

## A *Microcystis flos-aquae* fotoszintetikus aktivitása a Balaton keleti medencéjében 2015 nyarán

Pálmai Tamás\*, Selmeczy Géza Balázs\*, Szabó Beáta\*, G.-Tóth László\*\*, Padisák Judit\*,\*\*\*

\*Pannon Egyetem, Mérnöki Kar, Limnológia Intézeti Tanszék, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

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

\*\*\*MTA-PE Limnológiai Kutatócsoport, 8200 Veszprém, Egyetem u. 10.

### Kivonat

Az elmúlt 100 évben a Balaton algásodását többször több faj is el idézte. Az *Aphanizomenon flos-aquae* és a *Cylindrospermopsis raciborskii* mellett több esetben *Microcystis* fajok is okoztak vízvirágzást. A vízoszlopban vertikális helyzetét változtatni képes *Microcystis* 2015 augusztusában több helyen felszíni vízvirágzást okozott a Balaton keleti medencéjének északi partvonala mentén. A populáció a fajra jellemző napszakos vertikális vándorlást mutatta, nagyobb alगतömeg délutánonként jelent meg a víz felszínén. A begyjtött minták fotoszintetikus karakterisztikáját 8 h mérsékleten (5-40°C) és 9 fényintenzitáson (0-1900  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) oldott oxigén koncentráció mérésével vizsgáltuk. A fitoplankton mennyiségi vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a biomasza több mint 98 %-át a *Microcystis flos-aquae* tette ki. Méréseink azt mutatták, hogy a biomasza specifikus maximális produkció a h mérséklet növelésével n tt, a legnagyobb produkciót a legmagasabb mérési h mérsékleten és nagy fényintenzitás mellett tapasztaltuk. Fénygátlást csak alacsonyabb h mérsékleten észleltünk. Eredményeink alapján – a szakirodalommal összehangban – a balatoni *M. flos-aquae* populáció magas h mérséklet- és fényintenzitás preferenciáját állapítottuk meg.

### Kulcsszavak

*Microcystis flos-aquae*, vízvirágzás, Balaton, fotoszintetikus karakterisztika

## Photosynthetic activity of *Microcystis flos-aquae* in the eastern basin of Lake Balaton in the summer of 2015

### Abstract

A number of water-blooms were observed in Lake Balaton caused by different algal species years (eg: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Cylindrospermopsis raciborskii*, some *Microcystis* species) during the last hundred. In August 2015, surface blooms were observed in the eastern basin of Lake Balaton, caused by a cyanobacterium *Microcystis flos-aquae*. Diurnal migration the population was also observed: surface scums typically appeared on the lake surface in the afternoons. Photosynthetic characteristic of a surface scum sample was determined at 8 different temperatures (5-40°C) and 9 different light intensities (0-1900  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) with LDO method. Quantitative analysis of phytoplankton sample showed that more than 98% of the biomass was provided by *Microcystis flos-aquae*. According to the results of our measurements, the biomass specific maximal production ( $P_{\text{max}}^B$ ) increased by increasing temperatures. The  $P_{\text{max}}^B$  was the highest at the highest temperature and light intensity. Photoinhibition was observed only at the low temperature range. In accordance with the literature results, we found a high light intensity and temperature preference of *M. flos-aquae*.

