

## Szélsőséges környezeti paraméterek formálta mikrobiális közösség egy heliotherm tóban (Medve-tó, Szováta)

Tugyi Nóra\*, Vörös Lajos\*, Boros Emil\*, Felföldi Tamás\*\*, Márialigeti Károly\*\*, Máthé István\*\*\*, Somogyi Boglárka\*

\* MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet, 8237 Tihany, Klebelsberg Kuno u. 3.

(E-mail: tugyi.nora@okologia.mta.hu)

\*\* Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Mikrobiológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C.

\*\*\* Sapientia EMTE, Biomérnöki Tanszék, 530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1. Románia

### Kivonat

A Medve-tó (Szováta) sajátos só- és hőmérsékleti rétegzettség (heliothermia) szélsőséges élőhelyet teremt a planktonikus mikrobiális közösség számára. A korábbi molekuláris biológiai (DNS-alapú) módszerekkel végzett kutatási eredmények igazolták, hogy a szélsőséges környezet egyedi bakteriális közösséget eredményez. Arról azonban csak kevés információval rendelkezünk, hogy a só- és hőmérsékleti rétegzettség hogyan hat a fototróf mikrobiális közösségre. Ezért célunk volt a fototróf közösség összetételének és mennyiségi viszonyainak megismerése a fizikai és kémiai tényezők változásának, illetve az intenzív fürdőzés hatásának tükrében. E kérdés megválaszolásához 2015 májusában és júliusában (a fürdőszezon előtt illetve alatt) mélységi mintavételt és méréseket végeztünk a szováti Medve-tavon, majd fénymikroszkópos módszerekkel vizsgáltuk a teljes fototróf közösséget (piko-, nano- és mikrop plankton). A kapott eredmények azt mutatták, hogy a fürdőszezonon kívül az erős rétegzettség miatt a tóban a fitoplankton összetétele a vízmélység növekedésével nagymértékben változott: amíg a felszíni vízrétegekben a kisebb sótartalom mellett számos taxon előfordult (pl. Cryptophyta ostorosok, kovamoszatok), addig a mélyebb vízrétegek sótartalmát kizárólag a pikoeukarióta algák voltak képesek tolerálni. Ez alatt a réteg alatt kb. 3 méteres mélységben az anaerob baktériumok tömeges megjelenését észleltük, amely megfelel a korábban leírtaknak. Az intenzív fürdőzés hatására a felszíni enyhén sós réteg elkeveredett a mélyebb és sósabb rétegekkel, emiatt a mixolimnionban sem heliothermia, sem sórétegzettség nem volt megfigyelhető. A fototróf szervezetek sem rétegződtek: fitoplankton a váltórétegig minden vízmélységben a pikoeukarióta algák uralták. Az anaerob monimolimnionban azonban a fürdőszezon alatt is megfigyelhető volt a zöld kénbaktériumok tömeges jelenléte.

### Kulcsszavak

sós tavi rétegződés, heliothermia, fototróf mikroorganizmusok

## Microbial communities under extreme environmental conditions in a heliotherm lake (Lake Ursu, Sovata)

### Abstract

Vertical salt and thermal stratification (heliothermy) of Lake Ursu (Sovata, Romania) create an extreme habitat for planktonic microbial communities. Previous results obtained by DNA-based molecular biological methods verified that this extreme environment led to the development of a unique bacterial community. However our knowledge is very limited on the effect of this stratification on phototrophic microbial communities. Our aim was, therefore, to study the effect of stratification and intensive bathing on the biomass and composition of phototrophic communities. Samples were taken from Lake Ursu in May and July 2015 (before and during the bathing season) and the total phytoplankton (pico-, nano- and microplankton) was studied by light microscopy. Based on the obtained results, the stratification had a strong effect on the composition of the phytoplankton before the bathing season: less saline layers had more diverse communities (Cryptophytes, diatoms) than more saline layers, where only picoeukaryotic green algae were found. Below that, mass production of anaerobic green sulphur bacteria was found at 3 m water depth, which corresponds well with earlier results. Intensive bathing resulted in the mixing of the surface freshwater layer and the deeper saline layers: neither salt stratification, nor heliothermy was observed within the mixolimnion. However within the anaerobic monimolimnion, green sulphur bacteria constituted also a deep-layer maxima.

### Keywords

salt stratification, heliothermy, phototrophic microbial communities

### BEVEZETÉS

Az Erdélyi-medencében számos hipersós tavat tartanak számon, amelyek többnyire a bányászat során a sókarszt beomlásával és a keletkezett mélyedés feltöltődésével keletkeztek. A sós alapközetnek megfelelően vizük sokszorosan meghaladja a tengerek átlagosan  $35 \text{ g L}^{-1}$  sókoncentrációját (Puyate és Rim-Rukeh 2008). A hipersós tavakban erős sórétegzettség figyelhető meg: kisebb sókoncentráció jellemzi a felszínhez közelebbi, mint a mélyebb rétegeket. A vízmélység függvényében változnak az élőhelyi paraméterek is, így minden vízréteg

egy-egy habitatnak felel meg, amelyben eltérő mikrobiális együttesek élnek (Demergasso és társai 2008, Keresztes és társai 2012). A hipersós tavak egy csoportja – amelybe a szováti Medve-tó is tartozik – felszíni édesvíz utánpótlást is kap. A tó felszínén az enyhén sós vízréteg nem keveredik az alatta levő sós víztömeggel. A kettő közötti, ún. átmeneti réteg a napsugarak csapdázódása révén jelentős mértékben felmelegszik, hőmérséklete nyáron elérheti akár az  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -ot is. A jelenléte a heliothermia, amelyet néhány tó esetében megfigyeltek a térségben (Nagy és társai 2015).

