

**Eötvös Loránd Tudományegyetem**  
**Biológia Doktori Iskola (Dr. Erdei Anna)**  
**Kísérletes Növénybiológia Doktori Program (Dr. Szigeti Zoltán)**

**Doktori (PhD) értekezés tézisei**

**Pikoeukarióta algák jelentősége sekély tavakban: téli dominancia és  
taxonómiai unikalitás**

**Somogyi Boglárka**

**Témavezető: Dr. Vörös Lajos**  
az MTA doktora, tudományos tanácsadó



**MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Tihany**

**2010**

## Bevezetés

Az autotróf pikoplankton megnevezést a két mikrométernél kisebb pro- és eukarióta fotoautotróf mikroorganizmusok megjelölésére használják (Stockner & Antia, 1986). Széleskörű elterjedtségét világszerte és hazánkban is a hetvenes évek végén, nyolcvanas évek elején fedezték fel (Johnson & Sieburth 1979; Waterbury *et al.*, 1979; Vörös, 1987-88; Vörös, 1991). Rövidesen kiderült, hogy a pikoalgák jelentős szerepet játszanak a vizek elsődleges szervesanyag termelésében, egyes oligotróf tengeri területeken a produkció akár 90%-át is képezve (Platt *et al.*, 1983; Stockner & Antia, 1986). A Balatonban nyáron a pikoalgák elsődleges termelésből való részesedése meghaladhatja az 50 %-ot, téli szerepüket azonban nem ismerjük (Vörös *et al.*, 1991; Somogyi & Vörös, 2006). A pikoalgák taxonómiai helyzetének meghatározását sokáig hátráltatta, hogy azonosításuk morfológiai alapon nem lehetséges a kis méret és a morfológiai bélyegek szükségossége miatt. A tenyésztési eljárásokra alapozott illetve tenyésztéstől független molekuláris taxonómiai módszerek napjainkban már lehetővé teszik a pontos azonosításukat (Callieri, 2008; Vaultot *et al.*, 2008). Felfedezésüket követően a pikoalgák vizsgálata elsősorban a nyári, produktívabb időszakokra korlátozódott. Emiatt csak később vált ismertté, hogy a pikoalgák sajátos évszakos dinamikát mutatnak: nyáron a pikocianobaktériumok, ősztől tavaszig pedig a pikoeukarióták dominálnak (Pick & Agbeti, 1991; Malinsky-Rushansky *et al.*, 1995). Ennek a sajátos viselkedésnek az okai még nem tisztázottak.

Amíg a pikocianobaktériumok ökológiájával és taxonómiájával számos tanulmány foglalkozik, addig a pikoeukarióta csoport tagjairól mindmáig keveset tudunk (Callieri, 2008; Vaultot *et al.*, 2008). Az elmúlt évek kutatásai igazolták, hogy a pikoeukarióta algák hasonló morfológiai karaktereik ellenére különböző rendszertani csoportokhoz tartoznak. Tengerekben és óceánokban a Chlorophyta, Cryptophyta, Haptophyta és Heterokontophyta törzsből írtak le piko méretű képviselőket (Vaultot *et al.*, 2008). Az édesvizekben illetve sós tavakban a pikoeukarióta algaközösség diverzitása szemben az óceánokkal mindmáig alig ismert, az eddig vizsgált pikoeukarióták többsége a Chlorophyta törzsbe tartozónak bizonyult (Callieri, 2008). A Balatonban 2003 telén figyelték meg, hogy gazdag pikoalga népeség alakult ki a jéggel fedett tóban, melyben túlnyomórészt eukarióta szervezetek domináltak (Mózes *et al.*, 2006). Más hazai tavaink téli pikoalgáit még senki sem vizsgálta annak ellenére, hogy többek között hazánkban találhatóak a pikoplanktonban rendkívül gazdag, az Európai Unióban unikális szikes tavak (Vörös *et al.*, 2005).

## Célkitűzés

A munka célja a pikoeukarióta fotoautotróf mikroorganizmusok előfordulásának, ökológiájának és taxonómiájának megismerése volt sekély tavainkban az alábbiak szerint:

1. Előfordulásuk és évszakos dinamikájuk meghatározása a releváns környezeti feltételek megismerése mellett a Balatonban, a Fertőben és a Duna-Tisza közti szikes tavakban, különös tekintettel a téli időszakra.
2. A fény és a hőmérséklet szerepének megismerése a pikoplankton szezonális dinamikájának szabályozásában terepi mérések és laboratóriumi kísérletek alapján.
3. A téli pikoalga közösség részesedésének meghatározása a planktonikus elsődleges termelésből a Balatonban, valamint a Fertő nyíltvizében és egyik belső tavában.
4. A pikoalgákban különösen gazdag szikes tavaink pikoeukarióta diverzitásának meghatározása tenyésztésen alapuló molekuláris biológiai módszerek segítségével.