### Keywords

*Microcystis flos-aquae*, Lake Balaton, photosynthetic activity, surface blooms

### BEVEZETÉS

A Balaton fitoplanktonjának vizsgálata és a planktonikus algaközösségek mennyiségi változásainak rendszeres vizsgálata az 1930-as években kezdődött (Entz és társai 1937). Magyarország első vízvirágzással kapcsolatos közleménye a *Microcystis aeruginosa* és a *M. flos-aquae* fajokhoz köthet: a két faj tömeges megjelenését 1934. augusztus 11-én a tihanyi Biológiai Kutatóintézet eltti Kis-öbölben tapasztalták (Entz és Sebestyén 1942). 1953-ban a *Ceratium hirundinella* biomaszájának jelentős növekedését mutatták ki a Balaton vizében (Sebestyén 1953). Balatonboglár partjainál 1960 nyarán először az *Anabaena flos-aquae* f. *jacutica*, majd a *Microcystis flos-aquae* okozott ún. „szórt” vízvirágzást. Utóbbi faj további lokális elszaporodását észlelték 1961. szeptember 17-19. között (Hortobágyi 1962). Jelentős mértékű és hosszantartó vízvirágzás 1966. szeptemberében a Keszthelyi öbölben alakult ki, amelyet egyetlen cianobaktérium faj, az *Aphanizomenon flos-aquae* okozott (Hortobágyi és Kárpáti 1967). 1982, 1992 és 1994 nyári hónapjaira a

*Cylindrospermopsis raciborskii* egész tóra kiterjedt tömeges elszaporodása volt jellemző (Padisák 1997).

2015 augusztusában a Balaton keleti medencéjének északi partján több helyen is felszíni *Microcystis* vízvirágzás jelentkezett. A populáció a *Microcystis* fajokra jellemző napszakos vertikális vándorlást mutatta, nagyobb alगतömeg a délutáni órákban jelent meg a víz felszínén. A tartósan magas fényintenzitás számos cianobaktérium elterjedését limitálja eutróf ökoszisztémákban, ezzel szemben a *Microcystis* kolóniák – lebegésregulációjuk révén – képesek a növekedésükhöz optimális fényviszonyok felkutatására. A nemzetség megjelenése tehát nincs szigorú kapcsolatban az eutrofizálódás fokával, fajait megtalálhatjuk mezotróf, eutróf és hipertróf környezetben egyaránt.

Munkánk során a Balaton keleti medencéjének északi partján felszíni vízvirágzást okozó *M. flos-aquae* minta fotoszintetikus karakterisztikájának meghatározását végeztük el.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintavételre 2015 augusztus 8-án került sor Tihanyban az MTA ÖK Balatoni Limnológiai Kutatóintézet partjánál a víz felszínér l. A fitoplankton mennyiségi vizsgálatát Utermöhl-féle módszerrel (*Utermöhl 1958*), fordított mikroszkóp segítségével végeztük el.

A fotoszintetikus paraméterek meghatározása során az *Üveges és társai (2007)* által kifejlesztett inkubáló berendezést használtuk. A berendezés segítségével egyidejűleg kilenc különböző fényintenzitáson végeztünk méréseket ( $0-1900 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A h t -f t ultratermosztát (Neslab RTE) használata lehetővé tette, hogy széles hőmérsékleti spektrumon tudjunk méréseket végezni ( $5-40^\circ\text{C}$  között  $5^\circ\text{C}$ -onként). Az inkubáló berendezésben cellánként, adott fényintenzitásonként 3 párhuzamos mintával dolgoztunk.

A fotoszintézist a minták oldott oxigén koncentráció változásának mérésével követtük nyomon. Az oldott oxigén koncentráció mérését HQ40D multiparaméteres mérőműszerrel (Hach Lange) végeztük a légköri oxigén-

cserét megakadályozó speciális Karlsruhe lombikokban. Minden hőmérséklet esetében a méréseket a minták legalább két órási inkubálása elzete meg. A mérőeszközök alkalmazásával a mintákat 2 órán keresztül inkubáltuk, a kezdeti (0 perc), majd 60 perc, illetve 120 perc eltelté után oxigén koncentrációkat mértük a lombikokban. A mért oldott oxigén koncentrációkból *Wetzel és Likens (2000)* alapján szénfelvételt számoltunk, majd ezt biomaszára normáltuk (me.:  $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1}$ ). A kapott adatokból fénygátlás hiányában *Webb és társai (1974)*, míg fénygátlás esetében *Platt és mtsi. (1980)* modelljének segítségével meghatároztuk az alábbi fotoszintetikus paramétereket: biomszsa specifikus fotoszintetikus aktivitás ( $P^B_{\text{max}}$ ), biomszsa specifikus légzés ( $R^B$ ) fényadaptációs paraméter ( $I_k$ ), fényhasznosítási tényező ( $\phi$ ), fénygátlási paraméter ( $\beta$ ).