Az általunk vizsgált szovátai Medve-tavat Európa legnagyobb heliotermikus tavaként tartják számon, amely 1875 óta gazdagítja Erdély különleges tavainak körét. A tavat kb. 3 méteres mélységben a váltóréteg, az ún. haloklin osztja két részre. A haloklin réteg alatt egy nem felkeveredő túltelített sóoldat (monimolimnion), míg a haloklin feletti egy kisebb sótartalommal jellemezhető, felkeveredő vízréteg, a mixolimnion helyezkedik el (Nagy és társai 2014, Máthé és társai 2014). A tavat előszeretettel látogatják fürdőzés céljából, emiatt a rétegződés fürdőszezonban (június végétől szeptember 15-ig) erős zavarásnak kitett (Alexe 2008). Korábban elsősorban DNS-alapú molekuláris biológiai módszerekkel vizsgálták a Medve-tóban a mikroba közösség összetételét (Nagy és társai 2015, Máthé és társai 2014). Ezen vizsgálatok során mélységi a-klorofill illetve c-bakterioklorofill csúcsok jelenlétét írták le, az előbbiben a zöldalga *Picochlorum oklahomensis*, az utóbbiban a *Prosthechochloris vibrioformis* zöld kénbaktérium dominanciával. Emellett molekuláris filogenetikai módszerekkel igazolták egy tengeri pikocianobaktérium csoport (*Synechococcus* VIII. klád) képviselőinek jelenlétét (Mentes és társai 2014). Azonban a teljes fitoplankton összetételéről (piko-, nano- és mikroplankton) illetve az egyes fototróf taxonok dominancia viszonyairól csak kevés ismerettel rendelkezünk.

Az Erdélyi-medence hipersós tavainak algológiai vizsgálata során (amely nem érintette a szovátai Medve-tavat) a 2-3  $\mu\text{m}$ -nél kisebb sejtekkel rendelkező pikoalgák dominanciáját mutatták ki (Somogyi és társai 2014). A vizsgált tavakban a pikoalgák maximális abundanciája meghaladta a 7 millió sejtet milliterenként, részesedésük a teljes fitoplankton biomaszából pedig elérte akár a 90-100%-ot is. A fitoplankton összetételében jellegzetes változásokat írtak le a sókoncentráció növekedésével: amíg a kisebb sótartalmú (< 5%) felszíni régiókban a pikocianobaktériumok uralkodtak, addig a pikocianarióta zöldalgák egészen 19 %-os sótartalomig jelen voltak, de dominánssá csak 3 és 13% között váltak. 13%-os sótartalom felett már csak egy ostoros zöldalga taxon fordult elő tömegesen (*Dunaliella salina*) (Somogyi és társai 2014).

## CÉLKITŰZÉS

Célunk volt a helioterm Medve-tóban élő fényhasznosító (fototróf) mikroba közösség összetételének és mennyiségi viszonyainak megismerése a fizikai és kémiai tényezők változásának tükrében. Továbbá célkitűzésünk volt az intenzív fürdőzés a tó fizikai, kémiai viszonyaira, valamint a fototróf mikrobiális közösség összetételére gyakorolt hatásának feltárása.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A Medve-tóból 2015-ben két alkalommal történt mintavétel a fürdőszezon előtti időszakban (május) és a fürdőszezon idején (július). Mindkét esetben a tó közepén jelöltük ki a mintavételi pontot. A helyszínen különböző vízmélységekben mértük a hőmérsékletet, a pH-t, a fajlagos elektromos vezetőképességet (WTW P8211 terepi műszer), az oldott oxigén koncentrációt (Hach HQ20 terepi műszer), valamint a fotoszintetikusan aktív sugárzás mennyiségét Li-COR radiométerrel. A sókoncentráció

értékeket a mért fajlagos elektromos vezetőképesség értékek alapján kalkuláltuk Williams és társai (1988) szerint. A laboratóriumi mérések során meghatároztuk a fototróf szervezetek számára alapvető fontosságú tápelemek koncentrációját: a nitrát-nitrogén ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ), az ammónia-nitrogén ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), az urea-nitrogén (urea-N) és az összes nitrogén (TN) koncentrációt Eaton és társai (1995) szerint, az oldott reaktív foszfor (SRP), valamint az összes foszfor (TP) koncentrációt Murphy és Riley (1962), valamint Mackereth és társai (1989) szerint. A pigmenteket forró metanolban extraháltuk, majd az a-klorofill koncentrációt a 666, 653 és 750 nm-en mért (Németh 1998), a c-bakterioklorofill koncentrációt a 667 nm-en mért abszorbancia értékek (Castenholz és társai 1973) alapján határoztuk meg Hitachi U-2900 spektrofotométerrel. Az a-bakterioklorofill koncentrációt acetón:metanol 7:2-es elegyében történt extrahálást követően a 775 nm-en mért abszorbancia értékek alapján határoztuk meg Hitachi U-2900 spektrofotométerrel (Biel 1986). Minthogy az a-klorofill és c-bakterioklorofill szerves oldószerben fotométer segítségével nem különíthető el, a vízminták *in vivo* abszorpciós spektruma alapján határoztuk meg azt a vízmélységet, ahol egyik vagy a másik pigment dominált.

