

## Hogyan magyarázhatók a rendszertelen *Cylindrospermopsis raciborskii* tömegprodukciók a Balatonban - egy nullhipotézis

Padisák Judit és Istvánovics Vera  
MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, 8237 Tihany

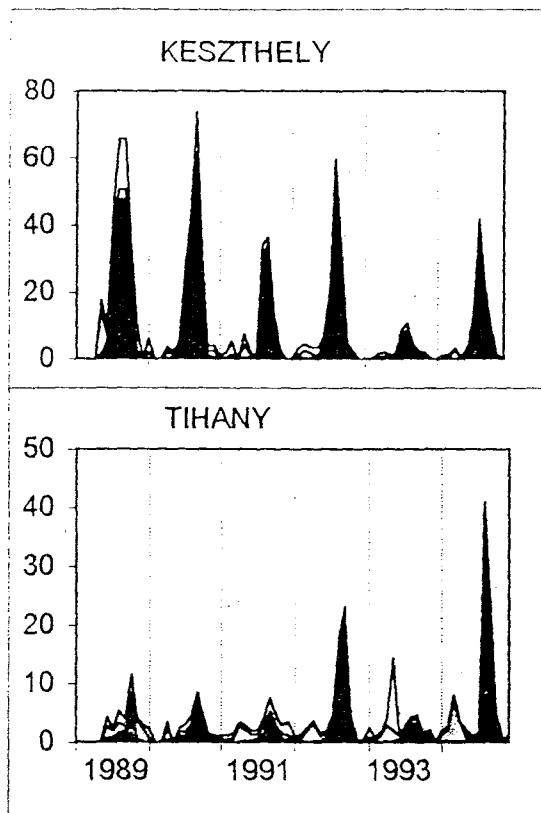
A növekvő foszfterhelés következtében a Balaton trofitási szintje az eredeti mezotrófikus szintről eu-hipertrófikusra változott az elmúlt 25-30 év folyamán. A folyamat az alga biomassza, és elsősorban a kékalgák biomasszájának tetemes növekedésével járt. Az elmúlt 25 évben a leginkább érintett Keszthelyi medencében szinte minden évben hatalmas fonalas kékalgatömeg fejlődött ki nyár végére. E kékalga tömeg jellemző módon több fajtól tevődött össze.

Az 1890-es évektől az 1960-as évek végéig végzett florisztikai vizsgálatok (Istvánffy 1897, Kol 1938, Hortobágyi 1943, 1948) rendszeresen beszámoltak a *Lyngbya circumcreata*, a *Planktolynghya limnetica*, az *Aphanizomenon flos-aquae* és jónéhány *Anabaena* faj (*A. cylindrica*, *A. variabilis*, *A. schermetievi*, *A. flos-aquae*, *A. spiroides*) jelenlétéről, így ezeket a tó eredeti algaflórája komponenseinek tekinthetjük. Az azóta tömegessé vált fajok közül *Raphidiopsis mediterranea* és az *Aphanizomenon issatschenkoi* egyaránt 1973-ban jelent meg (Tamás 1974, Bartha 1974), az *Anabaena aphanizomenoides*-t 1976-ban határoztuk meg (Padisák és Vörös, publikálatlan), míg a *Cylindrospermopsis raciborskii*-t 1978-ban találták meg először (Vörös, publikálatlan). A *Planktothrix agardhii* 1984-ben (Középdunántúli Vízügyi Igazgatóság, publikálatlan), a *Limnothrix redekei* pedig 1992-ben (Padisák, publikálatlan) jelent meg először.