## Anyag és Módszer

Az autotróf pikoplankton mennyiségi és minőségi vizsgálatát a Balatonban 2006 és 2010 között kétheti gyakorisággal, a Duna-Tisza közti szikes tavakban 2006 és 2007 között havi/kéthavi gyakorisággal, a Fertőben 2004-ben kéthavi, 2008 és 2009 között pedig kétheti gyakorisággal végeztük. Minden mintavételi helyen mértük a vízhőmérsékletet, a pH-t, a vezetőképességet és a Secchi-átlátszóságot vagy a fotoszintetikusan aktív sugárzás intenzitásának változását a vízmélység függvényében. Az a-klorofill koncentrációt a Balatonban és a Fertőben spektrofotometriás módszerrel (Németh, 1998), a szikes tavakban pedig spektrofluorimetriás módszerrel mértük (Wetzel & Likens, 2001). A pikoalgák mennyiségét és pigment típusát epifluoreszcens mikroszkóppal határoztuk meg (MacIsaac & Stockner, 1993).

Az autotróf pikoplankton részesedését a planktonikus fotoszintézisből  $^{14}\text{C}$  módszerrel határoztuk meg (Steemann-Nielsen 1952). A pikoplankton, a nanoplankton és a teljes fitoplankton fotoszintézisének fényintenzitás függését az Eilers és Peeters modell (1988) segítségével írtuk le, meghatározva a fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbék paramétereit ( $P_{\max}$ ,  $I_k$ ,  $\alpha$  és  $I_{\text{opt}}$ ). A fitoplankton egyes méretfrakcióinak (pikoplankton és nanoplankton) vízfelületre vonatkoztatott napi elsődleges termelését a mért fotoszintézis-fényintenzitás görbék alapján, a globálsugárzás napi változása, a vertikális extinkciós koefficiens, valamint a vízmélység figyelembevételével becsültük.

A pikoeukarióta algatörzseket a Zab-székből, a Böddi-székből és a Büdös-székből izoláltuk. Az algatörzseket módosított BG11 tápoldatban, 21°C hőmérsékleten, 60  $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$  fényintenzitáson 10: 14 órás sötét: világos ciklusban tartottuk fent (Rippka *et al.*, 1979). Molekuláris filogenetikai azonosításukat 18S rDNS szekvenciájuk alapján végeztük, univerzális primerek felhasználásával (Moon-van der Stay *et al.*, 2000; Yamamoto *et al.*, 2003). Az ACT 0604, ACT 0605, ACT 0606, ACT 0607, ACT 0610, ACT 0621, ACT 0901 és ACT 0902 törzsek esetében az *rbcL* gént is szekvenáltuk Fawley és munkatársai (2005) szerint. Az ACT 0608 algatörzs részletes morfológiai vizsgálatát pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkóppal végeztünk.

A fény és a hőmérséklet szerepének tisztázásához egy pikoeukarióta (ACT 0608) és egy pikocianobaktérium (ACT 0616) törzs fotoszintézisének fényintenzitás függését ( $5\text{-}1280 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ ) hasonlítottuk össze hat különböző hőmérsékleten (7 - 30 °C), sötét-világos palack módszerrel oxigén indikálással.

## Eredmények és következtetések

**1.a. Megállapítottuk, hogy a Balatonban az autotróf pikoplankton szezonális dinamikája nagyfokú évről évre ismétlődő szabályosságot mutatott, ami megerősítette a korábbi balatoni és más, mérsékelt égövi megfigyeléseket.**

A Balatonban a vizsgált négy év (2006 - 2010) során fikoeritrin és fikocianin pigmentdominanciájú pikocianobaktériumok és pikoeukarióta algák egyaránt előfordultak. Az autotróf pikoplankton mindkét medencében (Keszthelyi- és Siófoki-medence) jellegzetes szezonális dinamikát követett nyári pikocianobaktérium és téli pikoeukarióta dominanciával, ugyanakkor télen a pikoeukarióták részesedése a teljes pikoplankton biomasszájából a Keszthelyi-medencében magasabb volt, mint a Siófoki-medencében. A két csoport között az ellentétes évszakos dinamika mellett a legszembetűnőbb különbség az volt, hogy míg a pikoeukarióták a nyári időszakban teljesen eltűntek, addig a pikocianobaktériumok ha kisebb abundancia értékekkel is, de a télen is jelen voltak.

