

Heliotermikus sós tavak planktonikus mikrobaközösségei

Nagy Balázs József¹, Szabó Attila¹, Somogyi Boglárka², Vörös Lajos², Márialigeti Károly¹, Máthé István³, Felföldi Tamás^{1,3}

¹ELTE Mikrobiológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter stny. 1/c. (tamas.felfoldi@gmail.com)

²MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet, 8237 Tihany, Klebelsberg Kuno u. 3.

³Sapientia EMTE Biomérnöki Tanszék, Ro-530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.

Kivonat: Egyes sós tavak speciális hőretegződést mutatnak (heliotermia): a napenergia fűtő hatására a felszín alatt alakul ki a hőmérsékleti maximum. 2013 júliusában három mély heliotermikus sós tavat mintáztunk Erdélyben, amelyek különböző emberi behatásnak vannak kitéve. A vízaknai Feneketlen-tó természetvédelmi terület, a szovátai Medve-tó a nyár folyamán gyógyfürdőként üzemel, a vizsgált marosújvári „Plus-tó” pedig erősen szennyezett (a sóbánya egyik üregének beszakadása során keletkezett a tó, elnyelve egy élelmiszer áruházat árukészletével, berendezéseivel együtt). A tavakban 2-4 méteres mélységben volt mérhető a legnagyobb hőmérséklet (33,2-41,7 °C) és a legnagyobb a-klorofill koncentráció. A Feneketlen-tó fitoplanktonját a *Dunaliella* jellemezte, míg a Medve-tóban a pikofitoplankton és zöld kénbaktériumok speciális rétegződése volt megfigyelhető. Az újgenerációs DNS-szekvenálás kimutatta a Bacterioidetes, Cyanobacteria, Proteobacteria, Firmicutes (és ezen kívül a Medve-tóban még a Chlorobi) törzsek dominanciáját. A Feneketlen-tó különlegessége volt, hogy az eufotikus réteget a fény hajtotta protonpumpával (rodopszin) rendelkező *Salinibacter* nemzetség uralta. A tavak mélyebb rétegeit obligát anaerob szervezetek jellemezték (pl. a szulfát-redukáló *Desulfonauticus* nemzetség). Eredményeink azt mutatták, hogy a heliotermikus sós tavakban egyedi és különleges mikrobiális közösségek élnek.

Kulcsszavak: heliotermia, sós tó, Erdély, újgenerációs DNS-szekvenálás, planktonikus mikroorganizmusok.

Bevezetés

Egyes sós tavak speciális hőretegződést mutatnak, amelyet a vertikálisan változó sótartalom és a napsugárzás fűtő hatása okoz. Ennek eredményeként a felszín alatt néhány méteres mélységben meglehetősen meleg vízréteg alakul ki (*Kalecsinszky, 1901; Wetzel, 2001*). A jelenség neve: heliotermia. Keletkezésüket tekintve többnyire oldásos tavakról beszélhetünk, mélyek, és só-koncentrációjuk akár 7-8-szor nagyobb a tengervízénél. A mélységi hőmérsékleti maximum környékén esetenként a-klorofill maximum is található (*Máthé és mtsai., 2014*). A heliotermia befolyásoló tényezői a felszíni édesvíz réteg vastagsága, a globálsugárzás intenzitása, a tó vízének sókoncentrációja és a levegő hőmérséklete. Földünkön több heliotermikus sós tó található igen különböző földrajzi elhelyezkedéssel, ilyen például az antarktiszi Ekho Lake (*Labrenz és Hirsch, 2001*), a Washington államban található Hot Lake (*Wetzel, 2001*), az egyiptomi Solar Lake (*Cytryn és mtsai., 2000*) és az általunk is vizsgált erdélyi tavak: a Medve-tó, a Feneketlen-tó és az újonnan keletkezett marosújvári „Plus-tó”.

A Medve-tó (Lacul Ursu) Szováta fő turisztikai célpontja, a tó egyik fele nyaranta gyógyfürdőként üzemel. A vízaknai Feneketlen-tó (Lacul Fără Fund) korábban szintén fürdőhelyként üzemelt, de 2000 óta természetvédelmi területté nyilvánították, és ma már egy kerítés is védi. Marosújváron pedig 2010-ben keletkezett egy heliotermikus tó (Lacul „Plus”) egy teljes Plus nevű élelmiszer áruház elnyelésével. Mindez azért következett be, mert a felszín alatti vízfolyások kimosták a szupermarket alatti alapkőzetet, kiszélesítve ezzel a mélyben lévő sóbányaüreget. A tó vize rendkívül szennyezett, mivel a szupermarket szerkezeti anyagai és teljes árukészlete a tóban van. Ezen kívül szennyez még a sóbányászathoz használt gázolaj (az oldással felszínre hozott sókitermelésnél a mélybe pumpált víz fölé rétegeztek gázolajat, hogy a víz csak az alatt oldja ki a sót, megakadályozva ezzel felszínhez közeli földalatti üregek kialakulását, ill. beomlását).