## EREDMÉNYEK

A fitoplankton mennyiségi vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy a biomszsa több mint 98%-át a *Microcystis flos-aquae* tette ki.

1. táblázat. A Balatonból vett *Microcystis flos-aquae* minta biomszsa specifikus fotoszintetikus paraméterei.  $I_k$  – fényadaptációs paraméter,  $R^B$  – biomszsa specifikus légzés,  $P^B_{\text{max}}$  – biomszsa specifikus maximális fotoszintézis,  $\phi$  – fényhasznosítási tényező,  $\beta$  – fénygátlási paraméter. \* mértékegység:  $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$

Table 1. Biomass specific photosynthetic parameters of *Microcystis flos-aquae*.  $I_k$  – photoadaptation parameter,  $R^B$  – biomass specific respiration,  $P^B_{\text{max}}$  – biomass specific maximal production,  $\phi$  – initial curve,  $\beta$  – photoinhibitor. \* Unit:  $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$

T ( $^\circ\text{C}$ )	$I_k$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$R^B$ ( $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1}$ )	$P^B_{\text{max}}$ ( $\mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1}$ )	*	*
5	28,141	0,285	0,827	0,0294	0,0004
10	81,782	0,452	2,345	0,0287	0,0007
15	171,185	0,708	4,273	0,0250	0,0012
20	221,221	1,078	5,836	0,0264	0,0008
25	204,289	2,161	5,567	0,0273	0,0006
30	231,906	3,366	6,570	0,0283	0
35	622,932	3,028	7,190	0,0115	0
40	512,383	4,766	9,513	0,0186	0

