11, 937. https://doi.org/10.3390/ microorganisms11040937
7. ВАССЕР, С. П., КОНДРАТЬЕВА, Н. В., МАСЮК, Н. П. и др. *Водоросли. Справочник.* Киев: Наук. Думка, 1989. 608 с. ISBN 5-12-000486-5.
8. САДЧИКОВ, А. П. *Культивирование водных и наземных беспозвоночных: принципы и методы:* учеб. Пособие. МАКС Пресс, 2009, 271 с. ISBN 5317029317, 9785317029319.
9. КОКОВА, В. *Непрерывное культивирование беспозвоночных.* Новосибирск «Наука». Сибирское отделение, 1982, 168 с.
10. ЯШИН, Я. *Биотехнологии выращивания парамеций. В: Старт в науке,* 2017, № 4 (часть 3), с. 435-439. https://science-start.ru/ru/article/view?id=792
11. SPINEI, L., LOZAN, O., BADAN, V. *Biostatistica.* Univ. de Stat de Medicină şi Farmacie „Nicolae Testemiţanu". *Şcoala de Management în Sănătate Publică*. 2009. 186 p. ISBN 978-9975-78-743-7
12. ЗАЙКА, В. Е. С*пособы математического описания связи между скоростью роста животных и уровнем их питания. Зоол. журн.,* 52(6), 1973, pp. 811 - 821.
13. БЛАЖЕВИЧ, О. В. *Культивирование клеток:* Курс лекций. Минск: БГУ, 2004, 78 с. ISBN 985-485-293-8.

Acknowledgment: *The cost for this study were covered by Subprogram 010701: ,,Evaluation of the structure and functioning of animal world and aquatic ecosystems under the influence of biotic and abiotic factors in the context of ensuring ecological security and the well-being of the population” within the Institute of Zoology, MSU.*

Date despre autori:
Elena ROȘCOV*,* doctor în științe biologice, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-3356-151X
E-mail: elena.arcan@gmail.com

Ion TODERAȘ, doctor habilitat, profesor universitar, doctor „Magne cum Laude”, academician, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-1599-838X
E-mail: iontoderas@yahoo.com

Laurenția UNGUREANU, membru corespondent al AŞM, profesor cercetător, doctor habilitat în ştiinţe biologice, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0000-0003-4576-2810
E-mail: ungur02laura@yahoo.com

Daria TUMANOVA**,** doctor în științe biologice, Institutul de Zoologie, Universitatea de Stat din Moldova.
ORCID: 0009-0002-3589-8933
E-mail: dariatumanova@gmail.com

Prezentat la 10.09.2024