Korábbi kutatási eredményeink (*Somogyi és mtsai., 2014*) alapján elmondható, hogy a Feneketlen-tóban 2011 nyarán 2,4 m-en volt mérhető a hőmérséklet maxi-

muma (29 °C), amivel oxigén túltelítettség (>20 mg/L, 200 %), valamint 3 m mélyen az a-klorofill koncentráció maximuma (21 µg/L) is együtt járt. A Medve-tónál a korábbi kutatások során (*Hegyi és mtsai., 2012; Márialigeti és mtsai., 2014; Máthé és mtsai., 2014*) megállapítottuk, hogy szintén kb. 3 m-es mélységben található a hőmérséklet maximuma, viszont 2,5 m-en a-klorofill, míg 3 m-en a c-bakterioklorofill koncentrációjának maximuma volt mérhető, ez utóbbit fototróf zöld kénbaktériumok, a *Prosthecochloris* nemzetség tagjainak tömeges előfordulása okozta. A marosújvári tó esetében a tókeletkezés folyamatában vagyunk, nincsenek előzetes kutatási eredmények.

Célunk volt feltárni a fent említett három erdélyi heliotermikus sós tó planktonikus mikrobaközösségének összetételét mikroszkópos és nagy felbontású molekuláris mikrobiológiai módszerek kombinálásával.

Anyag és módszer

A heliotermikus sós tavak mikrobaközösségeinek megismeréséhez 2013. július 17-18-án vettünk vízmintát különböző mélységekből búvárszivattyú segítségével. A hőmérséklet, vezetőképesség és oldott oxigén koncentráció értékeit a helyszínen mértük XR-420 CTD+ (RBR) és MultiLine P 8211 (WTW) multiméterekkel, míg az a-klorofill (*Wellburn, 1994*), valamint az a- és c-bakterioklorofill koncentrációjának meghatározása (*Castenholz, 1973; Biel, 1986*) laboratóriumi körülmények között történt. A Feneketlen-tóból származó vízminták *in vivo* abszorpciós spektrumát üvegszálas membránfilteren (0,4 µm) való tömörítés után UV-VIS 160A spektrofotométer segítségével határoztuk meg. A piko méretű algák vizsgálatát epifluoreszcens (*MacIsaac és Stockner, 1993*), míg a nagyobb algákat fordított mikroszkóppal végeztük (*Utermöhl, 1958*).

A DNS vizsgálatokhoz a vízmintákat szűrőpapíron tömörítettük, a DNS-t az UltraClean Soil DNA Isolation Kit (MoBio) felhasználásával izoláltuk. A PCR-hez Phusion Hot Start II High-Fidelity DNS polimeráz enzimet (Thermo Scientific), valamint S-D-Bact-0341-b-S-17 és S-D-Bact-0785-a-A-21 (*Klindworth és mtsai., 2013*) primereket használtunk, ennek segítségével a 16S riboszomális RNS-t kódoló gént szaporítottuk fel a Bacteria do-

ménre specifikusan. Az ún. fúziós primerek egyedi azonosító bázissorrend szekvenciákkal is rendelkeznek. Ez lehetővé teszi a későbbi lépésekben a minták megkülönböztetését egységes DNS könyvtár elkészítése során, majd akár 10 minta egyidejű szekvenálását. A PCR-t minden mintával három párhuzamos reakcióban végeztük el, hogy az esetleges amplifikációs hibákat minimalizáljuk. Ezt követően a PCR termékeket a High Pure PCR Cleanup Micro Kit (Roche) utasításai alapján tisztítottuk, majd 2100 Bioanalyzer (Agilent) berendezéssel mintánként megmértük a DNS pontos koncentrációját, hogy a könyvtárak egyenlő mennyiségben tartalmazzák a 10 minta DNS-ét. Ezt követően még egy ellenőrző koncentráció mérést végeztünk el a Qubit 2.0 (Invitrogen) fluoriméterrel. Az újgenerációs DNS-szekvenálást GS Junior (Roche) berendezéssel végeztük a gyártó utasításait követve, majd bioinformatikai módszerekkel (ld. *Felföldi és mtsai., 2015*) értékeltük ki a kapott adatokat.