**1.b. Megállapítottuk, hogy a Duna-Tisza közti szikes tavakban az autotróf pikoplankton jellegzetes mérsékelt égövi dinamikát mutatott, nyári pikocianobaktérium és téli pikoeukarióta dominanciával. Dokumentáltuk, hogy a**

**szikes tavakban a pikoeukarióta algák abundanciája ( $10^8$  sejt  $\text{ml}^{-1}$ ) 2006-2007 telén meghaladta az irodalomban közölt legmagasabb értékeket.**

A Duna-Tisza közti szikes tavakban az autotróf pikoplankton a Balatonhoz hasonló szezonális dinamikát mutatott: 2006 júliusában még pikocianobaktériumok domináltak, majd ősszel a pikoeukarióta algák vették át a domináns szerepet és a téli időszakban pikocianobaktériumok egyáltalán nem fordultak elő. A pikoeukarióták abundancia maximumukat tél végén, tavasz elején érték el, majd a nyár közeledtével mennyiségük csökkent. A kapott maximális pikoeukarióta abundancia értékek ( $46 - 100 \times 10^6$  sejt  $\text{ml}^{-1}$ ) a legmagasabbak, amelyeket az irodalomban ez idáig közöltek, és ellentmondanak annak a világszerte elfogadott nézetnek, mely szerint a pikoeukarióták abundanciája általában egy nagyságrenddel alatta marad a pikocianobaktériumok abundanciájának (Callieri, 2008).

**1.c. Megállapítottuk, hogy a Fertő nyíltvize és belső tavai gazdagok voltak pikoplanktonban, míg a nádas területén jelentőségük elhanyagolható volt. Pikoeukarióta algák a Fertő nyíltvizében nem fordultak elő, csak a belső tavak és a nádas területén.**

A Fertő különböző területeinek vizsgálata során kapott eredményeink azt mutatták, hogy amíg az autotróf pikoplankton a tó nyíltvizében és a belső tavakban 2004 áprilisa és októbere között igen jelentős abundancia értékekkel ( $10^6$  sejt  $\text{ml}^{-1}$ ) képviseltette magát, addig a náddal borított területeken (illetőleg a nádasba vágott csatornában) mennyiségük elhanyagolható volt. A korábbi vizsgálatok során a tó nyíltvizében hasonlóan magas abundancia értékeket találtak (Padisák & Dokulil, 1994). Pikoeukarióta algák csak a belső tavakban és a csatornában fordultak elő, a nyíltvízben nem voltak kimutathatók.

**1.d. Megállapítottuk, hogy a Fertő belső tavában az autotróf pikoplankton a Balatonban és a Duna-Tisza közti szikes tavakban megfigyelteknek megfelelő szezonális dinamikát követett. A Fertő nyíltvizében ezzel szemben pikoeukarióta algák télen sem jelentek meg, amire a világirodalomban nincs példa.**

A Fertő nyíltvizének és belső tavának (Ruster Poschen) a téli időszakra is kiterjedő vizsgálata során (2008-2009) az autotróf pikoplankton eltérő szezonalitást mutatott. A Fertő belső tavában a pikoplankton a korábban bemutatott szezonális dinamikát követte, a

nyári időszakban pikocianobaktériumok, míg télen pikoeukarióta algák domináltak. A nyíltvízben ezzel szemben a pikoplankton szezonális dinamikája a Balatontól és a Duna-Tisza közti szikes tavaktól egyaránt eltért. Pikoeukarióta algákat itt egyáltalán nem találtunk, és a pikocianobaktériumok mennyisége a nyár végén nemhogy csökkenni kezdett volna, hanem nőtt, és márciusi abundancia maximumot figyeltünk meg. Ezután mennyiségük a nyár közeledtével jelentősen csökkent. A legjobb tudásunk szerint a Fertő nyíltvizéhez hasonló olyan példát ez idáig nem közöltek, amely a hidegebb periódusra is kiterjedően a pikoeukarióta algák teljes hiányáról számolt volna be.

