

KISÉRLET A BALATON TIHANYI TÉRSÉGE EUTROFIZÁLÓDÁSÁNAK TÖBB TÉNYEZŐS BECSLÉSÉRE I. BEVEZETŐ MEGGONDOLÁSOK, MÓDSZEREK, ALGOLÓGIAI MUTATÓK

G. TÓTH LÁSZLÓ – PADISÁK JUDIT*

Bevezetés

A tavak típusokba sorolása egyidős a limnológiával. FOREL (1892–1901) megfigyelései, az egyes fizikai és kémiai tényezők mélységi megoszlása és ritmusossága már bizonyos rendszerezéseket tettek lehetővé. A tavak földrajzi elhelyezkedése, hőmérséklete, sótartalma, gázháztartása alapján hamarosan nagyon sok tótípus körülírása, rendszerbe foglalása következett (FOREL 1901, THIENEMANN 1921, RUTTNER 1931, FINDENEGG 1933, JÄRNEFELT 1953, SEBESTYÉN 1963, DÉVAI 1976).

Az a korai felismerés, hogy a víz oldottoxigén-tartalma jelentősen függ a benne zajló biológiai folyamatoktól (HOPPE–SEILER 1895) nagyon hamar megcsillantotta annak a lehetőségét is, hogy a biológikumra vonatkozó információt hordozó rendszerezés is megvalósulhasson (BIRGE–JUDAY 1911). A vízi szervezetek limitáltságának felismerése pedig a biológiai vízminősítés alapját jelentette, s a földrajzi, kémiai szemlélet mellett megindította az ökológiai szemlélet és a hidrobiológiai módszerek rohamos fejlődését. THIENEMANN (1909) a *Chironomus*, *Tanytarsus* és *Corethra* nemzetségekbe tartozó fajok előfordulása alapján kategorizálta a tavakat felismerve azok nagy oxigénérzékenységét.

A planktonközösség ilyen irányú megközelítése volt a legsikeresebb a tótípológia történetében (NAUMANN 1917), mert a plankton által erősen indikált változók — az egyes tápanyagok mennyisége — határozzák meg a víz minőségét. Megszületett a trofitás fogalma (THIENEMANN 1928, 1932, NAUMANN 1927, 1931), amely a tó biológikumára vonatkozó általános viszonyítási alap, ugyanis minden tó jellemezhető valamilyen trofitással. A trofitásnak mint egyféle összehasonlítási alapnak a rohamos elterjedését elősegítette a civilizációs fejlődés okozta környezetszennyeződés, amely a tavak esetén nagyrészt eutrofizálódásként nyilvánul meg. Mindez — kapcsolódva a gyakorlati teendők szükségességével — a trofitási mértékek széles skálájának kidolgozását sürgette. A Balaton esetében HERODEK (1977) mutatott rá a trofitásbecslés fontosságára, és hangsúlyozta, hogy erre éppen a gyakorlat, a tóvédelem szempontjából van elengedhetlenül szükség.

A trofitásbecslés egyik lehetősége a növényi tápanyagok — így a limitáció szempontjából legfontosabb elemek (P, N, Si) — összes, ill. formánkénti mennyiségének, háztartásának mérése, számítása.

Másrészt a planktonszervezetek között a legszélsőségesebb viszonyokhoz alkalmazkodott típusok is megtalálhatók, így az indikátor-indikandusz megjelölés értelmében (JUHÁSZ-NAGY 1970) ezek jelenléte vagy hiánya, tágabb értelemben populáció nagysága, eloszlása, asszociációs típusa is összehasonlítási alapul szolgálhat a vizek tápanyagbőségének megítéléséhez.

Harmadik lehetőségnek adódik a táplálékhálózat tagjai — vagy más terminológiával egy anyagforgalmi rendszermodell kompartmentjei — közti anyag- és energiaforgalom leírásával jellemezni a trofitást. A szóban forgó ráták közt kiemelkedő fontosságú a primer produkció becslése. Az utóbbi évtizedekben ennek mérésére kifejlesztett elegáns módszer (^{14}C -felvétel, STEEMANN—NIELSEN 1952) sokat könnyített a regisztrálási munkán, ugyanakkor az egyéb természetű, éppen ennyire jogosult skálák egyre szaporodó száma s egymáshoz való kalibrálhatatlansága (sokszor kalibrálhatatlansága) a trofitásbecslést egyre kétségesebbé tette.