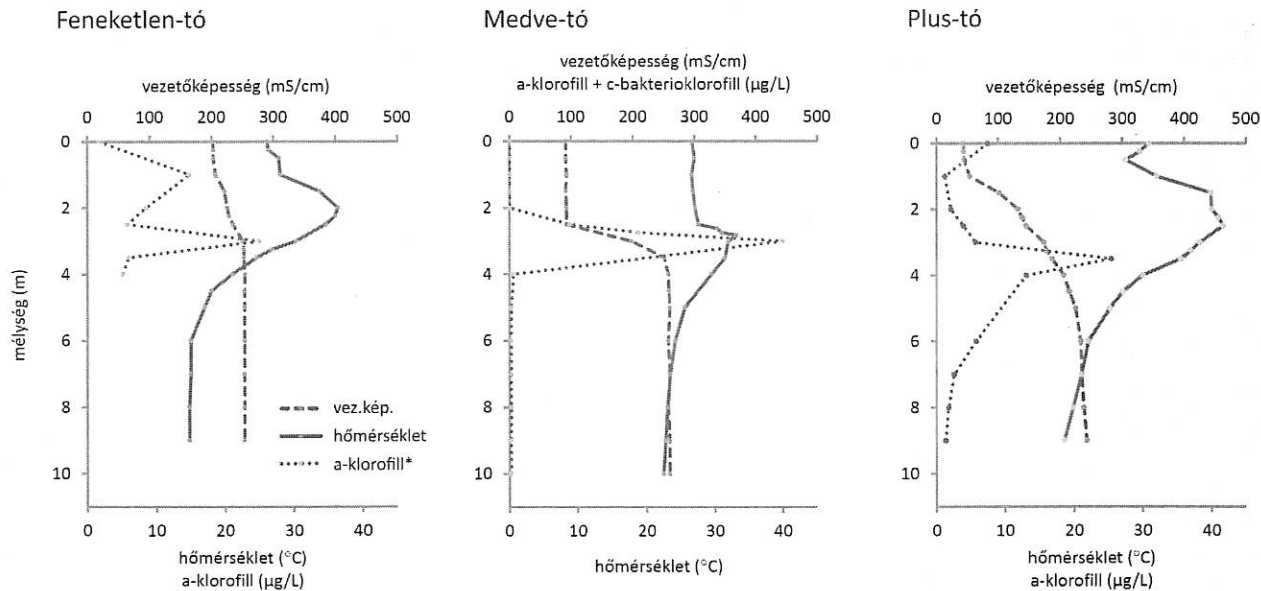
Eredmények és értékelésük

A három különböző heliotermitikus sós tó főbb limnológiai jellemzőit az **1. ábra** mutatja be. Jól látható, hogy a sókoncentráció (vezetőképesség) hirtelen növekedése mellett 2-4 méteres mélységében hőmérsékleti maximumot mértünk, vagyis mindhárom vizsgált tó heliotermit volt. A hőmérsékleti maximum mellett a-klorofill (+bakterioklorofill) maximumot is megfigyeltünk. A három tó esetében összesen 18 darab, különböző mélységekből származó minta baktériumközösségének taxonómiai összetételét határoztuk meg újgenerációs DNS-szekvenálással (**2. ábra**). A tavakban a Bacteroidetes, Cyanobac-

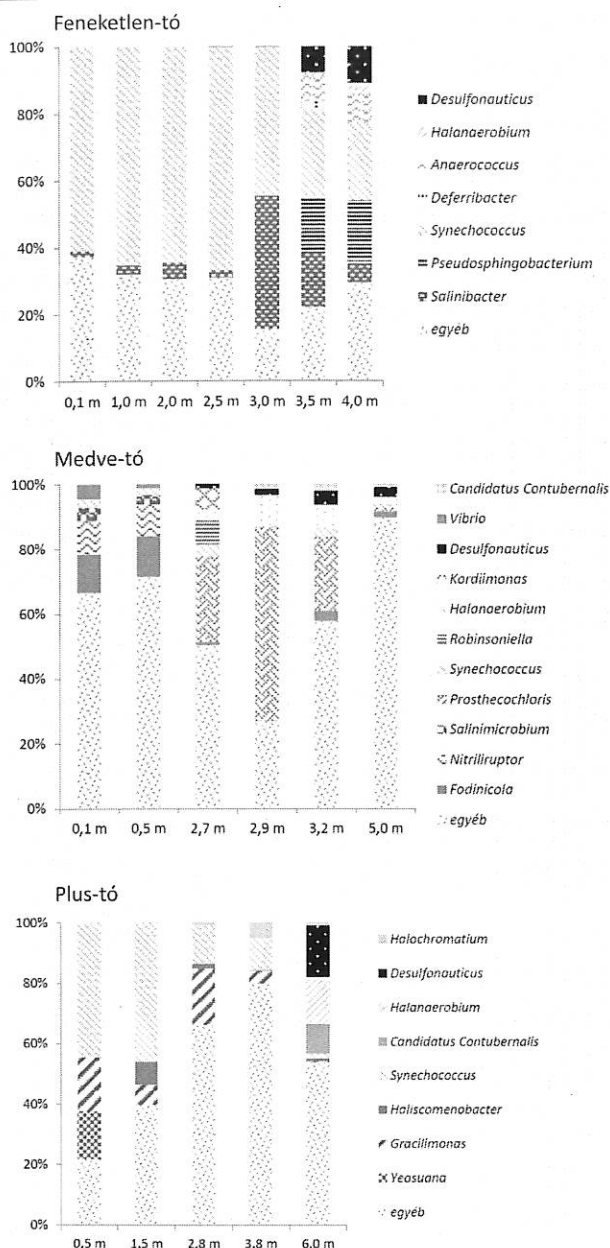
teria, Proteobacteria, Firmicutes (valamint a Medve-tónál még a Chlorobi) phylumok voltak dominánsak. A vizsgálatok eredményeit a következőkben az egyes tavak vonatkozásában részletesen tekintjük át.