A fototróf szervezetek abundanciáját, összetételét fordított plankton- és epifluoreszcens fénymikroszkóp segítségével állapítottuk meg. A nano- és mikrofitoplankton képviselőit fordított plankton mikroszkóppal, Lugoldattal fixált mintákban (Utermöhl 1958), míg a bakteriális méretű fototróf szervezeteket fagyasztott vízmintákban vizsgáltuk, a mintavételt követő 48 órán belül. A szobahőmérsékletű vízmintákat 0,2  $\mu\text{m}$  átmérőjű fehér polikarbonát membránfilterre (Millipore) szűrtük, majd a filtert glicerinbe ágyaztuk. A preparátumokat Olympus BX51 epifluoreszcens mikroszkóppal vizsgáltuk 1000x-es nagyítással, a sejtek detektálása autofluoreszcenciájuk alapján történt. Először a pikocianobaktériumokat és a pikocianariótákat azonosítottuk kékesibolya (U-MWBV2) és zöld (U-MWG2) gerjesztőfény segítségével, a látható fényt érzékelő mikroszkóp kamerával (Olympus DP71) MacIsaac és Stockner (1993) szerint. A következő lépésben a bakterioklorofill-tartalmú baktériumokat detektáltuk kék gerjesztőfényt alkalmazva (350-550 nm), infravörös emissziós filter (> 780 nm) és infrakamera (Olympus XM10) segítségével. Az abundancia meghatározására a Cell<sup>D</sup> szoftver segítségével került sor.

## EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### A tó fizikai és kémiai rétegződése

A májusi (fürdőszezon előtti) mérések során a korábban leírtakhoz (Máthé és társai 2014) hasonló vertikális rétegződést figyeltük meg. A fajlagos elektromos vezetőképesség a vízfelszínen kisebb volt ( $20 \text{ mS cm}^{-1}$ ), majd a mélység növekedésével egészen a haloklin aljáig (3 méter) nőtt (1.a ábra, 1. táblázat). Az alsó rétegben (monimolimnion) a vezetőképesség meghaladta a  $300 \text{ mS cm}^{-1}$  értéket (>  $300 \text{ g L}^{-1}$  NaCl koncentráció, amely telített sóoldatnak felel meg). Ez a rétegződés jelentős mértékű heliotermiával párosult: a felső vízrétegekben mért  $20^\circ\text{C}$ -os vízhőmérséklet 1 méter mélyen  $39^\circ\text{C}$ -ra növe-

kedett, majd ezután fokozatosan újra csökkent egészen 25 °C alá (1. ábra, 1. táblázat). Az oldott oxigén telítettsége a felső enyhén sós vízrétegben 100% volt, majd a mélység növekedésével oxigén túltelítettséget tapasztaltunk (0,75 és 2,75 m között 300 és 400%-os telítettséget mérünk). A három méteres vízmélységet (haloklint) elérve az oxigén telítettség 10% alá csökkent, azaz a váltóréteg az oxigén jelenléte szempontjából két részre osztotta a tavat, egy felső aerob és egy alsó anaerob vízrétegre (1. táblázat). Az aerob vízrétegben a pH 7.5 és 8.8 között volt, az anaerob monimolimnion pH-ja ennél jelentősen alacsonyabb (6,6-6,7) volt. A fotoszintetikusan aktív sugárzás a vízmélységgel fokozatosan csökkent, de az anaerob réteg

tetején még elegendő fény állt a fototróf mikroorganizmusok rendelkezésére (3 méteres mélységbe a felszínre érkező PAR 2%-a jutott le). A növényi tápelemek koncentrációját illetően a felső vízrétegekben kisebb értéket tapasztaltunk, különösen kifejezett volt ez az urea-nitrogén (10-20 µg L<sup>-1</sup>), az ammónia-nitrogén (20-70 µg L<sup>-1</sup>) és az oldott reaktív foszfor (13-200 µg L<sup>-1</sup>) esetében. A mélység növekedésével a növényi tápelemek mennyisége növekedett, különösen a váltóréteget elérve (1. táblázat). A legnagyobb tápelem koncentrációkat a monimolimnionban mértük, ez az urea-nitrogén kivételével több ezer mikrogrammot jelentett literenként (1. táblázat).

1. táblázat. A fürdőszézon előtti időszakban (2015. május 29. -én) mért fizikai és kémiai tényezők változása a vízmélység függvényében, a szovátai Medve-tóban (Románia)

(Rövidítések: T (hőmérséklet), EC (fajlagos elektromos vezetőképesség), DO (oldott oxigén), urea-N (urea-nitrogén), NH<sub>4</sub>-N (ammónia-nitrogén), NO<sub>3</sub>-N (nitrát-nitrogén), TN (összes nitrogén), SRP (oldott reaktív foszfor), TP (összes foszfor), n.a. (nincs adat))

Table 1. Vertical changes of physical and chemical parameters in Lake Ursu (Sovata, Romania) before the bathing season on 29 May 2015

(Abbreviations: T (temperature), EC (electric conductivity), DO (dissolved oxygen), urea-N (urea-nitrogen), NH<sub>4</sub>-N (ammonia-nitrogen), NO<sub>3</sub>-N (nitrate-nitrogen), TN (total nitrogen), SRP (dissolved reactive phosphorus), TP (total phosphorus), n.a. (no data))

Fizikai és kémiai tényezők - 2015. május											
mélység (m)	T (°C)	EC (mS cm <sup>-1</sup> )	pH	DO (mg l <sup>-1</sup> )	DO (%)	urea-N (µg L <sup>-1</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (µg L <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> -N (µg L <sup>-1</sup> )	TN (µg L <sup>-1</sup> )	SRP (µg L <sup>-1</sup> )	TP (µg L <sup>-1</sup> )
0	20,2	20,6	8,82	8,9	104	13	69	774	1291	13	280
0,25	20,3	n.a	n.a	8,7	101	22	21	1145	1557	214	2300
0,5	29,9	n.a	n.a	5,5	77	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
0,75	37,2	n.a	n.a	20,2	319	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	39,3	81	8,93	19,4	317	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1,5	39,2	n.a	n.a	21	342	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2	38,5	n.a	n.a	21	339	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
2,5	38,1	130	8,56	21	400	110	432	1384	5324	528	3133
2,75	36,9	132	7,53	21	400	67	3003	3227	10996	1443	4233
3	35,2	318	6,74	2,8	43	70	2219	5044	24823	4617	8800
3,5	30,5	326	6,63	2,9	41	93	1983	6118	27083	2774	8947
4	28,3	334	6,63	1,9	26	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4,5	26,7	334	6,63	1,8	23	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	26	346	6,63	1,6	21	143	1650	6768	29786	2241	8427