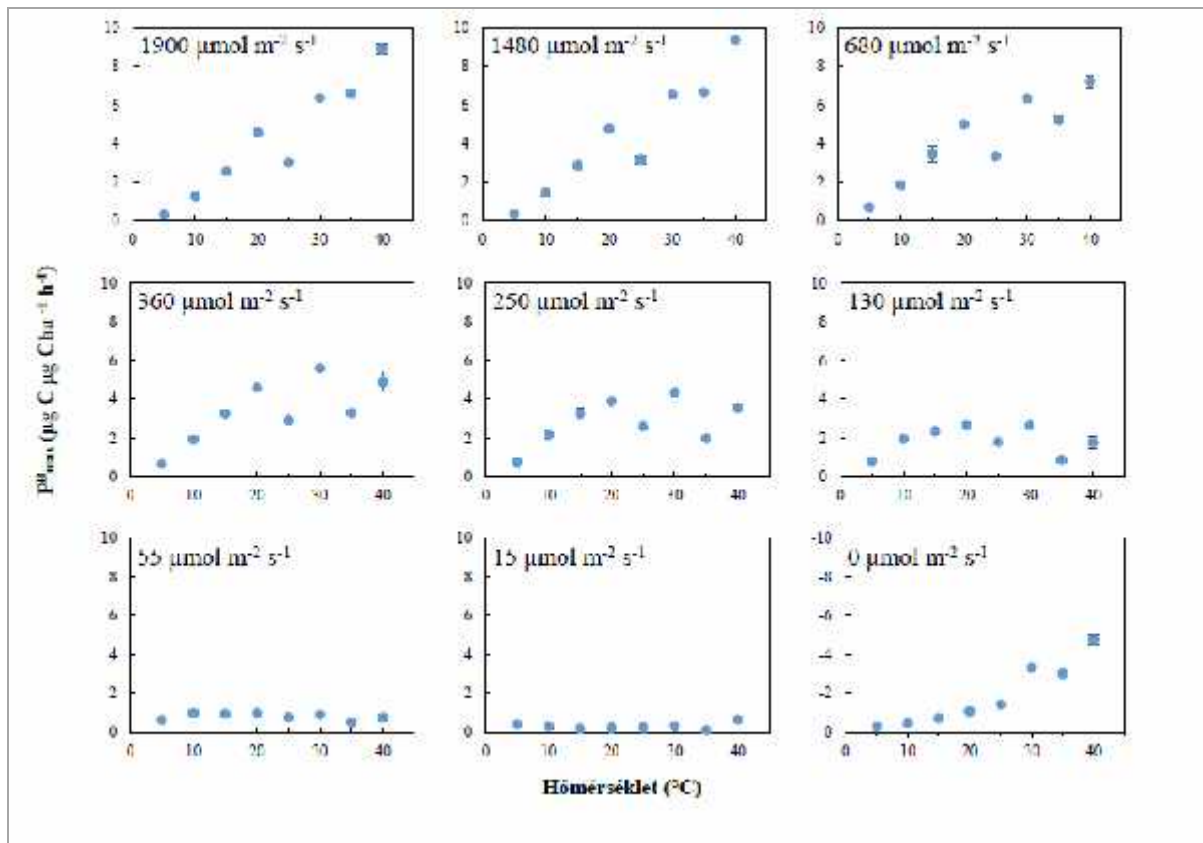
A fotoszintézis mérések során a különböző hőmérsékleten meghatározott paramétereket az 1. táblázat foglalja össze. A fényadaptációs paraméter esetében a legnagyobb értéket  $35^\circ\text{C}$ -on határoztuk meg ( $623 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A faj légzése a hőmérséklet növelésével fokozódott, maximumot  $40^\circ\text{C}$ -on határoztunk meg ( $4,766 \mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1}$ ). A minta biomszsa specifikus maximális produkciója a hőmérséklet növelésével nőtt, a legnagyobb produkciót a legmagasabb hőmérsékleten,  $40^\circ\text{C}$ -on tapasztaltuk ( $9,513 \mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1}$ ). A fényhasznosítási paraméter esetében nem tapasztaltunk hőmérsékletfüggést. Fénygátlást csak az alacsonyabb hőmérsékleti tartományban észleltünk ( $5-25^\circ\text{C}$  között,  $15^\circ\text{C}$ -on mértük a legnagyobb értéket,  $0,0012 \mu\text{g C } \mu\text{g}^{-1} \text{Chl a h}^{-1} (\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})^{-1}$ ). A biomszsa specifikus produkció a magasabb fényintenzitásokon ( $1900, 1480$  és  $680 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  között) a hőmérséklet növelésével nőtt. Közepes és alacsony fényintenzitáson ( $360-15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  között) a biomszsa specifikus maximális produkció a hőmérséklet függvényében jelentős változást nem mutatott (1. ábra)

## ÉRTÉKELÉS

Munkánk során a Balaton keleti medencéjében előjött, *M. flos-aquae* által dominált minta fotoszintetikus karakterisztikáját határoztuk meg különböző hőmérsékleten és fényintenzitásokon.

Méréseinkhez hasonlóan magas hőmérsékleti optimumot állapítottak meg korábban *Microcystis* fajok esetében több vizsgálat során. *Van der Westhuizen és Eloff (1985)*  $32-36^\circ\text{C}$  között figyeltek meg magas növekedési rátát,

Nalewajko és Murphy (2001)  $28-32^\circ\text{C}$  között talált növekedési optimumot *Microcystis* tenyészet esetében. *Konopka és Brock (1978)*  $20^\circ\text{C}$ -ban állapították meg az általuk izolált *Microcystis* tenyészet fotoszintézisének hőmérséklet optimumát, ez az érték elmarad a fotoszintézis általunk meghatározott hőmérséklet optimumától ( $40^\circ\text{C}$ ). *Coles és Jones (2000)* *Microcystis* sp. esetében hasonló  $P^B_{\text{max}}$  értékeket határoztak meg, míg más cianobaktérium fajoknál ezek az értékek valamivel alacsonyabbak voltak.