A **vízaknai Feneketlen-tóban** 2013 júliusában a hőmérséklet a felszíntől (26,1 °C) egészen 2 m mélységig emelkedett, ahol mélységi hőmérséklet maximum alakult ki (36,4 °C). A mélyebb rétegek felé haladva a hőmérséklet 15 °C-ig csökkent. A vezetőképesség a vízfelszínen 202 mS/cm volt, majd a mélységgel növekedett és kb. 3 m mélyen elérte maximumát, ami a mélyebb rétegekben állandósult (251-254 mS/cm).

A mintavétel során a víz jellegzetes pirosas elszíneződését figyeltük meg a felszíni vízminták (0-3,5 m) esetében. A felvett *in vivo* abszorpciós spektrumok (**3. ábra**) alapján három jelentős abszorpciós csúcsot figyeltünk meg (475 nm, 505 nm és 540 nm), amely a rodopszin-alapú (bakteriorhodopszin vagy xanthorhodopszin tartalmú) fényhasznosító szervezetek nagyszámú jelenlétére engedett következtetni (*Balashov és mtsai., 2008*). Az *in vivo* abszorpciós spektrumokon az a-klorofill abszorpciós csúcsa nem volt megfigyelhető, amely arra utalt, hogy a vízmintában a rodopszint tartalmazó baktériumok pigmentjeinek mennyisége jóval meghaladta az a-klorofill mennyiségét. Az a-klorofill koncentráció két mélységi maximumot is mutatott: 1 m-en 15 µg/L és 3 m-en 25 µg/L értékeket mértünk. Mikroszkópos vizsgálatunk alapján a fitoplankton a sós tavak egyik jellegzetes ostoros zöldalgája, a *Dunaliella* sp. képviselte.



1. ábra. Mélységi hőmérséklet, vezetőképesség és a-klorofill koncentráció profilok a három vizsgált heliotermitikus sós tóban 2013 júliusában (* a Medve tó esetében az a-klorofill és a c-bakterioklorofill együttes koncentrációját tüntettük fel a grafikonon)

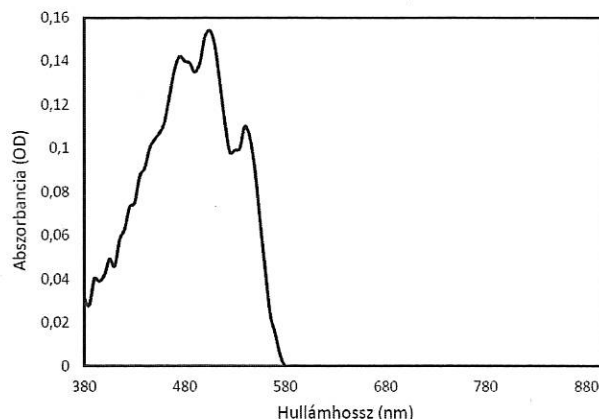


2. ábra. A baktériumnemzetségek relatív mennyisége a három vizsgált heliotermikus sós tó különböző mélységeiben 2013 júliusában

Az újgenerációs DNS-szekvenálás eredménye alapján elmondható, hogy a felszíni vízrétegektől egészen 2,5 m mélységig a *Synechococcus* cianobaktérium nemzetség (*Dworkin és mtsai., 2006*) tagjai fordultak elő túlnyomó többségben. A nemzetség tulajdonképpen a teljes fotikus rétegben megtalálható volt, még az anaerob mélységekben is. Itt kisebb arányban, vélhetőleg a sejtek ülepedésének következtében, amint azt már más tavaknál is megfigyelték (*Budinoff és Hollibaugh, 2007*). A Feneketlen-tó egyik legkülönlegesebb, fotoheterotróf nemzetsége az aerob, extrém sós környezeteket kedvelő, xantorodopszinnal rendelkező bíbor színű *Salinibacter* (*Oren, 2013*). Ez az alapvetően kemoorganotróf szervezet a szervesanyag hasznosításán felül ATP-t állít elő xantorodopszin segítségével úgy, hogy a begyűjtött fotonok a retinal molekulákban konformációváltozást okoznak, ami protonokat pumpál ki a periplazmatikus térbe. Így pro-

tonkoncentráció-grádiens alakul ki a membrán két oldala között, amit az ATP-szintáz hasznosít kémiai energia termelésére (*Anton és mtsai., 2002*).