### Fürdőzés hatása a rétegződésre – fizikai és kémiai környezet

A júliusi mintavétel eredményei nagymértékben különböztek a fürdőszézon előtti időszakban kapott értékektől. A fürdőzés hatására a felszínen korábban megfigyelt enyhén sós vízréteg elkeveredett az alsóbb sós rétegekkel, emiatt a mixolimnion a fajlagos elektromos vezetőképesség tekintetében egységes volt (75-85 mS cm<sup>-1</sup>). A haloklin a korábbi méréshez hasonlóan 3 méter körül helyezkedett el, ez alatt a vezetőképesség meghaladta a 300 mS cm<sup>-1</sup> értéket (2. táblázat). A felszíni enyhén sós vízréteg hiánya miatt a helioterma nem volt annyira kifejezett: a mixolimnion hőmérséklete vízmélységtől függetlenül, egységesen 28-29 °C között volt (1. ábra).

A mixolimnionban az oldott oxigén túltelítettségét (150-195%) figyeltünk meg egészen a váltóréteggig. A monimolimnion a májusi méréshez hasonlóan anaerob volt (2. táblázat). Az aerob vízrétegben a pH 8,7 és 9,2 között volt, az anaerob monimolimnion pH-ja ennél jelentősen alacsonyabb (6,8) volt. A korábbi méréstől eltérően a növényi tápelemek esetében nem figyeltünk meg rétegződést a mixolimnionban. A felszíni vízrétegekben (< 1 m) az urea-nitrogén esetében közel tízszer nagyobb (180-250 µg L<sup>-1</sup>) értékeket mértünk, mint májusban. Az ammónia-nitrogén ezzel szemben jelentősen alacsonyabb (17-18 µg L<sup>-1</sup>) volt. A monimolimnionban a korábbiakhoz hasonlóan magas tápelem koncentrációkat mértünk, amely az urea-nitrogén kivételével több ezer mikrogrammot jelentett literenként (2. táblázat).

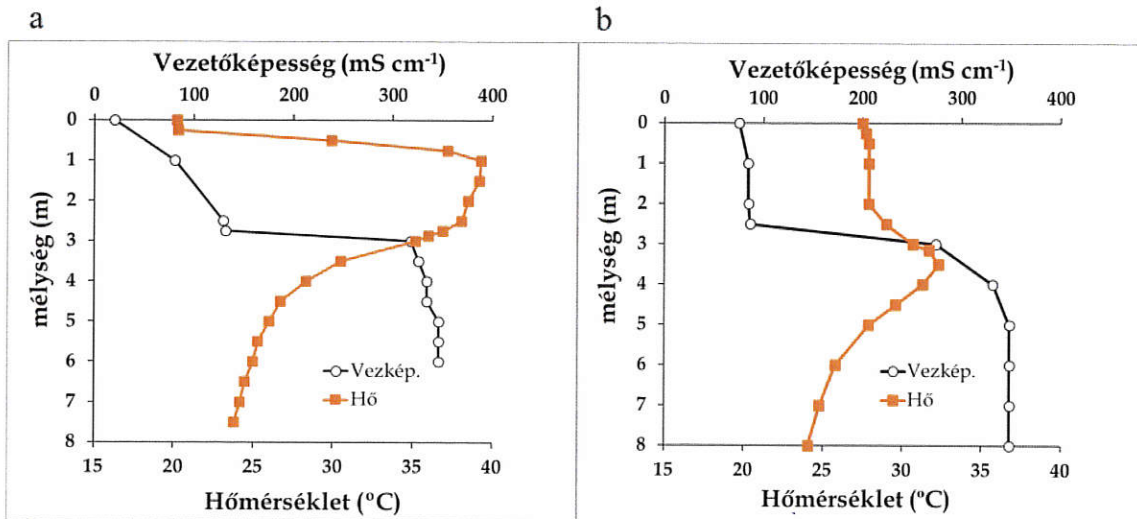
rően a növényi tápelemek esetében nem figyeltünk meg rétegződést a mixolimnionban. A felszíni vízrétegekben (< 1 m) az urea-nitrogén esetében közel tízszer nagyobb (180-250 µg L<sup>-1</sup>) értékeket mértünk, mint májusban. Az ammónia-nitrogén ezzel szemben jelentősen alacsonyabb (17-18 µg L<sup>-1</sup>) volt. A monimolimnionban a korábbiakhoz hasonlóan magas tápelem koncentrációkat mértünk, amely az urea-nitrogén kivételével több ezer mikrogrammot jelentett literenként (2. táblázat).