A skálák kalibrálhatatlansága elméletileg önmagában következik azok előbb tárgyalt inhomogenitásából (resource-becslés — állapot egy időszakra rögzített felmérése —, rátabecslés), de minden általánosításnál ugyanilyen fontos a földrajzi, tómorfológiai különbségek figyelembevétele. Ezt a zavaros helyzetet csak tovább súlyosbította a már korábban önálló vonatkoztatási alapnak vett számos járulékos faktor — pl. az átlátszóság — egy-egy modern trofitási skálához való hozzáigazítása, újraértékelése, avagy újabb trofitási skálaként való közrebocsátása.

A különböző vonatkoztatási alapokból eredő megítélési nehézségekre már korábban utaltak (ELSTER 1958). A probléma megoldására javasolta RODHE (1969), hogy a trofitás mértékéül egységesen fogadják el az elsődleges termelés intenzitását. A hazai gyakorlatban, így pl. a Balaton esetében is ez az elv érvényesül (HERODEK 1977). Ennek megvan az az előnye, hogy a probléma szempontjából fontos változót mér, számszerű eredményt ad, és alaposabb taxonómiai felkészültség nélkül is kivitelezhető. Mindezek indokolják, hogy a primer produkció mérések elterjedtek úgy a tudományos gyakorlatban, mint az ökológiai monitoring rendszerben.

A kétségtelen előnyökön kívül azonban a későbbiekben — a mérés módszerének megválasztásán, kivitelezésén túl (ANDERSEN—SAND-JENSEN 1980, valamint az ott idézett irodalom) bizonyos hiányosságok jelentkeztek, elsősorban akkor, amikor a mérési adatot, a durva trendek alapján megállapított trofitási szintet, ill. annak változását vízminőség jelzésre, ill. előrejelzésre próbálták felhasználni. A fő probléma egyfelől abból adódik, hogy a primer produkción kívül számos olyan, az eutrofizálódás, illetve a vízminőség-változás folyamatának leírásában fontos anyagforgalmi ráta (pl. a táplálékhálózat maradék „nyilai”) van, melynek iránya és nagysága nem matematikai függvénye a tavi nettó elsődleges termelés nagyságának.

A primer produkción alapuló trofitásbecslés, illetve előrejelzés helyességének valószínűségét alaposan csökkenti az, hogy az eljárás a társulás-ökológiai argumentumokat elhanyagolja. Gondolunk itt arra, hogy elméleti szempontból a tápanyag (resource)-igény fajspecifikus, így az egyes populációk tartós koegzisztenciája csak akkor valósulhat meg, ha mindegyik növekedését más tényező limitálja (TITMAN 1976). Így tehát egy viszonylag perzisztensnek (mint a balatoni) mutakozó algatársulás bármely időben több mint egy elem által limitált kell legyen. Ugyanezt mondja más terminológiával a GAUSE-elv („...no two species can exist indefinitely in the same niche”), vagy a társulás-szerkezeti változásokra WATT (1947) „pattern and process” hipotézise is.

Az előbb elmondottakra gyakorlati példa egy *Ceratium hirundinella* tömegszaporulattal kapcsolatos halpusztulás a Hearth-tavon (Ontario) (NICHOLLS és mtsi 1980), amely tó egyébként kisebb méretétől eltekintve morfológiailag és florisztikailag is igen hasonló a Balatonhoz.

Ha az eutrofizálódási folyamatot növényi tápanyagbevitelre visszavezethető teljes anyagforgalmi krízisnek tekintjük (aminek helyességét közvetve az is alátámasztja, hogy jelenleg minden eutrofizálódási rendszermodell, így a Balaton-modell is [VAN STRATEN és mtsai. 1980], anyagforgalmi modell), akkor a víz minőségének szempontjából még egy következtetés adódik, amely az egyéb trofitásbecslési eljárások párhuzamos alkalmazását hangsúlyozza. Nevezetesen az, hogy az ilyen eredetű anyagforgalmi krízistünetek (erős vízszíneződés, vízvirágzás, halpusztulás) a primer produktions maximum után következnek be, így az okokra csak másodlagos állapotokból, változásokból (mint pl. az extrém magas algaszám, az algaflóra megváltozása, elszegényedett fenékfauna, a szűrő szervezetek megváltozott populációdinamikája stb.) tudunk következtetni.