**2.a. Terepi méréseink alapján megállapítottuk, hogy az autotróf pikoplankton szezonális dinamikájának szabályozásában a fény és a hőmérséklet meghatározó szerepet játszik.**

A Balatonban, a Fertő belső tavában, valamint a Duna-Tisza közti szikes tavakban a pikocianobaktériumok és a pikoeukarióták részesedése a pikoplankton biomasszájából a hőmérséklettel jelentősen változott. Mindhárom vizsgált terület esetében a nyári időszakra jellemző magas hőmérsékleten pikocianobaktérium dominanciát, a téli időszakra jellemző alacsony hőmérsékleten pedig pikoeukarióta dominanciát figyeltünk meg. Ugyanakkor a hőmérséklet csökkenése mellett télen a vízszlopba jutó fény mennyisége is jelentősen kisebb volt, mint nyáron. A fent említett vizekben a pikoeukarióták részesedése a hőmérséklet növekedésével egyaránt csökkent, de a Siófoki-medencében részesedésük télen kisebb volt, mint a Keszthelyi-medencében, utóbbiban pedig kisebb, mint a Fertő belső tavában. A fenti különbségeket a különböző vizek eltérő víz alatti fényklímájával (fényintenzitás, spektrális összetétel) hoztuk összefüggésbe.

**2.b. Pikoeukarióta és pikocianobaktérium törzsekkel végzett fotoszintézis vizsgálatok segítségével igazoltuk ezen algák eltérő hőmérséklet- és fény preferenciáját, amely magyarázatul szolgált a természetben megfigyelt viselkedésükre.**

A fotoszintézis-fényintenzitás görbék paraméterei alapján a pikoeukarióta törzs maximális fotoszintetikus rátája ( $P_{max}$ ) és fényhasznosításioefficiense ( $\alpha$ ) 15 °C alatt nagyobb volt, mint a pikocianobaktériumé, e felett pedig megfordult a helyzet. A legalacsonyabb vizsgált hőmérséklet (7 °C), amely közel volt a szikes tavakban 2006-2007 telén mért hőmérsékletéhez, már nem volt optimális a pikoeukarióta törzs számára, de fotoszintézise

még így is felülmúlta a pikocianobaktériumét. Az alacsony hőmérséklethez való jobb alkalmazkodóképesség a pikoeukariótáknak kompetitív előnyt jelent a téli időszakban a pikocianobaktériumokkal szemben. A hőmérséklet mellett a fény is fontos szabályozó tényezőnek bizonyult: alacsonyabb hőmérsékleten a pikoeukarióta törzs jobban hasznosította a gyenge fényt, mint a pikocianobaktérium. Eredményeink alapján a pikoeukarióták téli dominanciája és a pikocianobaktériumok nyári dominanciája különböző hőmérséklet- és fénypreferenciájukkal áll összefüggésben.

**3. A téli pikoalga közösség planktonikus elsődleges termelésben játszott szerepét a Balatonban és a Fertőben elsőként határoztuk meg. Megállapítottuk, hogy a Balatonban a pikoplankton jelentősége télen sem marad el a nyárhoz képest. Megállapítottuk, hogy a Fertőben a pikoplankton részesedése télen a nyíltvíz és a belső tó területén is igen jelentős.**

A nanoplankton és a pikoplankton frakció fotoszintézis-fényintenzitás görbéinek vizsgálata során a fényteltési paraméter ( $I_k$ ) és az optimális fényintenzitás ( $I_{opt}$ ) értéke a pikoplankton frakcióban többnyire alacsonyabb volt, mint a nanoplanktonban, amely a pikoplankton alacsonyabb fényintenzitáshoz való jobb alkalmazkodását mutatta. A pikoplankton részesedése a fitoplankton elsődleges termeléséből a fényintenzitás változásának függvényében napszakos és vertikális változásokat mutatott mind a Balatonban, mind a Fertőben. Részesedésük a déli órákban a vízfelszíni régiókban alacsonyabb, míg a reggeli és az esti órákban magasabb volt. A pikoalgák részesedése a Siófoki-medencében mind a téli, mind a nyári mérések során 25-28% volt. A Keszthelyi-medencében 2009 telén és nyarán 41-44%, 2010 februárjában 15% részesedést kaptunk. A Fertő nyíltvizében a pikoplankton részesedése a 44%, a belső tóban (Ruster Poschen) 40% volt. A téli időszakban végzett fracionált fotoszintézis mérések eredményei megmutatták, hogy a pikoplankton jelentősége a Balatonban télen sem marad el a nyárhoz képest, és hogy a Fertőben télen a pikoalgák a planktonikus elsődleges termelés számottevő hányadát alkotják.