1. ábra. A Balatonból vett *Microcystis flos-aquae* minta biomassza specifikus produkciójának hőmérséklet függése  
 Figure 1. Temperature dependence of the biomass specific production of *Microcystis flos-aquae*

Tomioka és társai (2011) szintén pozitív kapcsolatot találtak a növekedési ráta és a fényintenzitás között *Microcystis* fajok esetében. Coles és Jones (2000) szűkebb hőmérséklettartományon végzett mérései során szintén azt tapasztalta, hogy a hőmérséklet növekedésével a fotoadaptációs paraméter növekedett, de jóval alacsonyabb értékeket határoztak meg a *Microcystis aeruginosa* esetében, mint az általunk tapasztaltak. Más cianobaktérium fajokkal összevetve az általunk meghatározott  $I_k$  értékeket azt tapasztaljuk, hogy a Coles és Jones (2000) és Üveges és társai (2012) jóval alacsonyabb fényadaptációs paramétert állapított meg az általuk vizsgált *Microcystis*, *Merismopedia*, *Oscillatoria* és *Aphanizomenon* fajok esetében. Hasonlóan magas  $I_k$  értékeket egy trópusi faj, az *Arthrospira fusiformis* esetében határoztak meg (Pálmai és társai 2013).

Eredményeink alapján megállapítható a *Microcystis flos-aquae* magas hőmérséklet és fényintenzitás preferenciája. Tekintettel arra, hogy az eutrofizálódás időszakában a relatív nitrogénhiányt jelző légköri nitrogénkötésre képes heterociták cianobaktériumok okoztak balatoni vízvirágzásokat, a 2015-ben tapasztalt *Microcystis* vízvirágzások a tó nitrogénellátottságának növekedésére engednek következtetni.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a Balatoni Fejlesztési Tanács Balaton Biztonsági Bizottsága valamint a TÁMOP-4.2.2B-15/1/KONV-2015-0004 program támogatta.

## IRODALOM

- Coles, J. F. & R. C. Jones, 2000. Effect of temperature on photosynthesis-light response and growth of four phytoplankton species isolated from a tidal freshwater river. *Journal of Phycology* 36:7-16.
- Entz, G., J. Kottász, & O. Sebestyén, 1937. Quantitative Untersuchungen am Bioeston des Balatons. *A Magyar Biológiai Kutatóintézet Munkái* 9, 1–152. old.
- Entz, G., & O. Sebestyén, 1942. A Balaton élete. Királyi Magyar Term. Tud. Társaság
- Hortobágyi, T. & I. Kárpáti, 1967. Nagyméret vízvirágzás a Balaton délnyugati részén. *Bot. Közlem.* 54/3, 137–142. old.
- Hortobágyi, T. 1962. Két vízvirágzás a Balatonon. *Botanikai Közlemények.* 49, 233–237.
- Konopka, A., & T. D. Brock, 1978. Effect of temperature on blue-green algae (cyanobacteria) in Lake Mendota. *Appl. Environ. Microbiol.* 36:572–576.
- Nalewajko, C., & T. P. Murphy, 2001. Effects of temperature, and availability of nitrogen and phosphorus on the abundance of *Anabaena* and *Microcystis* in Lake Biwa, Japan: an experimental approach. *Limnology* 2:45–48.
- Padisák, J. 1997. *Cylindrospermopsis raciborskii* (Woloszynska) Seenayya et Subba Raju, an expanding, highly adaptive cyanobacterium: worldwide distribution

and review of its ecology. Arch. Hydrobiol. Suppl. Monogr. Beitr. 107, 563–593.

Pálmai, T., V. Üveges, L. Krienitz & J. Padisák, 2013. Az *Arthrospira fusiformis* és a *Picocystis salinarum* fotoszintézisének karakterisztikái különböző fényintenzitásokon és hőmérsékleten, Hidrológiai Közlöny 93/5-6:64-66.

Platt, T., C. L. Gallegos & W. G. Harrison, 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. Journal of Marine Research 38: 687-701.