Összefoglalva az eddigieket: bizonyos, kiemelten fontos tavaknál elméleti, de legfőképp gyakorlati szempontból szükség van arra, hogy a trofitásbecsléshez legalább próbaképpen eltérjünk a RODHE-konceptiótól, s az adott kutatottsági szintnek és rendelkezésre álló adatbázisnak megfelelő maximálisan komplex trofitásbecslést tegyünk.

Ilyen kiemelten fontos tó hazánkban a Balaton, amely az 1970-es években a növekvő műtrágya-felhasználás és kommunális szennyezés hatására rohamos algaüledésnek indult. Eutrofizálódása keleti irányban évről évre újabb vízterületekre terjedt át, s így 1977-ben az elsődleges termelés már Tihanynál is erősen eutrófikus állapotot tükrözött. A fitoplankton összetételére és mennyiségére vonatkozó adatok (TAMÁS 1974, 1975, VÖRÖS 1980, 1981), valamint az a-klorofill mérések (TÓTH 1978) is hasonló ütemű vízminőségromlást bizonyítottak.

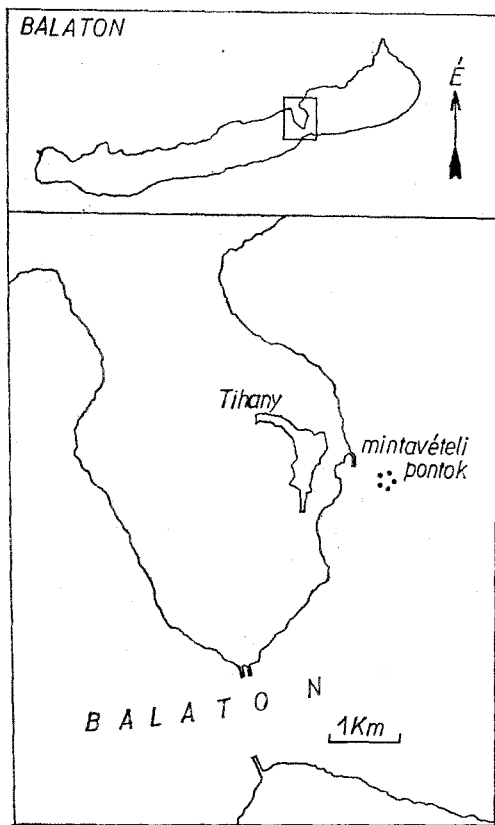
Célkitűzés és módszer

A trofitás évszakosan változik, s a fő vegetációs időszakban, nyáron a legnagyobb (FELFÖLDY 1980). Mivel a Balaton tihanyi térségében 1975 nyarán 10 alkalommal, 1976-tól három éven át július–augusztus hónapokban 30–30 napon keresztül mindennapos, valamint 1979–80 nyarain esetenkénti mintavételekkel vizsgáltuk a fitoplanktont és a bakterioplanktont, valamint több vízkémiai változót ($KOIC_p$, partikulált és összes szervesszén-tartalom), eredményeinket alkalmasnak véltük az eutrofizálódás ütemének, a plankton válaszjelenségeinek tanulmányozására (1. ábra). A mindennapos vizsgálatok adatainak, illetve ezek átlagainak a felhasználása kizárja annak a lehetőségét is, hogy véletlenszerűen magas vagy alacsony egyedi adatot használjunk fel a trofitás becslésére. Ezt a szempontot pedig a kéthetenkénti-havonkénti mintavételezés esetén nem lehet kikárni.

Ugyanebben az időszakban, helyen és azonos mintavételi módszerrel vizsgálták a balatoni zooplankton egyik legfontosabb képviselője, az *Eudiaptomus gracilis* (Copepoda) populációdinamikáját és peteprodukciónak (PONYI és mts. 1980). A munka eredményeit szintén felhasználtuk. Beépítettük továbbá HERODEK, OLÁH, TAMÁS és VÖRÖS korábbi nyári, tihanyi vizsgálatainak eredményeit is (lásd később).

Különösen kérdésesnek véltük, hogy a plankton főbb élőlénycsoportjainak szerkezeti és funkcionális mutatói az eutrofizálódás hatására gyors, együttes reakciót adtak-e, s mutattak-e eltéréseket az egyes változók más, hasonló trofitású tavakban felvett értékeikhez képest.

