

KÍSÉRLET A BALATON TIHANYI TÉRSÉGE EUTROFIZÁLÓDÁSÁNAK TÖBBTÉNYEZŐS BECSLÉSÉRE III. MEGBESZÉLÉS, AZ EUTROFIZÁLÓDÁS EGY NAGY IDŐLEPTÉKŰ FEJLŐDÉSMODELLJE

G. TÓTH LÁSZLÓ—PADISÁK JUDIT

Elfogadva: 1983. február 20.

Cikksorozatunk első részében (G. TÓTH—PADISÁK 1982) a bevezető megjegyzéseken és a módszereken kívül az algológiai mutatókat tárgyaltuk részletesebben, a második rész (G. TÓTH—PADISÁK 1983) a bakterioplankton, a zooplankton és bizonyos vízkémiai változók vizsgálata során kapott eredményeket részletezte. A jelen, folytatólagos részben az előzőekben tárgyalt eredmények szintetizáló jellegű megbeszélésén túl a teljes cikksorozat irodalomjegyzéke kapott helyet.

Megbeszélés

Vizsgálataink során a legfontosabb változók nyári átlagértékei a 6. táblázatban feltüntetett trofitási fokokat jelezték.

6. táblázat
Table 6.

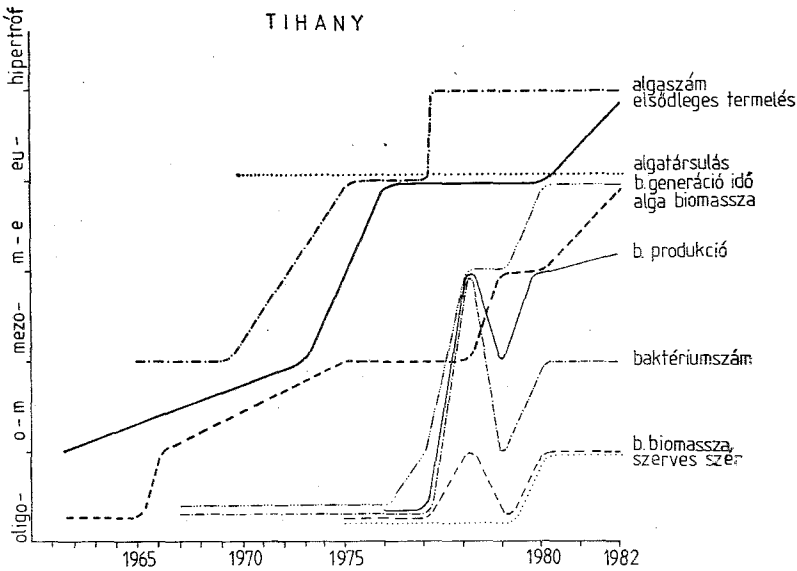
A főbb változók által jelzett trofitásértékek 1975–79 nyarain, Tihanynál
Trophic degrees indicated by the most important plankton variables (listed below Fig. 15.) in the summers of 1975–79 in Lake Balaton at Tihany

	1975. júl.—aug.	1976. júl.—aug.	1977. júl.—aug.	1978. júl.—aug.	1979. aug.—szept
Algatársulások	eu	eu	eu	eu	eu
Elsődleges termelés		eu*	eu*	eu	
Algaszám	eu	eu	eu	eu-poli	eu-poli
Alga biomassa	mezo	mezo	mezo	mezo	eu
Átlagos baktérium térfogat	oligo	oligo	oligo	oligo	oligo
A bakterioplankton biomasszája	oligo	oligo	oligo	oligo-mezo	oligo
A bakterioplankton generáció ideje	csökken →				
A bakterioplankton produktója	← növekszik →				
A víz szerves-szén tartalma	oligo	oligo	oligo	oligo	oligo-mezo
Eudiaptomus gracilis peteprodukcója	eu**		eu**		

* HERODEK és VÖRÖS 1980

** PONYI és mts. 1980

TIHANY



15. ábra. A legfontosabb változók (partikulált szerves szén, bakteriális biomassa, baktériumszám, produkció és generációidő, fitoplankton társulásjelleg, alga egyedszám, biomassa és produkció) által jelzett trofitásfokok 1965 és 1982 között a Balatonban, Tihany-nál

Figure 15. Trophic degrees indicated by the most important plankton variables (particulate organic carbon, bacterial numbers, biomass, production and generation times, algal numbers, biomass and production, and algal association) type based on occurrence of eutrophic indicator groups) at Tihany

Ebből látható, hogy a térség nyári trofitásfokának egységes megítélése egyik vizsgálati időszakban sem volt lehetséges. Az algológiai-, a bakteriológiai mutatók egy része és a szerves szén tartalom a trofitásnövekedést jelezték ugyan, de elmaradtak az elsődleges termeléshez és más, eutrófikus tavakban mutatott értékeikhez képest.