Érdekes, hogy az új generációs szekvenálási eljárások alapján a víztest teljes egészében a fotoszintetizáló *Synechococcus*ok voltak dominánsak, míg az *in vivo* abszorpciós spektrumok a rodopszin-alapú baktériumok dominanciájára engedtek következtetni. Ugyanakkor a *Salinibacter* piros sejtei mellett valószínűleg döntően meghatározza a Feneketlen-tó vízének a színét a felszíni rétegek Archaea közösségét uraló halobaktériumok bakteriorodopszinjának bíbor színe is (*Nagy. B.J., Szabó A. és Felföldi T., publikálatlan eredmények*).



3. ábra. A Feneketlen-tó felszíni vízmintájának *in vivo* abszorpciós spektruma

Az anaerob mélységekben (3,5 m-től) az aminosav- és fehérjebontó, szigorúan anaerob körülményeket kedvelő *Anaerococcus* (*Ezaki és mtsai., 2001*) és a szulfát-redukáló *Desulfonauticus* nemzetségek (*Audiffren és mtsai., 2003*) voltak dominánsak. Ebben a víztestben jelentős mennyiségben fordultak elő még a *Pseudosphingobacterium* nemzetség fajai, amik tengerekből leirt mezofil, heterotróf, nitrát-redukáló baktériumok (*Vaz-Moreira és mtsai., 2007*).

A szovátai Medve-tóban a vízfelszíntől (26,7 °C) 2,8 m-ig emelkedett a hőmérséklet, ahol a mélységi hőmérséklet maximum (33,2 °C) jelentkezett, értéke ezután a mélyebb rétegekben 22,5 °C-ra csökkent (*1. ábra*). A vezetőképesség a vízfelszínen 92 mS/cm volt, 2,5 és 3,5 m között pedig egy hirtelen növekedés volt megfigyelhető, ezután értéke a mélyebb rétegekben állandósult (258-260 mS/cm). A fotoszintetikus pigmentek koncentrációja maximumát 3 m-en érte el, az a-klorofill mellett jelentős mértékű volt a c-bakterioklorofill mennyisége is. Mikroszkópos vizsgálatok alapján a fitoplanktonban a pikoalgák domináltak (cianobaktériumok és eukarióták egyaránt), biomassájuk maximuma 2,5 m-en volt megfigyelhető, ahol pikoeukarióta dominanciát tapasztaltunk (1536 µg/L). A nagyobb algák ehhez képest elenyésző planktonikus biomasszát jelentettek (az egyes mintákban értéke 3-13 µg/L volt), *Rhodomonas*, *Nitzschia* fajok és apró ostorosok alkották.

A DNS-szekvenálási eredmények alapján a tó felszínén (0,1-0,5 m) a heterotróf *Fodinicola* (*Carlsohn és mtsai., 2008*) és a toxikus amidokat és nitrileket energiaforrásként hasznosító, sótűrő *Nitriliruptor* (*Sorokin és mtsai., 2009*) genusok domináltak. Ugyanitt kisebb arány-