Munkánkban 26 olyan változó alakulását vettük figyelembe, amelyeket más tavak trofitásfokának közvetlen vagy közvetett jellemzésére használtak, a trofitásfokkal korrelatív kapcsolatba hozták, illetve, amelyek fontos információt hordoznak a plankton anyagforgalmára nézve. Az utóbbi 35 év ilyen természetű irodalmának 48 trofitási skáláját és/vagy beosztását használtuk fel munkánk során. Ezek mintegy 500, zömében mérsékelt övi tó adatait foglalják magukba, s teremtenek összehasonlítási alapot a térség



1. ábra. A mintavételi terület
 Figure 1. The sampling area

eutrofizálódási folyamatának és a plankton válaszjelenségeinek alaposabb feltárásához. Az ennek folyamán használt változók listáját, a módszereket, a vizsgálatok évenkénti számát az 1. táblázat foglalja össze. A mintavétel módszereit, valamint az 1. táblázatban jelöltlen mérések eredményeit más helyütről közöltük (G. TÓTH—PADISÁK 1978, PADISÁK 1980, G. TÓTH 1980a, 1980b, 1981a, 1981b, 1982). A jelzett adatokra vonatkozó magyarázatot a táblázat alján tüntettük fel. Cikkünkben mintegy 20 000 egymástól független adatot, illetve a belőlük számolt átlagokat használtuk fel.

A trofitás vizsgálatához, miután a mintavételi sorozatok eredményeit az egyes időszakokra átlagoltuk, a következőket vettük figyelembe:

1. Fitoplankton-egyedszám; 2. Fitoplankton-biomassza; 3. Fitoplankton-biomassza szén-egyenértéke; 4. Fitoplankton elsődleges termelés; 5. Kékalga-index; 6. Euglena index; 7. Kovaalga-index; 8. Chlorococcales-index; 9. Összevont index; 10. Oligotrofikus indikátorfajok; 11. Eutrofikus indikátorfajok; 12. Balatonra nézve karakterisztikus oligotrofikus indikátorfajok; 13. Balatonra nézve karakterisztikus eutrofikus indikátorfajok; 14. Algaasszociáció-típusok; 15. Coccus baktériumok sejttérfogata; 16. Pálcika baktériumok sejttérfogata; 17. Átlagos baktérium-sejttérfogat; 18. Bakterioplankton-sejtszám; 19. Bakterioplankton-biomassza; 20. Bakterioplankton-generációidő; 21. Bakterioplankton netto produkció; 22. Bakterioplankton P/B hányados; 23. Kémiai oxigénigény (KOI_{C_t}); 24. Partikulált és összes szervesszén-tartalom; 25. Eudiaptomus gracilis peteprodukció; 26. Eudiaptomus gracilis P/B hányados.

A vizsgálatok száma és az alkalmazott módszerek

Table 1. The number of samples investigated with applied methods

(1) Variables; (2) Methods; (3) Number of samples; * own not published data; ** not published data by Vörös; *** data by Ponyi et al.

| Változó (1) | Módszer (2) | Mérések száma (3) | | | | | | |
|--|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|----|
| | | 1975 júl.— aug. | 1976 júl.— aug. | 1977 júl.— aug. | 1978 júl.— aug. | 1979 aug.— szept. | 1980 júl.— aug. | |
| Partikulált szerves- szén-tartalom | Ostapenja (1965) | 10* | 30 | | | | | 8* |
| Kémiaoxigén-igény (KOL _{Cr}) | Felföldy (1974) | | | 30 | 30 | | | |
| Összes szerveszén- tartalom | Ostapenja (1965) | | | 30 | 30 | | | |
| Fitoplankton-össze- tétel | konzervált (lugol) és élő mintákból | 10* | 30 | 30 | 30 | 4* | | 8* |
| Algaszám | Utermöhl (1958) Razumov (1932) (<i>u</i> -algák) | 10 | 30 | 30 | 30 | 4 | | 8* |
| Alga-biomassza | volumetrikus becslés és Sebestyén (1954) Tamás (1955) | 10 | 30 | 30 | 30 | 4 | | 8* |
| Fitoplankton szén- egyenértéke | Winberg (1971) | 10* | 30 | 30 | 30 | 4* | | 8* |
| Alga-indexek | Thunmark (1945), Nygaard (1949), Brook (1965), Höhne—Klose (1966) | | | 30* | 30* | 30* | 4* | 8* |
| Elsődleges termelés | G.-Tóth (1980a) | | | | 10 | | | |
| a-klorofill | Felföldy (1974) | | | 30* | 30 | | | 1* |
| Baktériumszám | Razumov (1932) | 10 | 30 | 30 | 30 | 4 | | 8* |
| Bakteriális biomassza | Rodina (1972), G.-Tóth (1980b, 1981a) | 10 | 30 | 30 | 30 | 4 | | 8* |
| A bakterioplankton generációideje, produktója | G.-Tóth (1980b, 1981a, b) | | 30 | 30 | 10 | | | 8* |
| Eudiptomus gracilis peteproduktója, napi P/B hányadosa | Ponyi és mtsi. (1980) | 10*** | | 30*** | | | | |