Ennek alapján a komplex trofitásbecslés kísérletének első, elhamarkodott tanulsága az lenne, hogy adott időpontra vonatkozóan komplex trofitásbecslést végezni lehetetlen, értelmetlen. Az egyes változók alakulását külön-külön szemügyre véve és éppen az egyébként majd mindegyiknél tapasztalható trendet megvizsgálva az ellentmondások a planktonrendszer egy nagy időléptékű szukcesszív fejlődésmodelljében feloldhatók, az alábbiak szerint (15. ábra).

A térséget érő növényi tápanyagterhelés hatására először a fitoplankton összetétele alakult át, létrehozva más, nagyobb potenciális produktivitású algaegyütteseket (1970-es évek eleje). A tápanyagmennyiség további növekedésének következtében intenzív elsődleges termelés indult meg (1973–1975), amely már a fitoplankton egyedsűrűségét is növelte (1974–1976). Ekkor a térség bakteriológiai szempontból még oligotrófikus volt, viszont az algák növekedő száma a zooplanktonnak kedvezőbb táplálékviszonyokat jelentett, így egyes zooplankton mutatókon már ekkor is érzékelt a trofitásfok emelkedését. Később néhány nagyobb térfogatú kolóniás és fonalas kékalgafaj belépésével az elsődleges termelés tovább fokozódott, aminek következtében a fito-

plankton biomasszája többszörösére emelkedett (1978—1979). A megnövekvő alगतөmeg folyamatos pusztulása jelentette a bakterioplankton táplálékbazisának gyarapodását. Ennek, valamint a magas nyári vízhőmérsékletnek a következtében fokozódott a mikrobiális aktivitás is, ettől kezdve jelezték a bakteriális mutatók a trofitásfok növekedését (1978—1979). Ismeretes, hogy a víz holt szervesanyaga a Balatonban a detrituszképződés folyamán még a tökéletes lebomlás előtt stabilizálódik (OLÁH 1973b) — legalábbis bizonyos mértékben. Mivel a tó dinamikája a végleges kiülepedést akadályozza (ENTZ 1981), a visszamaradó detritusz mennyisége is növekedni kezdett, ami a szerves szén tartalom növekedésében mutatkozott meg. A trofitás emelkedését tehát a reziduális szervesanyag mennyiségében érzékelhettük legutoljára (1980).

A hatvanas évek végére és a hetvenes évek elejére tehető első komolyabb tápanyagterhelés után tehát az alगतársulás florisztikai változása, az esődleges termelés és az alga biomassza drasztikus megnövekedése minimálisan 3—6 évet vett igénybe. A mennyiségi bakteriális mutatók trofitásnövekedést jelző változásai pedig további 2—3 év múlva, összesen 5—9 év múlva jelentkeztek.

Míg a fenti folyamatleíráshoz eljutottunk, az eutrofizálódás cikkünkben bemutatott megközelítése számos problémát, kérdést vetett fel. Elsősorban azt, hogy érdemes-e a RODHE által megjelölt útról letérnünk, különösképp akkor, amikor ez a letérés a helyzet látszólagos bonyolultabbá válásához vezet. Ugyanis, míg a primer produktómérések szerint a Balaton egyértelműen eutrófikus vagy ennél magasabb trofitásfokú, addig a felhasznált számos trofitási skálán a legkülönbözőbb eredményeket kaptuk.

Elméletileg durva hiba lett volna a kapott trofitási értékek átlagolása, s ennek alapján egy másféle trofitási szint beállítása. (Zárójelben jegyezzük meg, hogy ha ezt megtennénk, akkor sem kerülnénk ellentmondásba a korábbi mérések eredményeivel, és akkor sem lenne megkérdőjelezhető a legfontosabb: az eutrofizálódási folyamat rohamos előrehaladásának ténye.)

További — improduktív — útként kínálkozhat a trofitási skálák átparametralása, egymáshoz illesztése, és ezzel egy egységes kép kialakítása. Ezzel ugyanis lemondanánk egy fontos eredményről, mely a szukcesszív fejlődésmodellből következik, nevezetesen arról, hogy a Balaton vizsgált területének planktonrendszerre igen nagyfokú perzisztenciát mutat a tetemes tápanyagterheléssel szemben. Nyílt kérdés, és a jelenlegi ismeretek szintjén nem megválaszolható, hogy ez a perzisztencia még meddig terjed. Ezen a ponton utalni kell arra az ismerethiányra, mely a fenti bizonytalanság fő forrása.

Az alkalmazott módszerek hibalehetőségein túl pusztán anyagforgalmi szempontból vizsgálandó kérdés, hogy a nagy mennyiségben termelő alga biomassza mineralizálását valóban a baktériumok végzik-e, s a jelenleg sem nagy baktériumállomány egyáltalán végezheti-e? OLÁH (1971, 1973b) vizsgálatai szerint a Balaton aeráltsága, szervetlen szeszból tartalma a bakterioplankton mineralizációs kapacitását rendkívül megnöveli. Más vizsgálatok szerint (G. TÓTH 1980) pedig a fitoplankton biomasszájának maximálisan 10%-át fogyasztja el a zooplankton. Ez is a bakteriális lebontás fontosságát támasztja alá. Ugyanakkor TÁTRAI (1981) vizsgálatai szerint a balatoni dévérkeszeg (*Abramis brama*) populáció Tihanynál az esődleges termelés során megkötött energia 6%-át, az egész halállomány ennek többszörösét értékesítheti. Ezt támasztják alá DÉVAI (1980) eredményei is, miszerint a Balaton egyes területein (Keszthelyi-öböl) időszakosan az esődleges termelés nagyságrendjébe eső *Chironomida* anyagforgalom mérhető.