**4.a. Megállapítottuk, hogy a Duna-Tisza közti szikes tavakban a pikoeukarióta algaközösséget zöldalgák (Chlorophyta) képviselik, amelyek közül három taxon jelenlétét igazoltuk molekuláris filogenetikai módszerekkel.**

A Duna-Tisza közti szikes tavakból tizenhárom alगतörzset izoláltunk. A törzsek azonosítása morfológiai alapon nem volt lehetséges a sejtek kis mérete és a morfológiai bélyegek hiánya miatt. Molekuláris filogenetikai alapon (18S rDNS szekvencia) a tizenhárom törzs három zöldalga (Chlorophyta) taxont képviselt: két törzs (ACT 0617 és ACT 0619) a *Mychonastes/ Korschpalmella/ Pseudodictyosphaerium* (Chlorophyceae) csoportba, nyolc alगतörzs (ACT 0604, ACT 0605, ACT 0606, ACT 0607, ACT 0610, ACT 0621, ACT 0901 és ACT 0902) törzs a *Choricystis* nemzetséghez (Trebouxiophyceae) tartozott, három alगतörzs (ACT 0608, ACT 0622 és ACT 0602) pedig egy új, 18S rDNS alapon jól elkülönülő nemzetség képviselőjének bizonyult. A *Choricystis* törzsek *rbcL* szekvenciájuk alapján két csoportot alkottak, amelyek az eddig vizsgált *Choricystis* törzsektől távolabb helyezkedtek el. Eredményeink szerint a szikes tavak pikoeukarióta közössége a tavak szélsőséges viszonyai (pH, vezetőképesség) ellenére is diverznek bizonyult.

**4.b. Az ACT 0608 törzs teljes 18S rDNS szekvenciája és részletes elektronmikroszkópos morfológiai vizsgálata alapján a Duna-Tisza közti szikes tavakból leírtunk egy új zöldalgát *Chloroparva pannonica* (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) néven.**

Az ACT 0608 pikoeukarióta izolátum teljes 18S rDNS szekvenciája alapján egy jól elkülönülő, új alगतajt és egyben nemzetséget képviselt, amelyhez legközelebb, relatíve alacsony (97,5-97,6%) hasonlósági értékekkel, egy olyan csoport állt, amelyet a *Nannochloris eucaryotum* UTEX 2502 törzs, a *Chlorella minutissima* C-1.1.9 és a SAG 1.80 jelű törzs alkotott. Az új alगतát *Chloroparva pannonica* néven írtuk le, részletes morfológiai (pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópos) jellemzést végezve.

## **Hivatkozások**

- Callieri, C. (2008): Picophytoplankton in freshwater ecosystems: the importance of small-sized phototrophs. – Freshw. Rev., 1: 1-28.
- Eilers, P.H.C. & Peeters, J.C.H. (1988): A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. – Ecol. Mod., 42: 199-215.
- Fawley, M.W., Fawley, K.P. & Owen, H.A. (2005): Diversity and ecology of small coccoid green algae from Lake Itasca, Minnesota, USA, including *Meyerella planktonica*, gen. et sp. nov. – Phycologia, 44: 35-48.