* Saját nem közölt adat.

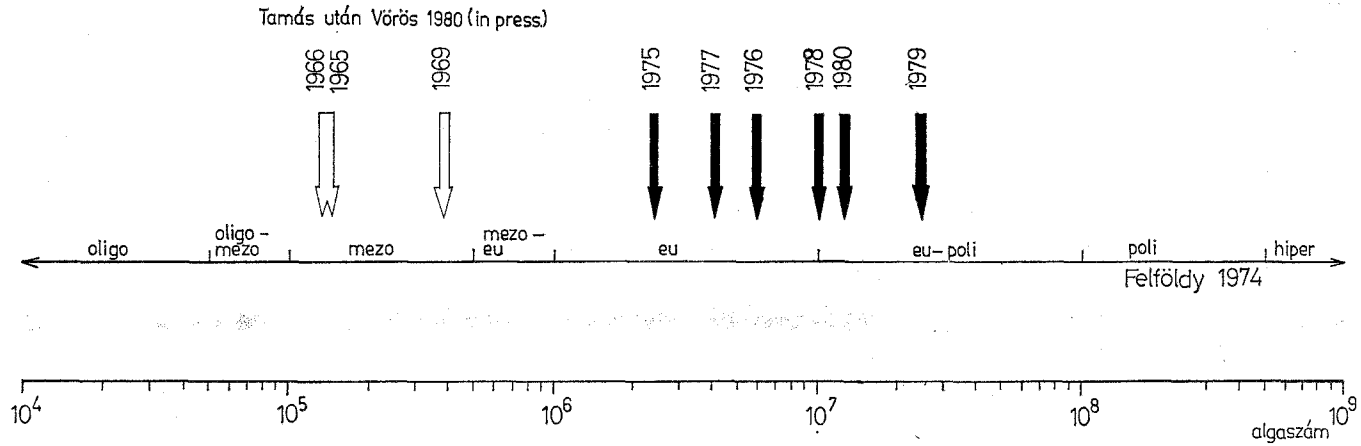
** Vörös mérése, nem közölt adat.

*** Ponyi és mtsai. (1982).

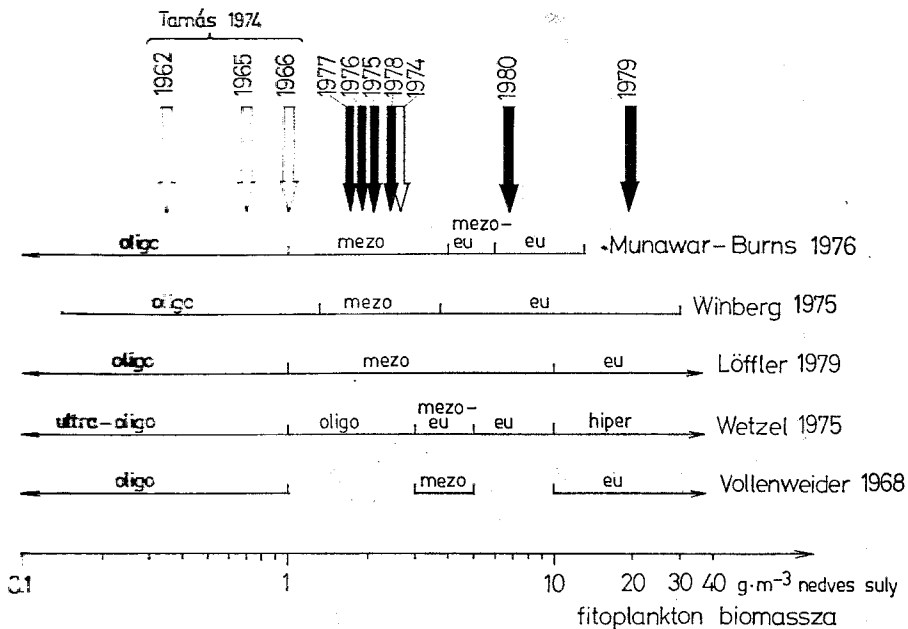
A Balaton tihanyi térségének trofitása a fitoplankton-adatok tükrében