Mint látható, számos részterületen születtek értékes eredmények az utóbbi időben. Megoldatlan viszont ezeknek egy egységes képbe illesztése. A szándékában erre hivatott, s erre elméletileg alkalmas Balaton-modell (WITTMANN 1979) — és annak az utóbbi időszakban kifejlesztett részmodelljei — jelenlegi állapotában még nem tudja a zoológiai kutatások elgondolkodtató eredményeit figyelembe venni. A társulásszerkezeti vizsgálatok viszonylagos elmaradása az anyagforgalmi vizsgálatok mögött számos további bizonytalanság forrása lehet (nem tudjuk például, hogy a zooplankton szűrése pusztán csak méretpreferenciát feltételezve milyen hatással van az algtársulásra, vagy a bemutatott kompartment perzisztencia is jórészt ebbe a kérdéskörbe tartozik).

Az utóbbi években a népgazdaságot jelentősen terhelő, nagy volumenű intézkedéseket hoztak a Balaton vízminősége további romlásának megelőzése, majd fokozatos javítása érdekében. Pusztán a cikksorozatban bemutatott lépcsőzetes és elhúzódtó trofitásnövekedés felveti azt a lehetőséget, hogy a tó ha úgy tetszik „oligotrofizálódása” ugyanígy késni fog a tápanyagterhelés csökkenéséhez képest, s nem pusztán a vízvédelmi rendszerek eltérő működésbe lépése miatt. További kérdés, hogy ha a — mint láttuk — igen reaktív elsődleges termelés csökkenő tendenciát mutat is majd (ami önmagában is hatalmas eredmény lenne), visszaáll-e (s a déli part jelenlegi betonozottsága mellett, mely nem tápanyagterhelési kérdés, várható-e, hogy visszaálljon) a 20 éve volt társulásszerkezet, s ha igen, visszaállása mennyit fog késni a mennyiségi mutatókhoz képest?

Mindezek együttesen a jelenleg egyre eutrófikusabb Balaton nagyobb volumenű, szélesebb skálájú és egyeztetettebb ökológiai, hidrobiológiai vizsgálatát sürgetik.

Összefoglalás

A Balaton tihanyi térségében az 1975—79. évek július—augusztusaiban vízkémiai, ill. intenzív algológiai és mennyiségi bakteriológiai vizsgálatokat végeztünk, amelyek eredményeit alkalmasnak véltük a térség trofitásfokának, az eutrofizálódás ütemének és a planktonrendszer válaszjelenségeinek sokoldalú tanulmányozására. Ezt segítették a vizsgálatainkkal párhuzamosan végzett zooplankton kutatások eredményei is. Munkánk során 26 változó alapján, 48 trofitási skála és/vagy beosztás tükrében vizsgáltuk a térség trofitását, ill. az egyes élőlénycsoportok lehetséges anyagforgalmi szerepét.

A skálák és adataink komparatív értékelése során több változó adott időpontban történő együttes vizsgálata az egyértelmű trofitásbecslést nem tette lehetővé.

A térség algológiai szempontból — az alga biomasszáét kivéve — már 1975 nyarán eutrófikus, azóta eu-politrófikus, a fitoplankton biomassza szempontjából 1978-ig mezotrófikus, 1979-ben eutrófikus volt. A bakterioplankton megkésve reagált a trofitásfok növekedésére. A generációidő csökkent, a produkció nőtt, de a bakterioplankton P/B hányadosa csak 1978—79 nyarán érte el az eutrófikus tavakban jellemző értéket. A baktériumszám 1977-ig oligotrófikus volt, később is csak a mezotrófikus tavak értékeit érte el. A bakterioplankton biomasszája 1978 nyarán kivéve szintén oligotrófikus. 1978-ban mezotrófikus értékű volt. A víz szerves szén tartalma sem tükrözte az eutrófikus állapotot, 1977—79 nyarain oligotrófikus, 1980-ban oligo-mezotrófikus értéket találtunk.

A kémiai oxigénigény béta-alfa mezoszapróbiára utalt, mely a harmonikus élővilággal rendelkező tavak sajátja. A vizsgált Copepoda peteprodukcója és napi P/B hányadosai a trofitás szempontjából az algológiai mutatókkal voltak összhangban.