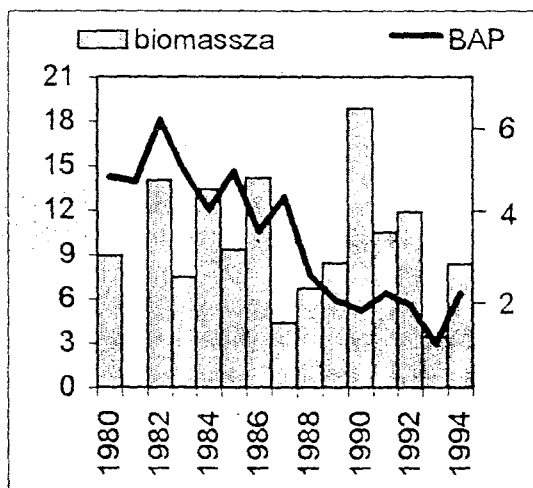
A vizsgálatok módszereiről: Vertikális vízminákat vettünk a Balatonban Tihanyánál ill. a Keszthelyi öböl közepén nyíltvízben. A mintavételi frekvencia jellemzően hetenkénti volt, a téli időszakban kéthetenkénti, vagy havi gyakoriságú. A fitoplanktont fordított planktonmikroszkópban számláltuk. Egy-egy mintában legalább 400 együtt ülepedő egységet (sejt, fonal, cönóbium vagy kolónia) számláltunk meg, így a számlálás hibája a teljes fitoplanktonra nézve < 10 %. A Nyugatdunántúli Vízügyi Igazgatóság által rendelkezésünkre bocsátott, Fenékpusztánál történt napi mérésekből származó oldott- és összes foszfor adatokból számítottuk a biológiailag hozzáférhető foszfor mennyiségét oly módon, hogy az összes oldott foszfor mennyiségéhez hozzáadtuk a formált foszformennyiség 35 %-át. Az 1982 és 1988 közötti fitoplankton adatok a Középdunántúli Vízügyi Igazgatóság által rendelkezésünkre bocsátott jegyzőkönyvek korrigálatlan adatai. A meteorológiai adatok az Országos Meteorológiai Intézet által kiadott Havi Időjárásjelentés c. kiadványból származnak.

Az elmúlt 6 év során a Keszthelyi medencében 1993 kivételével minden évben kialakult nyár végére kékalga maximum. Ennek fő összetevője 1992-ben és 1994-ben a *Cylindrospermopsis raciborskii* volt, más években több faj együttesen alkotta a kialakult tömeget (1. ábra). Tihanyánál ugyanebben a két évben alakult ki *C. raciborskii* vízvirágzás, egyébként a kékalgák nyárvégi mennyisége mérsékelt volt. Az 1993-ban tavasszal kialakult vízvirágzás egyedi okra vezethető vissza (Reynolds és mtsi. 1994) és azt a *Dinobryon sociale* okozta.

Az 1980-as évek első felétől nagyarányú munkálatok indultak a tó vízminőségromlásának megállítása ill. megfordítása érdekében. Ennek legjelentősebb lépései voltak a felső Kis-Balaton tározó 1985-ös megnyitása, a keleti medence szennyvízelvezető körcsatornájának 1988-as üzembe helyezése, Zalaegerszeg szennyvíztisztítójának foszforleválasztó technológiával való kiegészítése 1991-ben, és az alsó Kis-Balaton tározó egy részének 1992-es elárasztása. Mindezek és a gazdasági recesszió miatt a műtrágya-felhasználásban beállott csökkenés a Balaton biológiailag hozzáférhető foszfor (BHP) terhelésének mintegy 50-60 %-os csökkenéséhez vezettek, mely a Keszthelyi medence vonatkozásában 70-80 %-ra tehető. E terheléscsökkenés azonban nem vezetett a fitoplankton - és elsősorban kékalga - mennyiség látványos csökkenéséhez. Az elmúlt 15 év kékalga biomassza BHP adatai függetlenül alakultak ( $r = + 0.08$ ; 2. ábra). Ha a kékalgákat nem mint egységes csoportot kezeljük, hanem funkcionálisan különböző csoportokat alakítunk ki, a fenti függetlenség módosul.



1. ábra: A fitoplankton biomassa ( $\text{mg l}^{-1}$ ) havi átlagainak alakulása a Balatonban Keszthelynél és Tihanyánál, 1989-1994 fekete: kéalgák; szürke: kovaalgák; fehér: egyéb algák



2. ábra: A kéalgák évi átlagos biomasszájának ( $\text{mg l}^{-1}$ ) és a biológiailag hozzáférhető P-terhelés (BAP,  $\text{mgP m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$ ) éves átlagának alakulása a Keszthelyi medencében 1980 és 1994 között

1. csoport: a heterocitás kéalgák (gyakoriatilag: *Aphanizomenon* és *Anabaena* fajok) kivéve a *C. raciborskii*-t mennyisége a Keszthelyi medencében egyértelműen csökkent a csökkenő BHP terheléssel (3a ábra). Ebből arra következtetünk, hogy ezek a fajok P-forrásul feltehetően a külső terheléssel bejutó foszfort használják.

2. csoport: az összes kéalgák (*Chroococcales*, nem-heterocitás fonalas fajok; legjelentősebb a *Planktothrix agardhii*), melyek  $\text{N}_2$ -kötésre nem képesek. E csoport tagjai a felső Kis-Balaton tározó üzembe helyezése után bekövetkezett nagymértékű terhelési N/P arány növekedésre reagáltak pozitívan, majd mikor az alsó tározó elárasztása után ez az arány csökkent, a kéalgák mennyisége is csökkent (3a ábra).