ban megtalálhatóak voltak a pikocianobaktériumok (*Synechococcus* nemzetség) is. Egy párhuzamosan zajló, molekuláris klónozáson alapuló vizsgálat alapján igazolást nyert, hogy az itt található pikocianobaktérium közösséget a *Synechococcus* nemzetség obligát tengeri képviselőinek egy nagyon ritkán előforduló kládja alkotja kizárólagosan (Mentes és mtsai., 2014). Az anaerob rétegek felé haladva a szénhidrátokat szukcináttá és acetáttá lebontó *Robinsoniella* (Cotta és mtsai., 2009), a cukrokat és aminosavakat fermentáló *Halaneorobium* (Krieg és mtsai., 2010) és a mezofil, enyhén halofil, aerob *Kordiimonas* (Kwon és mtsai., 2005) voltak a legfontosabb kimutatott nemzetségek a domináns *Prosthecochloris* zöld kénbaktérium (Imhoff, 2003) mellett. Ezek a c-bakterioklorofillt tartalmazó zöld kénbaktériumok a tó mélyén zajló lokális kénkörforgalomban vesznek részt, hiszen a szulfát-redukáló *Desulfonauticus*ok által a mélyebb rétegekben termelt kén-hidrogént oxidálják vissza szulfáttá vagy elemi kénné [(a zöld réteg alatt több korábbi mintavétel alkalmával is megfigyelhető volt egy opálos, valószínűleg elemi ként tartalmazó zóna (Márialigeti és mtsai., 2014)], amit a mélyben újra a szulfát-redukálók hasznosíthatnak. Ezekhez a szervezethez köthető még egy genus, az acetát-oxidáló „*Candidatus* Contubernalis”, ami szintrófikus kölcsönhatásban él szulfát-redukáló baktériumokkal (Zhilina és mtsai., 2005). Végeredményben annak ellenére, hogy a Medve-tóban meglehetősen intenzív szulfát-redukáló aktivitás van, a 3 m-es mélységben élő zöld kénbaktériumok anyagcseréjük révén megakadályozzák a termelő kén-hidrogén felszínre törését. Ez teszi lehetővé a tó gyógyfürdőként való használatát.

A marosújvári Plus-tó felszíni vizének hőmérséklete 30,9 °C volt, a mélységi hőmérséklet maximum (41,7 °C) pedig 2,5 m-nél volt mérhető, ami a mélység további növekedésével 20 °C-ra csökkent (I. ábra). A vezetőképesség a vízfelszínen 43 mS/cm, 2-3 m-es mélységben 132-174 mS/cm volt, és 9 m mélyséig folyamatosan növekedett (243 mS/cm). Két a-klorofill csúcs is mérhető volt: egyik közvetlenül a felszíni vízrétegben (7,5 µg/L), míg a maximum érték (25,4 µg/L) 3,5 m mélyen volt kimutatható. Ennél a tónál az algák mikroszkópos vizsgálatát nem állt módunkban elvégezni.

Az újgenerációs szekvenálás eredménye a felszíni rétegekben (0,5 és 1,5 m mélységekben) szintén a *Synechococcus* cianobaktériumok dominanciáját mutatta. Megtalálhatóak voltak még ezekben a mélységekben a fakultatív anaerob *Gracilimonas* (Choi és mtsai., 2009), a karotin pigmentet termelő *Yeosuana* (Kwon és mtsai., 2006) és az aerob kemoorganotróf *Haliscomenobacter* nemzetségek (Krieg és mtsai., 2010). Az anaerob régiókban szintén jelentős volt a szulfát-redukáló *Desulfonauticus* és vele együtt a szintróf „*Candidatus* Contubernalis”, továbbá a fermentáló *Halanaerobium* részaránya a planktonikus közösségben.

Következtetések

A három vizsgált heliotermitikus sós tó planktonikus mikrobaközösségének összetétele hasonló limnológiai sajátosságai és földrajzi közelségük ellenére is jelentősen eltérő volt, különösen a mélységi klorofill-maximumot mutató vízrétegekben. Ez a különbözőség számos

(jelen kutatásban részletesen nem vizsgált) okra vezethető vissza, így szóba kerülhet az oldott tápanyagok mennyiségének különbsége, az eltérő víz alatti fényviszonyok, különböző mértékű antropogén hatások és a biotikus interakciók is. Érdekes volt továbbá, hogy, bár vizsgálatunk elsődlegesen a taxonösszetétel feltárására irányult, szoros anyagcsere-kapcsolatokat is sikerült felfedni a különböző nemzetségek között, mint például a *Prosthecochloris-Desulfonauticus* és a *Desulfonauticus* „*Candidatus* Contubernalis” esetében.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az UEFISCDI PN-II-RU-TE-2012-3-0319, az OTKA PD 105407 és PD 112449 pályázatok támogatták. Somogyi Boglárka és Felföldi Tamás munkáját a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János kutatói ösztöndíja segítette. A kutatás során használt műszerek beszerzését a KMOP-4.2.1/B-10-2011-0002 és TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0030 pályázatok támogatták. A szerzők köszönetüket fejezik ki Pohner Zsuzsannának, Németh Baláznak, Keresztes Zsolt Gyulának, Szilveszter Szabolcsnak, Korponai Kristófnak, Krett Gergelynek és Nagymáté Zsuzsannának technikai segítségükért.