Az ellentmondásos helyzetből fakadó számos elméleti kérdés, probléma (lásd a Megbeszélést) ellenére az évenkénti változások bizonyos irányítottaságára s a különféle mutatók különféle alakulása mellett is az eutrofizálódás egyfajta trendjére világítottak rá. Ezt a planktonrendszer — egyelőre még több ponton bizonyítandó — nagy időléptékű szukcesszív fejlődésmodellje körvonalazza, miszerint:

Az ásványi tápanyagterhelés hatására először az algaegyüttes változik meg, létrehozva nagyobb potenciális produktivitású társulásokat, majd intenzívebb elsődleges termelés indul. Megnő az algaszám, majd — főleg a kékalgák révén — az alga biomassza is. A zooplankton termelékenységé már az algaszám növekedésének hatására nő, de a bakteriális mutatók csak a nagyobb alga biomassza megjelenése után jelzik a trofitásfok növekedését. A víz szerves szén tartalma az intenzív mineralizálódás miatt egyelőre nem mutatott nagyobb mérvű növekedést.

Az eredmények szerint tehát a 10–15 éve elkezdődött komolyabb növényi tápanyagterhelés egy jelenleg is tartó, nagy időléptékű, dinamikus változás-sorozatot indított el a térség planktonrendszerében, amelyre egyébként nagy perzisztencia jellemző.

A mennyiségi bakteriális mutatók elmaradása az elsődleges termeléstől és más eutrófikus tavak értékeitől alátámasztja azt az álláspontot, hogy a balatoni baktériumközösségek mineralizációs kapacitása a szokásosnál nagyobb. A folyamatosan pusztuló algatömeg visszatérítésében azonban az aerobikus üledék faunája is fontos szerepet játszhat.

Mindezek az algák és a baktériumok további kutatásait és a táplálékhalózat csomópontjait jelentő konzumens fauna további vizsgálatait sürgetik a Balatonban.

7. táblázat
Table 7.

A főbb változók értékei 1980 és 1982 nyaraiban a Balatonban Tihanynál
Mean values of the most important variables in the summers of 1980 and 1982
in Lake Balaton at Tihany

	1980. július—augusztus	1982. július—augusztus
Partikulált szerves szén	2,900 mg · l ⁻¹	4,015 mg · l ⁻¹ *
Baktériumszám	0,984 · 10 ⁶ ind · l ⁻¹	0,576 · 10 ⁶ ind · l ⁻¹
Baktérium biomassza	0,207 mg · l ⁻¹	0,126 mg · l ⁻¹
Bakteriális produkció	264 µgC · l ⁻¹ · nap ⁻¹	
Bakteriális generációidő	14, 19 óra	
Algaszám	14,796 · 10 ⁶ ind · l ⁻¹	
Alga biomassza	5,59 mg · l ⁻¹	
Elsődleges termelés		**

* P.-ZÁNKAI és POÓR mérése

** HERODEK, szóbeli közlés

Záradék

A cikksorozat kéziratának elkészülte óta, 1980 és 1982 július—augusztusaiban is születtek mérési adatok. A mintavételek módja s a feldolgozások, módszerei azonosak voltak a korábbiakkal. A változók átlagértékeit a 7. táblázatban tüntettük fel, és figyelembe vettük őket a 15. (összefoglaló) ábra elkészítésénél is. 1982 augusztusa közepétől a tó egész területén erőteljes *Anabaenopsis raciborskii* vízvirágzás lépett fel, mely a július—augusztusi mindennapos adatok átlagértékében még alig tükröződik. Szeptemberben azonban a baktériumszám, a bakteriális biomasza és produkció alakulásában is nagyságrendnyi emelkedést tapasztaltunk.

Köszönetnyilvánítás

A cikksorozat kéziratának elkészülése folyamán számos hidrobiológus kolléga fűzött hasznos megjegyzéseket az anyaghoz, közreműködésüket ezúton is köszönjük. Külön szeretnénk köszönetet mondani Dr. BERCEK ÁRPÁDNAK, Dr. FELFÖLDY LAJOSNAK, Dr. JUHÁSZ-NAGY PÁLNAK és Dr. PONYI JENŐNEK előremutató észrevételeikért, javaslataikért.