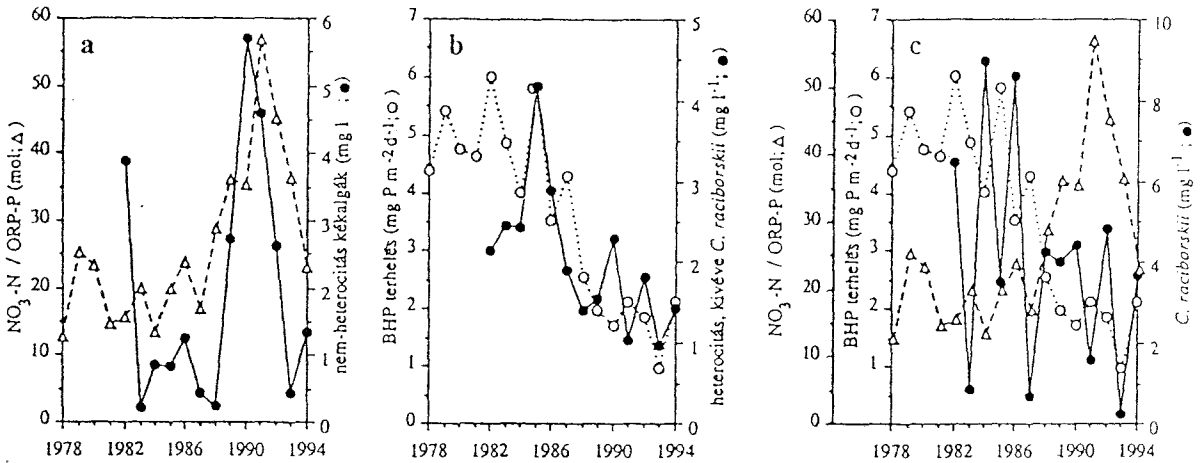
3. csoport: *Cylindropermopsis raciborskii*. Mint a 3/c ábrán látható e faj populációmérete mind a BHP terheléstől, mind pedig a terhelési N/P aránytól független.

A fentiekből következik, hogy amennyiben a kéalgák biotomassza külső terheléstől való nagymértékű függetlenségét meg akarjuk érteni, akkor elsősorban a *C. raciborskii* viselkedését kell magyaráznunk. Ennek során két alapkérdésre kell választ találni:

a) Mivel magyarázható a *C. raciborskii* virágzások rendszertelen (1982, 1992, 1994) jellege?

b) Hogyan lehetséges, az, hogy növekedése ily mértékben független a külső tápanyagok és elsősorban a foszfor mennyiségétől? (A Balatonban a fitoplankton növekedése egész évben foszforlimitált, az oldott foszfor koncentrációk az analitikai mérőhatár alatt vannak. Istvánovics & Herodek 1995.)

A *C. raciborskii* trópusi-szubtrópusi elterjedési területtel rendelkezik. Gorzó (1987) kimutatta, hogy az akinétái csak  $21^\circ\text{C}$ -os üledékhőmérséklet felett kezdenek tömegesen csírázni szemben a többi balatoni kéalgák faj  $17^\circ\text{C}$ -on meginduló csírázásával. A vízvirágzások meteorológiai adatainak elemzése azt mutatja, hogy eddig csak akkor alakult ki a Balatonban az egész tóra kiterjedő vízvirágzás, amikor július-augusztus-szeptember hónapokban az átlaghőmérséklet jelentősen tért el pozitív



3. ábra: a - a  $\text{NO}_3\text{-N}/\text{ORP-P}$  terhelési arány és a  $\text{N}_2$ -kötésre nem képes kékalgák átlagbiomasszája; b - A heterocitás (kivéve *C. raciborskii*) kékalgák biomasszája és a BHP terhelés; c - a  $\text{NO}_3\text{-N}/\text{ORP-P}$  terhelési arány, a BHP terhelés és a *C. raciborskii* biomasszája. Minden adat a Keszthelyi medencére vonatkozó éves átlag 1978 és 1994 között.

irányban a sokéves átlagtól (1. táblázat). A hőmérséklet alapvető szerepét támasztja alá az a megfigyelés is, hogy a sekélyebb, emiatt hamarabb melegedő Keszthelyi medencében olyan években is kialakult nagyobb *C. raciborskii* tömeg (Padisák 1994), amikor a faj egyedei csak szórványosak voltak a mélyebb, keleti tóterületen.