Az algák egyedszáma a vizsgált évek július—augusztusai során egy nagyságrendnyit emelkedett (2. táblázat). Korábbi adatokat is figyelembe véve (TAMÁS után VÖRÖS 1981) az elmúlt 20 év során az algaszám növekedése két nagyságrendnyi volt. FELFÖLDY (1980) skálája alapján az algaszám a térségben már 1975 nyarán eutrofikus értéket ért el, azóta az eu-politrofikus tartományba emelkedett (2. ábra).

A fitoplankton biomasszája a korábbi nyári értékeket is figyelembe véve (TAMÁS 1974) 18 év alatt három nagyságrenddel emelkedett meg. E változó alapján a térség trofitása

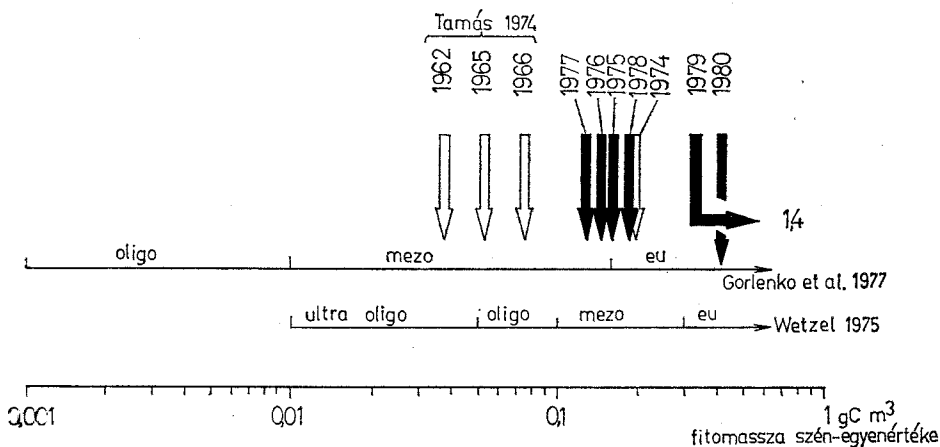


2. ábra. Az algaszám 1965, 1966, 1969 (Tamás után Vörös 1980) és 1975–1980. évek július–augusztusaiban Tihanynál
 Figure 2. The numbers of algae in the summers of 1965, 1966, 1969 (Vörös 1980 according to Tamás) and 1975–1980 at Tihany



3. ábra. A fitoplankton biomassája 1962, 1965, 1966 (Tamás 1974), 1974 (Herodek és mts. 1980) és 1975–80 július–augusztusaiban Tihanynál

Figure 3. The biomass of phytoplankton in the summers of 1962, 1965, 1966 (Tamás 1974), 1974 (Herodek et al. 1980) and 1975–1980 at Tihany



4. ábra. A fitoplankton biomassa szén-egyenértéke 1962, 1965, 1966 (Tamás 1974), 1974 (Herodek és mts. 1980) és 1975–80 július–augusztusaiban Tihanynál

Figure 4. The carbon-content of phytoplankton biomass in the summers of 1962, 1965, 1966 (Tamás 1974), 1974 (Herodek et al. 1980) and 1975–1980 at Tihany

A vizsgált változók átlagos értékei
 Table 2. The average values of variables investigated
 (1) Variables; * data by Ponyi et al.