### Fototróf élőlény közösség összetételének változása

2015 májusában a fizikai és kémiai rétegződés mellett a fototróf mikroorganizmusok mennyiségében és összetételében is jelentős változásokat figyeltünk meg két mélyégi tömegprodukciónál. Az a-klorofill koncentráció a vízfelszíni régiókban 3 µg L<sup>-1</sup> volt, amely a mélységgel növekedett és 2,75 m-en egy mélyégi a-klorofill maximumot (236 µg L<sup>-1</sup>) figyeltünk meg (2. ábra). Az algák mennyiségének növekedése összhangban állt a növényi tápelemek koncentrációjának változásával. Az anaerob vízrétegekben bakterioklorofillok jelenlétét mutattuk ki 3

m-en mért maximum értékekkel: az a-bakterioklorofill koncentráció  $46 \mu\text{g L}^{-1}$ , a c-bakterioklorofill koncentráció pedig  $635 \mu\text{g L}^{-1}$  volt. Ebben a mélységben (ahol a növé-

nyi tápelemek nem limitáltak) még elegendő mennyiségű fotoszintetikusan aktív sugárzás állt rendelkezésre a fototróf mikroorganizmusok számára.



1. ábra. A Medve-tó (Szováta, Románia) só- (fajlagos elektromos vezetőképesség) és hőmérsékleti rétegződésének változása a fürdő-szezon előtti időszakban, 2015 májusában (1.a) és a 2015 júliusi fürdőszézonban (1.b)

Figure 1. Salt and temperatures stratification of Lake Ursu (Sovata, Romania) before (May 2015) (1.a) and during the bathing season (July 2015) (1.b)

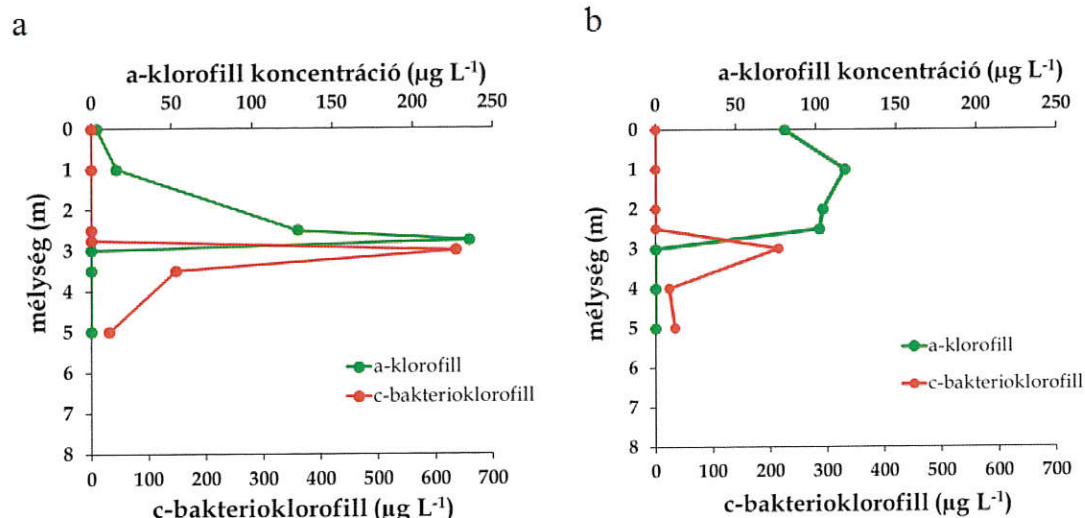
2. táblázat. A fürdőszézonban (2015. július 30.-án) mért fizikai és kémiai tényezők változása a vízmélység függvényében a szováta Medve-tóban. Rövidítések: T (hőmérséklet), EC (fajlagos elektromos vezetőképesség), DO (oldott oxigén), urea-N (urea-nitrogén),  $\text{NH}_4\text{-N}$  (ammónia-nitrogén),  $\text{NO}_3\text{-N}$  (nitrát-nitrogén), TN (összes nitrogén), SRP (oldott reaktív foszfor), TP (összes foszfor), n.a. (nincs adat)

Table 2. Vertical changes of physical and chemical parameters in Lake Ursu during the bathing season (30 July 2015). Abbreviations: T (temperature), EC (electric conductivity), DO (dissolved oxygen), urea-N (urea-nitrogen),  $\text{NH}_4\text{-N}$  (ammonia-nitrogen),  $\text{NO}_3\text{-N}$  (nitrate-nitrogen), TN (total nitrogen), SRP (dissolved reactive phosphorus), TP (total phosphorus), n.a. (no data)

Fizikai és kémiai tényezők - 2015. július											
mélység (m)	T (°C)	EC (mS cm <sup>-1</sup> )	pH	DO (mg l <sup>-1</sup> )	DO (%)	urea-N (μg L <sup>-1</sup> )	$\text{NH}_4\text{-N}$ (μg L <sup>-1</sup> )	$\text{NO}_3\text{-N}$ (μg L <sup>-1</sup> )	TN (μg L <sup>-1</sup> )	SRP (μg L <sup>-1</sup> )	TP (μg L <sup>-1</sup> )
0	27,5	75	9,13	14,6	195	178	17	1225	1779	206	2853
0,25	27,7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
0,5	27,9	n.a.	n.a.	13,5	181	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
1	27,9	84	9,2	12,8	172	271	18	1251	1956	193	3407
2	27,9	85	9,16	11,3	152	250	55	1291	2178	164	3637
2,5	29	87	8,71	n.a.	n.a.	247	244	1755	2621	283	3983
3	30,7	274	7,02	0,7	10	48	1384	8863	23848	4182	12533
3,15	31,7	n.a.	n.a.	0,5	7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3,5	32,3	n.a.	n.a.	0,5	7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4	31,3	332	6,88	0,4	6	61	1252	10574	30628	2972	8147
4,5	29,6	n.a.	n.a.	0,4	5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
5	27,9	348	6,86	0,3	4,8	37	1629	11900	29963	2470	9693

A fürdőszézonban a mixolimnion rétegződésének megszűnése jelentős változásokat okozott a fototróf mikroorganizmusok mélységbeli rétegződésében. Az a-klorofill esetében nem tapasztaltunk mélységi maximumot, a mixolimnionban az a-klorofill koncentráció 80 és

$120 \mu\text{g L}^{-1}$  között volt (2.b ábra). Az anaerob rétegben ezzel szemben 3 m-es vízmélységben megfigyelhető volt a mélységi bakterioklorofill maximum, bár jelentősen kisebb (a-bakterioklorofill:  $15 \mu\text{g L}^{-1}$ , c-bakterioklorofill:  $215 \mu\text{g L}^{-1}$ ) koncentráció értékekkel (2.b ábra).