- Johnson, P.W. & Sieburth, J.McN. (1979): Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. – *Limnol. Oceanogr.*, 24: 928-935.
- MacIsaac, E.A. & Stockner, J.G. (1993): Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence. – 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, pp. 187-197.
- Malinsky-Rushansky, N., Berman, T. & Dubinsky, Z. (1995): Seasonal dynamics of picophytoplankton in Lake Kinneret, Israel. – *Freshw. Biol.*, 34: 241-254.
- Moon-van der Staay, S.Y., van der Staay, G.W.M., Guillou, L., Vaultot, D., Claustre, H. & Medlin, L.K. (2000): Abundance and diversity of prymnesiophytes in the picoplankton community from the equatorial Pacific Ocean inferred from 18S rDNA sequences. – *Limnol. Oceanogr.*, 45: 98-109.
- Mózes, A., Présing, M. & Vörös, L. (2006): Seasonal dynamics of picocyanobacteria and picoeukaryotes in a large shallow lake (Lake Balaton, Hungary). – *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 91:38-50.
- Németh, J. (1998): A biológiai vízminősítés kérdései. – In Németh, J. (ed): *Vízi természet és környezetvédelem 7.*, KGI, Budapest, 303 p.
- Padisák, J. & Dokulil, M. (1994): Meroplankton dynamics in a saline, turbulent, turbid shallow lake (Neusiedlersee, Austria and Hungary). – *Hydrobiologia*, 289: 23-42.
- Pick, F.R. & Agbeti, M. (1991): The seasonal dynamics and composition of photosynthetic picoplankton communities in temperate lakes in Ontario, Canada. – *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 76: 565-580.
- Platt, T., Subba Rao, D.V. & Irwin, B. (1983): Photosynthesis of picoplankton in the oligotrophic ocean. – *Nature*, 301: 702-704.
- Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J.B., Herdman, M. & Stainer, R.Y. (1979): Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. – *J. Gen. Microbiol.*, 111: 1-61.
- Somogyi, B. & Vörös, L. (2006): A pikoplankton fotoszintézisének karakterisztikái sekély tavakban. – *Hidrológiai Közlöny*, 86: 110-112.
- Stemann-Nielsen, E. (1952): The use of radioactive carbon (C-14) for measuring organic production in the sea. – *J. Const. Int. Explor. Mer.*, 18: 117-140.
- Stockner, J.G. & Antia, N.J. (1986): Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems - a multidisciplinary perspective. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 2472-2503.
- Vaultot, D., Eikrem, W., Viprey, M. & Moreau, H. (2008): The diversity of small eukaryotic phytoplankton ( $\leq 3 \mu\text{m}$ ) in marine ecosystems. – *FEMS Microbiol. Rev.*, 32: 795-820.
- Vörös, L. (1987-88): Bakteriális méretű fotoautotrófikus szervezetek néhány sekély tóban. – *Botanikai Közlemények*, 74-75: 141-151.
- Vörös, L. (1991): Importance of picoplankton in Hungarian shallow lakes. – *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24: 984-988.
- Vörös, L., Gulyás, P. & Németh, J. (1991): Occurrence, dynamics and production of picoplankton in Hungarian shallow lakes. – *Int. Rev. ges. Hydrobiol.*, 76: 617-629.
- Vörös, L., V.-Balogh, K. & Boros, E. (2005): Pikoplankton dominancia szikes tavakban. – *Hidrológiai Közlöny*, 85: 166-168.
- Waterbury, J.B., Watson, S.W., Guillard, R.R. & Brand, L.E. (1979): Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic cyanobacterium. – *Nature*, 277: 293-294.
- Wetzel, R.G. & Likens, G.E. (2001): *Limnological Analyses.*, 3<sup>rd</sup> Ed., Springer-Verlag, New York, 429 p.

Yamamoto, M., Nozaki, H., Miyazawa, Y., Koide, T. & Kawano, S. (2003): Relationship between presence of a mother cell wall and speciation in the unicellular microalga *Nannochloris* (Chlorophyta). – J. Phycol., 39:172-184.