IRODALOM — LITERATURE

- ANDERSEN, J. M.—SAND-JENSEN, K. 1980: Discrepancies between O_2 and ^{14}C methods for measuring phytoplankton gross at low light levels. — *Oikos*, 35: 359—364.
- BARHA ZS.—FELFÖLDY L.—HAJDU L.—HORVÁTH K.—KISS I.—SCHMIDT A.—TAMÁS G.—UHERKOVICH G.—VÖRÖS L. 1976: A zöldalgák Chlorococcales rendjének kishatározója. — In: *Vízügyi Hidrobiológia 4.* (FELFÖLDY L., ed.), VIZDOK, Budapest.
- BERNHARD, M.—RAMPI, L.—ZATTERA, A. 1967a: A phytoplankton component not considered by the Utermöhl method. — *Publ. Staz. Zool. Napoli*, 35: 170—214.
- BERNHARD, M.—RAMPI, L. 1967b: The annual cycle of the Ligurian Sea in 1959 and 1962. — *Publ. Staz. Zool. Napoli*, 35: 137—169.
- BIRGE, E. A.—JUDAY, C. 1911: The inland lakes of Wisconsin. The dissolved gases of the water and their biological significance. — *Wisconsin Geol. and Nat. Hist. Survey*, 22. Sci. Ser. 7.
- BÖSZÖRMÉNYI Z.—CSEH F.—FELFÖLDY L.—SZABÓ E. 1962: A Balatonon ^{14}C -módszerrel végzett fotoszintézis mérés módszertani kérdéseiről. — *Annal. Biol. Tihany*, 29: 39—63.
- BREITING, G.—TÜMPLING, W. 1970: Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung II. Biologische, mikrobiologische und taxonomische Methoden. Grundlagen zur Analyse der ökologischen Situation im Gewässer. — VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- BROOK, A. J. 1965: Planktonic algae as indicators of lake type. — *Limnol. Oceanogr.*, 10: 403—411.
- DÉVAI Gy. 1976: Javaslat a szárazföldi (kontinentális) vizek csoportosítására. — *Acta Biol. Debrecina*, 13: 147—161.
- DÉVAI Gy. 1980: A Balaton üledéklakó árvaszúnyog (Diptera: Chironomidae) faunájának vizsgálata. — A balatonkutató újabb eredményei I. MTA—VEAB Monográfia, 12: 82—84. MTA—VEAB, Veszprém.
- DODSON, H. F. M.—GILBERTSON, M.—SLY, P. 1974: A summary and comparison of nutrients and related water quality in Lake Erie, Ontario, Huron and Superior. — *J. Fish. Res. Board Canada*, 31: 731—738.
- ELSTER, H. J. 1958: Das limnologische Seetypensystem, Rückblick und Ausblick. — *Verh. Int. Verein. Limnol.*, 13: 101—120.
- ENTZ B. 1981: A Balaton parti övében és a vízfenék élővilágában az utóbbi évtizedekben bekövetkezett változások állattani vonatkozásai és az ezzel kapcsolatos fizikai és kémiai vizsgálatok a Balatonban. — MTA—VEAB Monográfia, 16: 143—189. MTA—VEAB, Veszprém.
- FELFÖLDY L. 1963: A klorofill mérés módszertani és elvi kérdései balatoni eredményeinkkel kapcsolatban. — *Annal. Biol. Tihany*, 30: 137—165.
- FELFÖLDY L. 1974: A biológiai vízminősítés. In: *Vízügyi Hidrobiológia 3.* (FELFÖLDY L. ed.), VIZDOK, Budapest.
- FELFÖLDY L. 1977: Elsődleges termelés. — *Hidrológiai Továbbképző Tanfolyam, Tihany.*