A *C. RACIBORSKII* tömegtermelés külső P-koncentrációtól ill. P-terheléstől való függetlenségének okát adhatja, ha feltételezzük, hogy a faj KÉPES AZ ÜLEDÉKBEN az elmúlt évtizedek alatt FELHALMOZÓDOTT FOSZFOR FELVÉTELÉRE. Ezt az állítást kísérletekkel bizonyítani egyelőre nem állt módunkban, de közvetett bizonyítékok sora szól e nullhipotézisként felfogható feltételezés helyessége mellett. Miszerint:

1. A Balaton üledéke az elmúlt évtizedek során hozzáférhető foszforban ténylegesen gazdagabbá vált (Herodek & Istvánovics 1986).

2. Az üledékben asszimilált foszforra épülő és azt követő planktonikus növekedés, mint életstratégia a kékalgák körében - a *Gloeotrichia echinulata* példája bizonyítja (Istvánovics és Padisák, jelen kötet) - evolúciósan létezik.

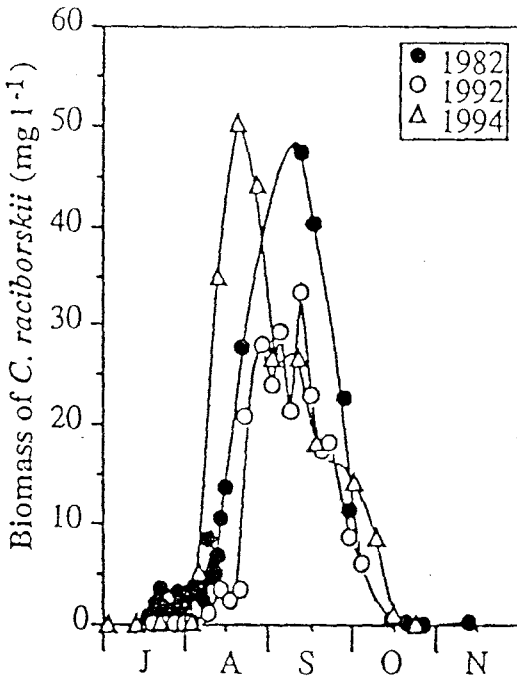
3. A Balatonban az üledék akinétakészlete és a planktonikus fonalszám között fordított arányosság mutatható ki (Gorzó 1987).

4. A *C. raciborskii* tömegtermelés éveiben nem tudunk a növekedés tápanyagfedezetétől szolgáló egyéb, külső eredetű foszforforrásra bukkanni. Ráadásul ezek a tömegtermelés típusosan csendes, meleg időszakok során alakulnak ki, amikor a felkeveredés minimális és ezért a belső P-terhelés kisebb, mint erősebb felkeveredés idején. 1982-ben a kékalga tömeg kialakulását nagymértékű esőzések előzték meg, melyek következtében nőhetett a vízgyűjtőről való foszforbemosódás, 1992-ben és 1994-ben azonban rendkívül száraz időszak volt a vízvirágzások kifejlődése előtt. E két utóbbi évben a csökkenő BHP (2. ábra) ellenére kifejlődött a *C. raciborskii* tömeg.

5. A *Gloeotrichia echinulata*-hoz hasonlóan a *Cylindrospermopsis raciborskii* sem okoz hosszan tartó vízvirágzásokat, hanem az hamar felfut és stacionáris fázis nélkül gyorsan lecseng. A felfutás és lecsengés 52 (1982), 57 (1992) és 64 (1994) napig tartott Tihanynál. A populációdinamika e rigiditása készletfüggő növekedésre utalhat (4. ábra).

6. Úgyszintén a *Gloeotrichia echinulata*-hoz hasonlóan a *Cylindrospermopsis raciborskii* frissen fejlődött akinétáiban is megfigyelhető nagyszámú olajcsepp, mely raktározott tápanyagkészlet lehet. Egyéb balatoni kékalgák akinétáira ez nem, vagy sokkal kisebb mértékben jellemző.