2. ábra. Az a-klorofill és a c-bakterioklorofill koncentrációjának változása a vízmélység függvényében a szovátai Medve-tóban (Románia) a fürdőszезон előtti időszakban 2015 májusában (2.a) és a 2015 júliusi fürdőszезonban (2.b)

Figure 2. Vertical profile of chlorophyll a and bacteriochlorophyll c concentration in Lake Ursu (Sovata, Romania), before (May 2015) (2.a) and during the bathing season (July 2015) (2.b)

A fürdőszезон előtti időszakban a mixolimnionban a fototróf közösség összetétele a különböző fizikai és kémiai tényezők rétegződése mentén alakult. A biomassza részesedési értékek alapján a legfelső enyhén sós vízi rétegben a *Cryptomonas reflexa* (Cryptophyta) ostoros alga szinte egyeduralgó volt (3. ábra). A mélyebb, de még alacsonyabb sótartalmú ( $55 \text{ g L}^{-1}$ ) vízrétegekből a *Chaetoceras muelleri* (Bacillariophyceae, Heterokontophyta) kovamoszatot detektáltuk nagy számban, részesedésük a teljes fitoplankton biomasszából 31% volt. Mellettük pikoeukarióta algákat figyeltünk meg magas abundancia ( $1,6$  millió sejt  $\text{ml}^{-1}$ ) és részesedési értékekkel (69%). Két méter alatt a pikoeukarióta zöldal-

gák egyeduralgóvá váltak a tömény sós ( $112 \text{ g L}^{-1}$ ), de még aerob vízrétegekben: 2,5 méteres mélységben abundanciájuk  $2,6$  millió sejt  $\text{ml}^{-1}$ , 2,75 méteres mélységben pedig  $3,1$  millió sejt  $\text{ml}^{-1}$  volt (3. ábra, 3. táblázat). Mellettük pikocianobaktériumok jelenlétét is megfigyeltük, de jóval alacsonyabb abundancia értékekkel (3. táblázat). A haloklin alatti anaerob környezetet bakterioklorofillt tartalmazó zöld kénbaktériumok uralták, abundanciájuk 3 m-en meghaladta az  $50$  millió sejt  $\text{ml}^{-1}$ -es értéket (3. ábra, 3. táblázat). Ezekbe az anaerob vízrétegekbe süllyedve megfigyeltünk aerob fototróf szervezeteket (elsősorban pikoeukarióta algákat) is, azonban ezeket inaktívnak tekintettük.

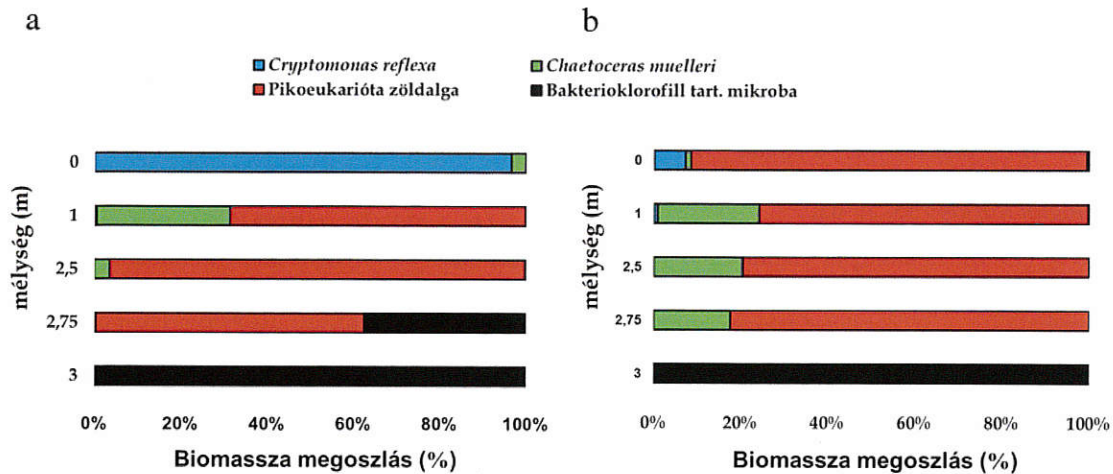
3. táblázat. A fototróf pikoplankton abundanciája a szovátai Medve-tóban (Románia) 2015 májusában és júliusában. Rövidítések: CyAPP (pikocianobaktérium), EuAPP (pikoeukarióta zöldalga), BChl bacteria (bakterioklorofill-t tartalmazó, fototróf baktériumok). Az anaerob monimolimnionba süllyedt algákat, amelyeket inaktívnak tételeztünk fel, zárójelben tüntettük fel