Irodalom

- Anton, J., Oren, A., Benloch, S., Rodriguez-Valera, F., Amann, R., Rossello-Mora, R. (2002) *Salinibacter ruber* gen. nov., sp. nov., a novel, extremely halophilic member of the Bacteria from saltern crystallizer ponds. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 52: 485-491.
- Audiffren, C., Cayol, J. L., Joulain, C., Casalot, L., Thomas, P., Garcia, J. L., Ollivier, B. (2003) *Desulfonauticus submarinus* gen. nov., sp. nov., a novel sulfate-reducing bacterium isolated from a deep-sea hydrothermal vent. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 53: 1585-1590.
- Balashov, S. P., Imasheva, E. S., Wang, J. M., Lanyi, J. K. (2008) Excitation energy-transfer and the relative orientation of retinal and carotenoid in xanthorhodopsin. – *Biophys. J.* 95: 2402-2414.
- Biel, A. J. (1986) Control of bacteriochlorophyll accumulation by light in *Rhodobacter capsulatus*. – *J. Bacteriol.* 168: 655-659.
- Budinoff, C. R., Hollibaugh, J. T. (2007) Ecophysiology of a Mono Lake picocyanobacterium. – *Limnol. Oceanogr.* 52: 2484-2495.
- Carlohn, M. R., Groth, I., Saluz, H. P., Schumann, P., Stackebrandt, E. (2008) *Fodinicola feengrottensis* gen. nov., sp. nov., an actinomyces isolated from a medieval mine. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 58: 1529-1536.
- Castenholz, R. W. (1973) The possible photosynthetic use of sulphide by the filamentous phototrophic bacteria of hot springs. – *Limnol. Oceanogr.* 16: 863-876.
- Choi, D. H., Zhang, G. I., Noh, J. H., Kim, W. S., Cho, B. C. (2009) *Gracilimonas tropica* gen. nov., sp. nov., isolated from a *Synechococcus* culture. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 59: 1167-1172.
- Cotta, M. A., Whitehead, T. R., Falsen, E., Moore, E., Lawson, P. A. (2009) *Robinsoniella peoriensis* gen. nov., sp. nov., isolated from a swine-manure storage pit and a human clinical source. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 59: 150-155.
- Cytryn, E., Minz, D., Oremland, R. S., Cohen, Y. (2000) Distribution and diversity of Archaea corresponding to the limnological cycle of a hypersaline stratified lake (Solar Lake, Sinai, Egypt). – *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 3269-3276.
- Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.-H., Stackebrandt, E. (szerk.) (2006) *The Prokaryotes*. – Springer.
- Ezaki, T., Kawamura, Y., Li, N., Li, Z. Y., Zhao, L., Shu, S. (2001) Proposal of the genera *Anaerococcus* gen. nov., *Peptoniphilus* gen. nov. and *Gallicola* gen. nov. for members of the genus *Peptostreptococcus*. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 51: 1521-1528.
- Felföldi, T., Jurecska, L., Vajna, B., Barkács, K., Makk, J., Cebe, G., Szabó, A., Zárny, Gy., Márialigeti, K. (2015) Texture and type of polymer fiber carrier determine bacterial colonization and biofilm properties in wastewater treatment. – *Chem. Eng. J.* 264: 824-834.
- Hegyi, A., Felföldi, T., Máthé, I., Palatinszky, M., Jurecska, L., Barkács, K., Márialigeti, K. (2012) A Medve-tó mikrobaközösségeinek vizsgálata molekuláris módszerekkel. – *Hidrológiai Közlemény* 92: 38-40.
- Imhoff, J. F. (2003) Phylogenetic taxonomy of the family *Chlorobiaceae* on the basis of 16S rRNA and *fmo* (Fenna-Matthews-Olson