- FELFÖLDY L. 1980: A biológiai vízminőségértékelés. — In: Vízügyi Hidrobiológia 9. (FELFÖLDY L. ed.) VIZEDK, Budapest.
- FINDENEK, I. 1953: Alpenseen ohne Vollzirkulation. — *Int. Rev. der ges. Hydrobiol.*, 28 : 295—311.
- FOREL, F. A. 1892—1901: *Le Léman*. Monographie Limnologique Bd. I. pp. 543, II. pp. 651 and III. pp. 715. Lausanne, F. Rouge.
- FOREL, F. A. 1901: *Handbuch der Seenkunde*. Allgemeine Limnologie. — J. Engelnorn, Lausanne.
- FORSBERG, C.—RYDING, S. O. 1930: Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. — *Arch. Hydrobiol.*, 89 : 189—207.
- GORLENKO, V. M.—DUBININA, G. A.—KUZNETSOV, S. I. 1977: *Eliologiya vodnih mikroorganizmov*. — Izdat. Nauka, Moscow.
- G. TÓTH, L. 1980a: The use of dialyzing sacks in estimation of production of bacterioplankton and phytoplankton. — *Arch. Hydrobiol.*, 89 : 474—482.
- G. TÓTH, L. 1980b: Short-term investigations on the bacterioplankton of Lake Balaton at Tihany. — *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, 26 : 425—435.
- G. TÓTH, L. 1981a: Az összbaktériumszám, a bakteriális biomasz és produkció alakulása a Balaton Tihany előtti térségében. — *Hidrológiai Közöny*, 61: 183—189.
- G. TÓTH, L. 1981b: Numbers, biomass and production of algae smaller than 10 μm in Lake Balaton. — *Aquacultura Hungarica*, (Szarvas) vol. III: 145—158
- G. TÓTH, L.—PADISÁK, J. 1975: Short-term investigation on the phytoplankton of Lake Balaton at Tihany. — *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, 24 : 187—204.
- G. TÓTH, L.—PADISÁK, J. 1952: Kísérlet a Balaton tihanyi térsége autotrofizálódásának többtényezős becslésére I.: Bevezető megfontolások, módszerek, algológiai mutatók. — *Bot. Közlem.*, 69 : 71—84.
- G. TÓTH, L.—PADISÁK, J. 1983: Kísérlet a Balaton tihanyi térsége autotrofizálódásának többtényezős becslésére II.: Bakterioplankton, zooplankton, szerves szén. — *Bot. Közlem.*, 70 : 89—94.
- HERODEK, S. 1977: A balatoni fitoplankton kutatások újabb eredményei. — *Annal. Biol. Tihany*, 44 : 181—198.
- HERODEK, S.—TAMÁS, G. 1973: The primary production of phytoplankton in Lake Balaton April—September 1972. — *Annal. Biol. Tihany*, 40 : 207—218.
- HERODEK, S.—TAMÁS, G. 1976: A fitoplankton tömege, termelése, és a Balaton autotrofizálódása. — *Hidrológiai Közöny*, 56 : 219—228.
- HERODEK, S.—VÖRÖS, L.—TÓTH, F. 1980: A fitoplankton tömege, termelése, és a Balaton autotrofizálódása. Szemesi medence 1976—1977, Siófoki medence 1977. — *Hidrológiai Közöny* (in press)
- HERZIG, A. 1979: The zooplankton community of the open lake. — In: *Neusiedlersee: Limnology of a Shallow Lake in Central Europe* (LÖFFLER, H. ed.), 281—335. Junk Publ. The Hague, Boston, London.
- HOPPE—SEILER 1895: Über die Verteilung absorbierten Gase im Wasser des Bodensees und ihre Beziehungen zur den in ihm lebenden Tieren und Pflanzen. — *Schr. Ver. Gesch. des Bodensees und seiner Umgebung* 24 : 29—48.
- HÖHNE, E.—KLOSE, H. 1966: Soziologische Methoden zur Erfassung der Trophiengrades. — *Limnologica*, 4 : 204—214.
- HUTCHINSON, G. E. 1967: *A treatise on limnology II. Introduction to lake biology and the limnoplankton*. — Willey Intersci. Publ., New York.
- HÜBEL, H. 1971: Primärproduktion des Phytoplanktons ^{14}C — oder Radiokohlenstoffmethode. — In: *Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung II. Biologische, mikrobiologische und toxikologische Methoden*. Grundlagen zur Analyse der ökologischen Situation im Gewässer. (BREITING, G.—TÜMLING, W. eds.), 1—11. VEB G. Fischer Verlag, Jena.
- JÄRNEFELT, H. 1953: Plankton als Indikator der Trophiengruppen der Seen. — *Ann. Acad. Sci. Fennicae A*, 55 : 1—29.
- JUHÁSZ-NAGY P. 1970: Egy operatív ökológia hiánya és szükséglete. Első rész. A hiány és a „negatívumok”. — *MTA Biol. Oszt. Közl.*, 12 : 441—464.
- KUZNETSOV, S. I. 1970: Microflora of lakes and their geochemical activities. — *Nauka*, Leningrad (in Russian).
- LAPTEVA, N. A.—MONAKOVA, S. V. 1976: Microbial characteristics of lakes of the Jaroslavl region II. — *Microbiologiya*, 45 : 717—723 (in Russian).
- LIKENS, G. E. 1975: Primary production of inland aquatic ecosystems. — In: *The primary productivity of the biosphere*. (LIETH, H.—WHITTAKER, R. H. eds.), Springer Verlag, New York.