Table 3. Phototrophic picoplankton abundance in Lake Ursu (Sovata, Romania) in May and July 2015. Abbreviations: CyAPP (picocyanobacteria), EuAPP (picoeukaryotic green algae), BChl bacteria (phototrophic bacteria which contains bacteriochlorophylls). Aerobic cells (picocyanobacteria and picoeukaryotes) from the anoxic monimolimnion, which were assumed to be inactive, are showed among brackets

mélység (m)	Fototróf mikroorganizmusok abundanciája					
	2015. május			2015. július		
	CyAPP ( $10^4$ sejt $\text{ml}^{-1}$ )	EuAPP ( $10^4$ sejt $\text{ml}^{-1}$ )	BChl bacteria ( $10^4$ sejt $\text{ml}^{-1}$ )	CyAPP ( $10^4$ sejt $\text{ml}^{-1}$ )	EuAPP ( $10^4$ sejt $\text{ml}^{-1}$ )	BChl bacteria ( $10^4$ sejt $\text{ml}^{-1}$ )
0	0	0	0	0	170	10
1	5	168	14	0	210	6
2,5	24	263	80	0	230	4
2,75	10	313	2148	0	230	0
3	(10)	(377)	5133	(0)	(183)	2780
3,5	(34)	(196)	565	(0)	(89)	281
5	(8)	(79)	85	(0)	(61)	156

A fürdőszезonban a fényhasznosító planktonikus mikroorganizmusok mélységbeli rétegződése megváltozott, a pikoeukarióta zöldalgák a felsőbb vízrétegekbe is bekerültek, míg a kovamoszatok az alsó, mélyebb vízrétegekben is megtalálhatóak voltak. A fitoplanktont a váltórétegeig minden vízmélységben a pikoeukarióta zöldalgák uralták, abundanciájuk  $1,7$ - $2,3$  millió sejt  $\text{ml}^{-1}$  volt (3. táblázat). Mellettük a vízfelszínen (valószínűleg

aktív mozgásuknak köszönhetően) alacsony részesedési értékekkel (7%) ostoros algákat (*C. reflexa*) figyeltünk meg (3. ábra), a mélyebb rétegekben (1-2,75 m) pedig kicsit magasabb részesedési értékekkel (átlagosan 20%) a kovamoszatok (*C. muelleri*) voltak jelen. Az anaerob monimolimnionban a zöld kénbaktériumok domináltak, abundanciájuk 3 m-en  $2,8$  millió sejt  $\text{ml}^{-1}$  volt (3. ábra, 3. táblázat).



3. ábra. A fototróf mikrobiális közösség összetételének változása a mélység függvényében a szovátai Medve-tóban a fürdőszезон előtti időszakban 2015 májusában (3.a) és a 2015 júliusi fürdőszезonban (3.b). Az anaerob monimolimnionban (3 m) csak az anaerob szervezeteket tüntettük fel, az ott detektált pikocianobaktériumokat és pikoekariótákat inaktívnak tekintettük

Figure 3. Vertical changes of the composition of phototrophic microbial assemblages in Lake Ursu (Sovata, Romania) before (May 2015) (3.a) and during the bathing season (July 2015) (3.b). Biomass of aerobic cells (picocyanobacteria and picoeukaryotes) from the anoxic monimolimnion are not included

A szovátai Medve-tó fototróf mikrobiális közösségének vizsgálata során is beigazolódott, hogy hipersós tavakban a pikoalgák – és különösen a pikoekarióta zöldalgák – jelentős szerepet töltenek be, főként a mélyebb és sósabb vízrétegekben. Más hipersós tavakhoz hasonlóan (Somogyi és társai 2014) a pikoekarióta algák nagy sótoleranciájuknak köszönhetően mélyeségi tömegprodukciónak alakíthatnak ki azokban a vízrétegekben, ahol már elegendő tápanyag és még megfelelő mennyiségű fény áll rendelkezésükre. Emellett a Medve-tó esetében az anaerob monimolimnionban halofil zöld kénbaktérium tömegprodukciónak figyeltünk meg.

A fürdőzés negatívan hat a Medve-tó felszíni vízrétegeinek vertikális rétegzettségére, amelynek következtében kifejezett heliotermia nem figyelhető meg. Fürdőzés hatására a mixolimnionban a vizsgált fizikai, kémiai, és biológiai paraméterek homogénné és a vízmélységtől függetlenné váltak.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az OTKA PD 112449 és OTKA PD 105407 projekt támogatta. Köszönet illeti Németh Balázst és Keresztes Zsolt Gyulát a terepi mintavételezés során nyújtott segítségéért, valamint Szabó Tímeát és Kelemen Anettet a laboratóriumi munkákban nyújtott segítségéért. Felföldi Tamás munkáját a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatói ösztöndíja segítette.

## IRODALOM

Alexe M., Serban G. (2008). Consideration regarding the salinity and water temperature of salty lakes of Sovata and Ocna Sibiului. *Seria Științele Vieții Life Sci. Ser.*, **18**, 305-312.

Biel A. J. (1986). Control of bacteriochlorophyll accumulation by light in *Rhodobacter capsulatus*. *J. Bacteriol.* **168**, 655-659.

Castenholz W. R. (1973). The possible photosynthetic

use of sulfide by the filamentous phototrophic bacteria of hot springs. *Limnol. Oceanogr.*, **18** (6).

Demergasso C., Escudero L., Casamayor E. O., Chong G., Balagué V., Pedrós-Alió C. (2008). Novelty and spatio-temporal heterogeneity in the bacterial diversity of hypersaline Lake Tebenquiche (Salar de Atacama). *Extremophiles*, **12** (4), 491-504.

Eaton A. D., Clesceri L. S. & Greenberg A. E. (1995). Solids. – In *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19th. American Public Health Association, USA, 1-47.

Keresztes Zs. Gy., Felföldi T., Somogyi B., Székely Gy., Bartha Cs., Nicolae D., Márialigeti K., Nagy E., Vörös L. (2012). A fitoplankton molekuláris diverzitása az Erdélyi-medence sós tavaiban. *Hidrológiai Közöny*

Mackereth F. J. H., Heron J. & Talling J.F. (1989). Water analysis: some revised methods for limnologists. *Freshwater Biological Association Scientific Publication*, 84-90.