- protein) gene sequences. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 53: 941-951.
- Kalecsinszky, S. (1901) I. A szovátai meleg és forró konyhasóstavakról, mint természetes hőaccumulátorokról. II. Meleg sóstavak és hőaccumulátorok előállításáról. – *Földtani Közlemény* 31: 329-353.
- Klindworth, A., Pruesse, E., Schweer, T., Peplies, J., Quast, C., Horn, M., Glöckner, F. O. (2013) Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies. – *Nucleic Acids Res.* 41: e1.
- Krieg, N. R., Staley, J. T., Brown, D. R., Hedlund, B. P., Paster, B. J., Ward, N. L., Ludwig, W., Whitman, W. B. (szerk.) (2010) *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Vol. 4. The Bacteroidetes, Spirochaetes, Tenericutes, (Mollicutes), Acidobacteria, Fibrobacteres, Fusobacteria, Dictyoglomi, Gemmatimonadetes, Lentisphaerae, Verrucomicrobia, Chlamydiae, and Planctomycetes Springer.
- Kwon, K. K., Lee, H. S., Jung, H. B., Kang, J. H., Kim, S. J. (2006) *Yeosuana aromativorans* gen. nov., sp. nov., a mesophilic marine bacterium belonging to the family Flavobacteriaceae, isolated from estuarine sediment of the South Sea, Korea. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 56: 727-732.
- Kwon, K. K., Lee, H. S., Yang, S. H., Kim, S. J. (2005) *Kordiimonas gwangyangensis* gen. nov., sp. nov., a marine bacterium isolated from marine sediments that forms a distinct phyletic lineage (*Kordiimonadales* ord. nov.) in the 'Alphaproteobacteria'. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55: 2033-2037.
- Labrenz, M., Hirsch, P. (2001) Physiological diversity and adaptations of aerobic bacteria from different depths of hypersaline, heliothermal, and meromictic Ekho Lake (East Antarctica). – *Polar Biol.* 24: 320-327.
- 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. (szerk.), *Handbook of methods in aquatic microbial ecology*. Lewis Publishers. pp. 187-197.
- Márialigeti, K., Borsodi, A., Felföldi, T., Romsics, Cs., Tóth, E., Máthé, I. (2014) Ivóvíz, ásványvíz, gyógyvíz, fürdővíz – A mikrobák ketős szerepben: a létrehozásért vagy a romlásért felelősek? – A Kárpát-medence ásványvizei X. Nemzetközi Tudományos Konferencia (Csíkszereda, Románia, 2014. augusztus 28-31.), konferenciakiadvány. pp. 19-31.
- Máthé, I., Borsodi, A. K., Tóth, E. M., Felföldi, T., Jurecska, 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: 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 Közlemény* 94: 19-22.
- Oren, A. (2013) *Salinibacter*: an extremely halophilic bacterium with archaeal properties. – *FEMS Microbiol. Lett.* 342: 1-9.
- 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.
- Sorokin, D. Y., van Pelt, S., Tourova, T. P., Evtushenko, L. I. (2009) *Nitriliruptor alkaliphilus* gen. nov., sp. nov., a deep-lineage haloalkaliphilic actinobacterium from soda lakes capable of growth on aliphatic nitriles, and proposal of *Nitriliruptoraceae* fam. nov. and *Nitriliruptorales* ord. nov. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 59: 248-253.
- Utermöhl, H. (1958) Zur Vervollkommnung der quantitative Phytoplankton-Methodik. – *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 9: 1-38.
- Vaz-Moreira, I., Nobre, M. F., Nunes, O. C., Manaia, C. M. (2007) *Pseudosphingobacterium domesticum* gen. nov., sp. nov., isolated from home-made compost. – *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 57: 1535-1538.
- Wellburn, A. R. (1994) The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. – *J. Plant. Physiol.* 144: 307-313.
- Wetzel, R. G. (2001) *Limnology*. – Academic Press.
- Zhilina, T. N., Zavarzina, D. G., Kolganova, T. V., Turova, T. P., Zavarzin, G. A. (2005) "*Candidatus* Contubernalis alkalaceticum", an obligately syntrophic alkaliphilic bacterium capable of anaerobic acetate oxidation in a coculture with *Desulfonatronum cooperativum*. – *Mikrobiologiya* 746: 800-809.

Planktonic microbial communities of heliothermal saline lakes

Nagy, B. J., Szabó, A., Somogyi, B., Vörös, L., Márialigeti, K., Máthé, I. and Felföldi, T.

Abstract: Certain saline lakes possess a special thermal stratification, called heliothermy, when solar heating results in an underwater temperature maximum. In July 2013, three deep, heliothermal, saline lakes were studied in Romania (region Transylvania), which had different human impact. Lake Fără Fund in Ocna Sibiului is a strictly protected nature conservation area, Lake Ursu in Sovata is used as a health spa including open-air bathing during summer, and 'Lake Plus' in Ocna Mureș is highly polluted (it had formed in 2010 due to the collapse of a salt mine-shaft that entombed a complete supermarket). Physicochemical analysis revealed that steep stratification existed in all lakes, having a transition zone at around 2-4 meters depth, with the highest temperature (33.2-41.7 °C) and the highest chlorophyll concentration. In Lake Fără Fund, the phytoplankton was dominated by *Dunaliella* sp., while a characteristic stratification of picoeukaryotic algae and green sulfur bacteria were detected in Lake Ursu. Next-generation DNA sequencing revealed the dominance of phyla Bacteroidetes, Cyanobacteria, Proteobacteria, Firmicutes (and additionally Chlorobi in Lake Ursu). The euphotic zone of Lake Fără Fund was dominated with genus *Salinibacter* (red-colored bacterium with a light-driven proton pump). Strictly anaerobic genera (e.g. the sulfate-reducing genus *Desulfonauticus*) were characteristic in the deeper zones of the lakes. The results have shown that heliothermal saline lakes may harbor unique and special microbial communities.

Keywords: heliothermy, saline lake, Transylvania, next-generation DNA sequencing, planktonic microorganisms.