- MARGALEF, R. 1964: Correspondance between the classic types of lakes and the structural and dynamic properties of their populations. — Verh. Int. Verein. Limnol., 15 : 169—175.
- MUNAWAR, M.—BURNS, N. M. 1976: Relationships of phytoplankton biomass with soluble nutrients, primary production and chlorophyll-a in Lake Erie, 1970. — J. Fish. Res. Board Canada, 33 : 601—611.
- NAUMANN, E. 1917: Undersökningar öfver fytoplankton och under den pelagiska regionen försig gående gytte — och dybildningar inom vissa syd — och mellansvenska urbergs-vattenn. — Kungl. Svenska Vetenskapsacademiens Handlingar, 56 (6).
- NAUMANN, E. 1927: Zur Kritik des Planktonbegriffs. — Arkiv Bot., 21a: 24.
- NAUMANN, E. 1931: Limnologische Terminologie. — Urban & Schwarzenberg, Berlin, Wien.
- NICHOLLS, K. H.—KENNEDY, W.—HAMMETT, C. 1980: A fish-kill in Heart Lake, Ontario, associated with the collapse of a massive population of *Ceratium hirundinella* (Dinophyceae). — Freshwater Biol., 10 : 553—561.
- NYGAARD, G. 1949: Hydrobiological studies on some Danish ponds and lakes II. The quotient hypothesis and some new or little known phytoplankton organisms. — Kgl. Danske Videnskab. Selskab. Biol. Skrifter, 7 : 293 pp.
- OLÁH J. 1971: A mikrobiális plankton mennyisége és produkciója, a trofikus állapot a Balatonban. — Kandidátusi Értekezés, MTA Biológiai Kut. Int., Tihany.
- OLÁH J. 1973a: A bakterioplankton biomasszája és produkciója a Balatonban. — Hidrológiai Közlemény, 53 : 348—357.
- OLÁH J. 1973b: A szerves törmelék kilúgozódása, benépesülése és stabilizációja a detrituszformálódás folyamatában: a detritusz mennyisége és tápértéke a Balatonban. — Hidrológiai Közlemény, 53 : 514—521.
- OSTAPENYA, A. P. 1965: Method for the measure the particular organic carbon content of water by dychromate. — Publ. Russian Acad. of Sci. BSSR, 9 : 273—276 (in Russian).
- PADISÁK, J. 1980: Short-term studies on the phytoplankton of Lake Balaton in the summers of 1976, 1977 and 1978. — Acta Bot. Acad. Sci. Hung., 26 : 397—416.
- PADISÁK J. 1981: A balatoni fitoplankton társulások vizsgálata clusteranalízissel. — Bot. Közlem., 68 : 149.
- PADISÁK J.—G. TÓTH L.—DÉVAI I. 1982: Fitoplankton. — In: Esettanulmány a hidrobiológiai kölcsönhatásokról egy szennyvíztisztító berendezésben. (DÉVAI Gy.—DÉVAI I.—JUHÁSZ-NAGY P. eds.) — Acta Biol. Debrecina Suppl.
- PANTOCSEK J. 1902: A balatoni kovamoszatok. — In: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei II.2.1. (LÓCZY L. ed.) M. kir. Földrajzi Társaság Balaton-Bizottsága, Budapest.
- PEDERSON, G. L.—WELCH, E. B.—LITT, A. H. 1957: Plankton secondary productivity and biomass: their relation to lake trophic state. — Hydrobiologia, 50 : 129—144.
- PONYI J. 1975: A vizek szennyeződése, a Balaton eutrofizálódása. — In: A környezetvédelem biológiai alapjai. (KOVÁCS M. ed.), Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- PONYI J.—PÉTER I.—ZÁNKAI N. P. 1980: Az Eudiaptomus gracilis (G. O. Sars) (Copepoda, Calanoida) populációja szerkezetének és produkciójának naponkénti változásai nyáron. MTA Balatoni Limnol. Kut. Int., kézirat.⁺
- PONYI, J. E.—PÉTER, H. I.—ZÁNKAI, N. P. 1982: Daily changes in population structure and production of *Eudiaptomus gracilis* (G. O. Sars) (Copepoda: Calanoida) during summer in a shallow lake (Balaton, Hungary). — J. of Plankton Res., 4 : 913—926.
- P. ZÁNKAI N. 1980: *Daphnia* fajok táplálkozása a Balatonban. — Állattani Közlemények, 68 : 111—121.
- RAZUMOV, A. C. 1932: Priamoi metod ucheta bakteriy v vode. Sravnenie ivo s metodom Koch-a. — Mikrobiologiya, 1 : 131—146.
- RODHE, W. 1969: Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe. — In: Eutrophication: causes, consequences, correctives. (Proceedings of a Symp., Nat. Acad. Sci. Washington, ed.), 50—64.
- RODINA, A. G. 1972: Methods in aquatic microbiology. — Univ. Park Press, Baltimore; Butterworth & Co. London.
- RUTTNER, F. 1931: Hydrographische Beobachtungen auf Java, Sumatra und Bali. — Arch. Hydrobiol. Suppl. 8: Tropische Binnengewässer 1 : 197—454.

⁺ A szerzők által 1982-ben publikált cikk magyar nyelvű kézírata.