Sebestyén O. 1953. Mennyiségi planktontanulmányok a Balatonon. II. Évtizedes változások. Annal. Biol. Tihany 21, 63–89. old.

Tomioaka, N., A. Imai, & K. Komatsu, 2011. Effect of light availability on *Microcystis aeruginosa* blooms in shallow hypereutrophic Lake Kasumigaura, J. Plankton Res. (2011) 33 (8): 1263-1273.

Utermöhl H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen

Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie 9: 1-38.

Üveges, V., A. W. Kovács, V. Tóth, J. Padisák & L. Vörös, 2007. A balatoni fitobentosz fotoszintézise I. Az inkubáló berendezés és a vizsgálati módszerek. Hidrológiai Közlöny 87: 144-147.

Üveges, V., K. Tapolczai, L. Krienitz & J. Padisák 2012. Photosynthetic characteristics and physiological plasticity of an *Aphanizomenon flos-aquae* (Cyanobacteria, Nostocaceae) winter bloom in a deep oligo-mesotrophic lake (Lake Stechlin, Germany). Hydrobiologia 698: 263–272.

Van der Westhuizen, A. J., & J. N. Eloff, 1985. Effect of temperature and light on the toxicity and growth of the blue-green alga *Microcystis aeruginosa* (UV-006). Planta, 163, 55–59.

Webb, W. L., M. Newton & D. Starr, 1974. Carbon dioxide exchange of *Alnus rubra*. A mathematical model. Oecologia 17: 281-291.

Wetzel, R. G., & G. E. Likens, 2000. Limnological analyses. New York: Springer-Verlag.

## A SZERZŐK



**PÁLMAI TAMÁS** PhD hallgató, Pannon Egyetem, Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola. Kutatási terület: Különböző divízióba tartozó algafajok ökofiziológiai plaszticitásának jellemzése, alga tenyésztés és ökofiziológiai vizsgálatok, illetve az adatelemzéshez szükséges biostatistikai módszerek alkalmazása. E-mail: palmaid@almos.unipannon.hu

**SZABÓ BEÁTA** PhD hallgató, Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola. Kutatási terület: Diatóma diverzitás és fajösszetétel vizsgálat különböző ökoszisztémákban, felszíni vizek ökológiai állapotbecslése diatóma indexekkel, alga tenyésztés és ökofiziológiai vizsgálatok, illetve az adatelemzéshez szükséges biostatistikai módszerek alkalmazása. E-mail: szabobea@almos.uni-pannon.hu

**SELMECZY GÉZA BALÁZS** Egyetemi tanársegéd, Pannon Egyetem, Limnológia Intézet Tanszék. Kutatási terület: Fitoplankton ökológia édes és brakk vizekben, mélyrétegi maximumok ökológiája, a

globális klímaváltozás hatása tavi fitoplankton közösségre, fitoplankton ökológiai vizsgálatok mezokozmosz kísérletekben. E-mail: selmeczy.geza@gmail.com

**G.-TÓTH LÁSZLÓ** Hidrobiológus, limnológus, ökológus, a Magyar Tudományos Akadémia (MTA) doktora. BLI Hidrozoológiai Osztály igazgató, tudományos tanácsadó. Kutatási területe az édesvízi és tengeri zooplankton populációdinamikája, táplálkozásbiológiája, anyagcsereje, légzése, légzésének fiziológiája, és biokémiája, valamint a halak embrionális fejlődése, embrionális és lárvakori légzése.

**PADISÁK JUDIT** Az MTA doktora, egyetemi tanár, intézetigazgató, Pannon Egyetem, Limnológia Intézet Tanszék. Kutatási terület: Fitoplankton társulásökológia. A Balaton és a Stechlin-tó fitoplanktonjának hosszútávú változásai. Trópusi tavak, tározók fitoplanktonjának ökológiai jellemvonásai. A globális klímaváltozás hatása a fitoplanktonra. Magyarország folyó és állóvizeinek ökológiai állapota a Víz Keretirányelv alapján. E-mail: padisak@almos.uni-pannon.hu