MacIsaac E. A. & Stockner J.G. (1993). Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy. – In: Kemp, P.F., Sherr, B.F., Sherr, E.B. & Cole, J.J. (eds.): *Handbook of Methods in Aquatic Microbial Ecology*, Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 187-197.

Máthé I., Borsodi K. A., Tóth M. E., Felföldi T., Juracsek L., Krett G., Kelemen Zs., Elekes E., Barkács K., Márialigeti K. (2014). Vertical physico-chemical gradients with distinct microbial communities in the hypersaline and heliothermal Lake Ursu (Sovata, Romania). *Extremophiles*. **18** (3), 501-514.

Mentes A., Keresztes Zs. Gy., Hegyi A., Márialigeti K., Máthé I., Somogyi B., Vörös L. & Felföldi T. (2014). Tengeri pikocianobaktériumok Erdély sós tavaiban. *Hidrológiai Közöny* **94** (4): 19-21.

Murphy J. & Riley J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* **27**, 31–36.

Nagy B.J., Szabó A., Somogyi B., Vörös L., Márialigeti K., Máthé I., Felföldi T. (2015). Helioterikus sós tavak planktonikus mikrobaközösségei. *Hidrológiai Közlemények* **95**, 59–63.

Németh J. (1998). A biológiai vízminősítés kérdései. *Vízi természet és környezetvédelem 7. KGI. Budapest* 1–303.

Puyate Y. T., Rim-Rukeh A. (2008). Variability with depth of some physico-chemical and biological parame-

ters of Atlantic Ocean water in part of the coastal area of Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* **12** (1), 87 – 91.

Somogyi B., Vörös L., Pálffy K., Székely Gy., Bartha Cs. & Keresztes Zs. Gy. (2014). Picophytoplankton predominance in hypersaline lakes (Transylvanian Basin, Romania). *Extremophiles* **18**, 1075–1084.

Utermöhl H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik. *Mitt. Int. Theor. Angew. Limnol.* **9**, 1–38.

Williams DW (1998). Guidelines of lake management, vol 6. Management of inland saline waters. *International Lake Environment Committee Foundation*, Japan.

## A SZERZŐK



**TUGYI NÓRA** Tudományos segédmunkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Másodéves PhD hallgató a Biológia Doktori Iskolában, az Eötvös Loránd Tudományegyetemen. Kutatási területek: a heterotróf baktériumok szerepének vizsgálata sekély tavakban, valamint az aerob anoxigenikus fotoheterotróf baktériumok elterjedésének, szerepének vizsgálata hazai vizekben. Elérhetőség: tugyi.nora@okologia.mta.hu

**VÖRÖS LAJOS** Limnológus, algológus, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Kutatja a felszíni vizek eutrofizációját, a vízgyűjtőterület és a befogadó kapcsolatát. Limnológiai, algológiai kutatásai kiterjednek a Balatonon kívül természetes és mesterséges sekély és mély tavakra valamint extrém élőhelyekre, mint a Kárpát-medence szikes tavai és az Erdélyi Sóvidék hipersós vizei. E-mail: voros.lajo@okologia.mta.hu

**BOROS EMIL** Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. Az Eurázsiai szikes, sós vizekkel és sekély tavakkal kapcsolatos limnológiai kutatások képezik fő tevékenységét. Ezen belül kiemelt témája az anyagforgalmi és trofikus kapcsolatok, a mezozooplankton, a makrogerinctelen és vízimadár közösségek kutatása, melyben közel 20 éves szakmai tapasztalata van. Emellett elsősorban tavak, vizes- és füves élőhelyek természetvédelmével, kezelésével és helyreállításával is foglalkozik, melyben több mint 25 éves gyakorlati tapasztalattal rendelkezik. E-mail: boros.emil@okologia.mta.hu

**FELFÖLDI TAMÁS** Biológus, PhD fokozatát az Eötvös Loránd Tudományegyetem Mikrobiológiai Tanszékén szerezte meg, az ELTE adjunktusa, a Genomikai Laboratórium vezetője. Jelenlegi kutatási területe természetes vizes élőhelyek mikrobiális ökológiáját és gerinctelenek molekuláris taxonómiáját öleli fel, amiket új fajok leírása egészít ki.

**MÁRIALIGETI KÁROLY** Biológus, mikrobiológus, habilitált egyetemi tanár, az MTA doktora. Mester és doktori képzésben az általános és környezeti mikrobiológia legtagabb területén tart előadásokat. Közleményei a környezeti mikrobiológia, mikrobiális ökológia, mikrobiális taxonómia és filogenetika, környezeti biotechnológia témakörében jelentek meg. Száznál több angol nyelvű folyóiratcikkére 1700 feletti független hivatkozást kapott.

**MÁTHÉ ISTVÁN** Biológus, PhD fokozatát a Babeş-Bolyai Tudományegyetem Biológia-Geológia Karán szerezte meg, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem docense. Jelenlegi kutatási területe extrém és különleges vizes élőhelyek illetve szennyezett talajok mikrobiális ökológiájának vizsgálata.

**SOMOGYI BOGLÁRKA** Tudományos munkatárs, MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet. PhD fokozatát 2011-ben szerezte meg az Eötvös Loránd Tudományegyetemen, hidrobiológia szakterületen. Kutatási területe a fotoautotróf és heterotróf mikroorganizmusok dinamikájának és kapcsolatrendszerének vizsgálata természetes vizekben. Kiemelten foglalkozik pikoalga törzsek izolálásával, tenyésztésével, ökofiziológiai vizsgálatával illetve molekuláris filogenetikai azonosításával. E-mail: somogyi.boglarka@okologia.mta.hu