- SEBESTYÉN O. 1954: Mennyiségi plankton tanulmányok a Balatonon III. A pelagikus dinoflagelláták biomasszája (Módszertani tanulmány). — *Annal. Biol. Tihany*, 22 : 185—197.
- SEBESTYÉN O. 1963: Bevezetés a limnológiába. — Akadémiai Kiadó, Budapest.
- SOROKIN, Y. I.—KADOTA, H. 1972: Techniques for the assessment of microbial production and decomposition in freshwaters. — *IBP Handbook 23*, Blackwell Sci. Publ., Oxford, London, Edinburgh.
- SQUIRES, L. E.—WHITING, M. C.—BROTHERSON, J. D.—RUCHFORTH, S. R. 1979: Competitive displacement as a factor influencing phytoplankton distribution in Utah Lake, Utah. — *Great Basin Naturalist*, 39 : 245—252.
- STEEMANN-NIELSEN, E. 1952: The use of radioactive carbon (¹⁴C) for measuring organic production in the sea. — *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 18 : 117—140.
- van STRATEN, G.—HERODEK, S.—FISCHER, J.—KOVÁCS, I. 1980: Proceedings of the second joint MTA/ILASA task force meeting on Lake Balaton modelling I., II. — MTA—VEAB, Veszprém.
- TAMÁS G. 1955: Mennyiségi plankton tanulmányok a Balatonon VI. A negyvenes évek fitoplanktonjának biomasszája. — *Annal. Biol. Tihany*, 23 : 95—109.
- TAMÁS, G. 1974: The biomass changes of phytoplankton in Lake Balaton during the 1960s. — *Annal. Biol. Tihany*, 41 : 323—341.
- TÁTRAI I. 1981: A dévérkeszeg (*Abramis brama* L.) táplálkozásökológiája és a nitrogén átsajátítása a Balatonban. — MTA—VEAB Monográfia, 16 : 283—297.
- THIENEMANN, A. 1909: Vorläufige Mitteilung über Probleme und Ziele der biologischen Erforschung der neun Westfälischen Talsperren. — *Ber. über die Versamml. des Bot. und des Zool. Ver. f. Rheine., Westf. Jg 1909* : 101—108.
- THIENEMANN, A. 1921: Seetypen. — *Die Naturwissenschaften* H. 18 : 1—3.
- THIENEMANN, A. 1928: Der Sauerstoff im eutrophen und oligotrophen Seen. — *Die Binnengewässer* 4, Schweitzerbart'sche Verlagbuchhandlung, Stuttgart.
- THUNMARK, S. 1945: Zur Soziologie des Süßwasserplanktons. — *Folia Limnol. Scandinavica*, 3 : 66.
- TILMAN, D. 1976: Ecological competition between algae: experimental confirmation of resource-based competition theory. — *Science*, 192 : 463—465.
- TÓTH F. 1978: A Balaton eutrofizálódása. — *Egyet. dokt. Ért. MTA Balatoni Limnol. Kut. Int. Tihany*
- UTERMÖHL, H. 1958: Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. — *Mitt. Int. Ver. Limnol.*, 9 : 1—38.
- VOLLENWEIDER, R. A. 1968: Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular references to nitrogen and phosphorous as factors in eutrophication. — *Organ. Econ. Coop. Dev. Rep.*, Paris.
- VÖRÖS L. 1980: A Balaton fitoplanktonja 1976. évben. — Kézirat, MTA Balatoni Limnol. Kut. Int. Tihany
- VÖRÖS L. 1980: A Balaton fitoplanktonjának tömege, összetétele és diverzitása 1976-ban. — *Bot. Közlem.* 67 : 25—34.
- VÖRÖS L. 1981: Quantitative and structural changes of phytoplankton in Lake Balaton between 1965—78. — *Aquacultura Hungarica* (Szarvas), 1982. Vol. III. pp. 137—144.
- WATT, A. S. 1947: Pattern and process in the plant-community. — *J. Ecol.*, 35 : 1—22.
- WETZEL, R. G. 1975: *Limnology*. — Saunders Co., Philadelphia, London, Toronto. 1—743.
- WINBERG, G. G. 1961: Sovremennoe sostoanie i zadatsi pervitsnoi produkcii vodoemov. — In: *Pervitsnaya produkcija morei i vnutrennih vod*, 2—24. Izd. Ministr. Vis. Sred. Spec. Proform. BSSR, Minsk.
- WINBERG, G. G. 1971: Symbols, units and conversion factors in studies of freshwater productivity. — *IBP Central Office*, London.
- WINBERG, G. G. 1975: *Biologitseskaya produktivnost Severnih Ozer 2. Ozer Zeleneckoe i Akulino*. — Izd. Nauka, Leningrad.
- WITTMANN, I. (ed.) 1979: A Balaton eutrofizálódásának modellezése, 1979. évi munkabeszámoló. — MTA—SZTAKI, kézirat.

ATTEMPT AT A MULTIFACTOR ESTIMATION OF THE EUTROPHICATION OF THE TIHANY AREA OF LAKE BALATON III. DISCUSSION, A LONG-TERM SUCCESSIONAL MODEL OF THE EUTROPHICATION

L. G. Tóth—J. Padisák*

The author's studies were carried out in the less eutrophic part of the largest shallow lake of Central Europe (Lake Balaton, Hungary) in the summers of 1976, 1977, 1978, 1979, 1980 and 1982. They analysed about 20,000 data of the main plankton-groups in respect of eutrophication. 29 variables were tested by 48 trophic scales or features described in the past 35 years based on data of about 500 lakes located mainly in the temperate zone. The studied variables differed as to the first indication of the eutrophic state, their successive increases led to outlining a long-term eutrophication model of this area of the Lake as follows: As a first effect of the increasing loading with nutrients the community structure changed (1965—1972). Then the primary production (1973—1975), and the algal numbers (1974—1976) increased serving as a better nutrient supply for the zooplankton. Simultaneously with the increase in algal numbers the zooplankton variables also increased. A tenfold increase in algal numbers was observed in 1978—1979. Bacterial variables showed an increase after the increase in phytoplankton bioamass but, except for the bacterial generation time, remained within oligo-mesotrophic, mesotrophic levels. Discussing the findings mentioned above the authors point to the presumably highly important role of the bottom fauna and fishes in the recycling of nutrients in Lake Balaton which is suggested in other works as well.

(Address: MTA Balatoni Limnológiai Kutató Intézet, Tihany, H-8237; *TTM Növénytár, Budapest, Könyves K. krt. 40., H-1476 Pf. 222., Hungary)