7. 1992-ben és 1994-ben egyaránt egy kisebb *Aphanizomenon flos-aquae* csúcs fejlődött ki (maximum mindkét esetben  $5 \text{ mg l}^{-1}$ ) a *C. raciborskii* tömeg megjelenése előtt



4. ábra: A *C. raciborskii* populációdinamikája 1982-ben, 1992-ben és 1994-ben a Balatonban, Tihanyánál

	havi középhőmérséklet (°C)			a havi középhőmérséklet eltérése a 30 éves átlagtól (°C)		
	July	Aug.	Sept.	July	Aug.	Sept.
1982	21.5	20.9	19.3	+0.2	+0.1	+2.6
1989	22.0	20.5	16.6	+0.7	-0.3	-0.1
1990	20.8	21.5	15.3	-0.5	+0.7	-1.4
1991	22.9	21.5	17.8	+1.6	+0.7	+1.1
1992	22.4	25.4	17.2	+1.1	+4.6	+0.5
1993	20.6	21.5	16.4	0	0	0
1994	24.3	22.8	19.1	+3.2	+2.5	+2.6

1. Táblázat: A léghőmérséklet néhány jellemző adata 1982-ben és 1989-1994-ben a síófoki állomás mérései szerint

(maximum Tihanyánál 1992-ben  $33 \text{ mg l}^{-1}$ , 1994-ben  $50 \text{ mg l}^{-1}$ ). Mindkét populáció ill. év esetén számítottuk az összes biomassza megoszlását a normál fonalsejtekben, akinétákban ill. heterocitákban. Az abszolút mennyiségekből a következő arányok származtak: 1992-ben a *Cylindrospermopsis raciborskii* az *Aphanizomenon flos-aquae*-nél 8,47-szor nagyobb rendes fonasejt tömeget, mindössze 2-szer nagyobb heterocita, ellenben 45-ször nagyobb akinéta biomasszát mutatott fel. 1994-ben 16-szor nagyobb fonasejt, 3,5-szer nagyobb heterocita és 24-szer nagyobb akinéta biomasszát találtunk. A fenti számokból önként adódik a kérdés: miért termel a *Cylindrospermopsis raciborskii* ilyen aránytalanul nagy akinéta biomasszát? Az az akinéta mennyiség, mely az *Aphanizomenon flos-aquae*-ra jellemző feltétlenül elég kell legyen a következő évi inokulációra, hisz ez a faj a Balatonban amióta csak fitoplankton vizsgálatok vannak, mindig megtalálható. Ha feltételezzük, hogy a *Cylindrospermopsis raciborskii* akinéták jelentős szerepet látnak el az üledékben a foszfor-asszimilációjában, akkor a túltermelés érthetővé válik.

8. Heterocitás kékalga lévén, felmerül a N-hiány trigger szerepe a *C. raciborskii* tömegtermelés kialakulásában. E lehetőséget cáfolja a fentiekben leírt relatíve jelentéktelen heterocita termelés és a Présing és mtsi. (1995) 1994-es N-felvételi mérései. Megállapították, hogy a *C. raciborskii* elsősorban igen hatékony  $\text{NH}_4$ -felvétellel, és csak másodsorban  $\text{N}_2$ -kötéssel fedezi N-szükségletét.

Konklúzió: Amennyiben a *C. raciborskii* P-asszimilációjára kidolgozott hipotézisünk helyes, a Balatonban e faj tömegtermelésére mindaddig kell számítanunk, amíg az üledék P-tartalma nem csökken jelentősen és a nyári időjárás olyan meleg, hogy az üledék hőmérséklete eléri azt a szintet, ami a faj akinétáinak tömeges csírázásához szükséges.

IDÉZETT KÖZLEMENYEK: Bartha, Zs. 1974: *Annal. Biol. Tihany* 41: 127-131. Gorzó, Gy. 1987: *Hidrológiai Közöny* 67: 127-133. Herodek, S. & Istvánovics, V. 1986: *Hydrobiologia* 135: 149-154. Hortobágyi, T. 1943: *Bot. Közl.* 39: 57-85. Hortobágyi, T. 1948: *Dunántúli Tudományos Intézet Kiadványai* 10: 10-16. Istvánovics, V. & Herodek, S. 1995: *Limnology & Oceanography* 40: 17-32. Istvánovics, V. & Padisák, J.: jelen kötet. Istvánffy, Gy. 1997: *A Balaton Tudományos Tanulmányozásának eredményei* II. 2. 1-140. Kol, E. 1938: *Annal. Biol. Tihany* 10: 154-160. Padisák, J. 1994: In Sund, H. & al. (szerk.) *Science and Technol. Press, Beijing*, 419-437. Présing, M., Herodek, S., Vörös, L. & Kóbor, I.: jelen kötet. Reynolds, C. S., Padisák, J. & Kóbor, I. 1994: *Abstracta Botanica* 17: 251-260. Tamás, G. 1974: *Annal. Biol. Tihany* 41: 257-292.