## A tézisek alapjául szolgáló közlemények

- Somogyi, B.**, Vanyovszki, J., Ágyi, Á. & Vörös, L. (2007): Eukarióta és prokarióta pikoalga törzsek fotoszintézisének összehasonlító vizsgálata. – Hidrológiai Közlöny, 87: 119-121.
- Somogyi, B.**, Felföldi, T., Solymosi, K., Vanyovszki, J., Böddi, B., Márialigeti, K. & Vörös, L. (2009): Duna-Tisza közti szikes tavaink ismeretlen zöldalgái. – Hidrológiai Közlöny, 89: 59-62.
- Felföldi, T., **Somogyi, B.**, Vörös, L. & Márialigeti, K. (2009): A fotoszintetikus gének szerepe a pikoalgák molekuláris azonosításában és diverzitásuk vizsgálatában. – Hidrológiai Közlöny, 89: 105-109.
- Somogyi, B.**, Felföldi, T., Vanyovszki, J., Ágyi, Á., Márialigeti, K. & Vörös, L. (2009): Winter bloom of picoeukaryotes in Hungarian shallow turbid soda pans and the role of light and temperature. – Aquat. Ecol., 43: 735-744. **IF 1,549**
- Vörös, L., Mózes, A. & **Somogyi, B.** (2009): A five-year study of autotrophic winter picoplankton in Lake Balaton, Hungary. – Aquat. Ecol., 43: 727-734. **IF 1,549**
- Somogyi, B.**, Felföldi, T., Dinka, M. & Vörös, L. (2010): Periodic picophytoplankton predominance in a large, shallow alkaline lake (Lake Fertő, Neusiedlersee). – Ann. Limnol. - Int. J. Lim., 46: 9-19. **IF 0,981**
- Felföldi, T., **Somogyi, B.**, Vörös, L. & Márialigeti, K. (2010) Kiskunsági szikes tavaink pikoalgáinak azonosítása és diverzitásának vizsgálata molekuláris biológiai módszerekkel. – Acta Biol. Debr. Oecol. Hung., 22: 113-121.
- Somogyi, B.**, Felföldi, T., Solymosi, K., Makk, J., Homonnai, Z.G., Horváth, Gy., Turcsi, E., Böddi, B., Márialigeti, K. & Vörös, L. (2010): *Chloroparva pannonica* gen. et sp. nov. (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) - a new picoplanktonic green alga from a turbid, shallow soda pan. – Phycologia (in press) **IF 1,218**
- Somogyi, B.**, Kürthy, A., Németh, B. & Vörös, L. (2010): A pikolagák jelentősége sekély tavak téli planktonjában. – Hidrológiai Közlöny (in press)

## Az értekezés témájában megjelent további közlemények

- Somogyi, B.** & Vörös, L. (2006): A pikoplankton fotoszintézisének karakterisztikái sekély tavakban. – Hidrológiai Közlöny, 86: 110-112.
- Vörös, L., Boros, E., Schmidt, A., V.-Balogh, K., Németh, B., **Somogyi, B.** & Mózes, A. (2006): A fitoplankton fizikai és kémiai környezete fehér vizű szikes tavainkban. – Hidrológiai Közlöny, 86: 139-141.
- Vörös, L., **Somogyi, B.**, V.-Balogh, K. & Németh, B. (2006): A Balaton planktonikus és üledéklakó alga együtteseinek szerepe és szabályozó tényezői. – In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (eds.): A Balaton kutatásának 2005. évi eredményei., Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 7-15.
- Vörös, L., **Somogyi, B.**, Bányász, D. & Németh, B. (2007): A Balaton alga együtteseinek szerepe a tó vízminőségének alakításában. – In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (eds.): A Balaton kutatásának 2006. évi eredményei., Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 7-15.

- Vörös, L., **Somogyi, B.** & Boros, E. (2008): Birds cause net heterotrophy in shallow lakes. – *Acta Zool. Hung.*, 54: 23-34. **IF 0,522**
- Vanyovszki, J., Fodorpataki, L., Ágyi, Á., **Somogyi, B.** & Vörös, L. (2008): Prokarióta és eukarióta pikoalgák fotoszintézisének pH és szalinitás függése. – *Hidrológiai Közlöny*, 88: 222-224.
- Duleba, M., Felföldi, T., **Somogyi, B.**, Vajna, B., Vörös, L. & Márialigeti, K. (2008): A balatoni pikoalgák diverzitásának vizsgálata molekuláris módszerekkel. – *Hidrológiai Közlöny*, 88: 47-50.
- Felföldi, T., **Somogyi, B.**, Márialigeti, K. & Vörös, L. (2008): Duna-Tisza közti szikes tavak pikoplanktonjának molekuláris biológiai jellemzése. – *Hidrológiai Közlöny*, 88: 55-57.
- Ágyi, Á., **Somogyi, B.**, Vanyovszki, J., Németh, B. & Vörös, L. (2009): A fitoplankton elsődleges termelése a Balatonban. – *Hidrológiai Közlöny*, 89: 85-87.
- Felföldi, T., **Somogyi, B.**, Márialigeti, K. & Vörös, L. (2009): Characterization of photoautotrophic picoplankton assemblages in turbid, alkaline lakes of the Carpathian Basin (Central Europe). – *J. Limnol.*, 68: 385-395. **IF 0,932**
- Vörös, L. & **Somogyi, B.** (2009): A Balaton algaegyütteseinek szerepe a tó vízminőségének alakításában. – In: Mahunka S. & Banczerowski J.-né (eds.): *A Balaton kutatásának 2008. évi eredményei.*, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 7-16.