| Vizsgált változók | 1975 júl.-aug. | 1976 júl.-aug. | 1977 júl.-aug. | 1978 júl.-aug. | 1979 aug.-sept. | 1980 júl.-aug. |
|--|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Kémiaoxigén-igény ($\text{gO}_2 \cdot \text{m}^{-3}$) | | | 29,36 | 22,9 | | |
| Összes szerves szén ($\text{mg} \cdot \text{liter}^{-1}$) | | | 2,219 | 1,730 | | |
| Partikulált szerves szén ($\text{mg} \cdot \text{liter}^{-1}$) | 0,817 | 1,428 | | | | 2,90 |
| Coccus-sejttérfogat (μm^3) | 0,186 (egyedi) | 0,186 | 0,186 | 0,186 | 0,186 | 0,186 |
| | 0,207 (kolóniás) | 0,207 | 0,207 | 0,207 | 0,207 | 0,207 |
| Pálcika-sejttérfogat (μm^3) | 0,100 (kicsi) | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 | 0,100 |
| | 0,683 (közepes, ritka) | 0,683 | 0,683 | 0,683 | 0,683 | 0,683 |
| | 1,000 (nagy, ritka) | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 | 1,000 |
| Átlagos baktérium-sejttérfogat (μm^3) | 0,203 | 0,205 | 0,203 | 0,203 | 0,191 | |
| Baktériumszám (10^4 ind. · milliliter $^{-1}$) | 30,91 | 29,90 | 22,90 | 158,19 | 87,50 | 98,40 |
| A bakterioplankton biomassája (mg nedves súly · liter $^{-1}$) | 0,061 | 0,060 | 0,046 | 0,345 | 0,141 | 0,207 |
| A bakterioplankton generációideje (óra) | | 50 | 32—34 | 17 | 17,4 | 10,1 |
| A bakterioplankton produktója ($\mu\text{g C} \cdot \text{liter}^{-1} \cdot \text{nap}^{-1}$) | | 2,5 | 3,7 | 119,0 | 16,2 | 193,5 |
| A bakterioplankton P/B hányadosa | | 0,48 | 0,75 | 7,44 | 5,86 | 8,04 |
| Algaszám (10^6 ind. · liter $^{-1}$) | 2,500 | 5,937 | 4,275 | 10,037 | 25,300 | 12,660 |
| Fitoplankton-biomassza (g nedves súly · m $^{-3}$) | 2,11 | 1,93 | 1,72 | 2,48 | 19,92 | 8,00 |
| Fitoplankton-szén (gC · m $^{-3}$) | 0,1582 | 0,1448 | 0,1290 | 0,1860 | 1,4940 | 0,6001 |
| a — klorofill (mg · m $^{-3}$) | | | 5,51 | 5,87 | 5,79 | 2,10 |
| Elsődleges termelés (mgC · m $^{-2}$ · nap $^{-1}$) | | | | 808 | | |
| Kékalga-index | | 3,0 | 2,0 | 2,6 | 2,0 | |
| Euglena-index | | 0,16 | 0,09 | 0,08 | 0,12 | |
| Kovaalga-index | | 0,10 | 0,09 | 0,10 | 0,23 | |
| Chlorococcales-index | | 4,00 | 6,11 | 6,75 | 6,26 | |
| Összevont index | | 11,00 | 9,2 | 10,37 | 8,00 | |
| Eudiaptomus gracilis peteprodukción* | 8765 | | 19904 | | | |
| Eudiaptomus gracilis P/B hányadosa* (napi) | 0,1 | | 0,1 | | | |

* Ponyi és mtsi. (1980).

VOLLENWEIDER (1968), WINBERG (1975), WETZEL (1975), MUNAWAR—BURNS (1976) és LÖFFLER (1979) skálái alapján egyaránt emelkedett (3. ábra).

A fitoplankton-biomassa szén-egyenértéke nem önmagában mért, új változó, hanem az előzőkből kalkulált (WINBERG 1971), mégis felvettük a változók listájára, mert WETZEL (1975) és GORLENKO és mtsai. (1971) ezt is összefüggésbe hozták a trofitással. Ezeket a skálákon a számított szén-egyenértékek szintén az eutrofizálódás előrehaladását mutatták (4. ábra).

VÖRÖS (1981) részletesen foglalkozik az algák méretváltozásaival az 1965–1976 közötti időszakban. Megállapítása szerint „a Balatonban az eutrofizáció egy sajátos stratégiát követ a hetvenes években . . . , amely szerint a biomassa változatlansága mellett az elsődleges termelés nő, a primer producensek mérete pedig egyre kisebb lesz.” Az algák méretének az eutrofizálódás során való csökkenése néhány tapasztalattal ellentétben áll (PEDERSON és mtsai. 1975, PADISÁK és mtsai 1982), ezért az algák átlagos térfogatának

$$\text{átlagos térfogat} = \frac{\text{biomassa } \mu^3 \cdot 1^{-1}}{\text{egyedszám ind} \cdot 1^{-1}}$$

vizsgálata a Balaton esetén különösen fontosnak tűnik. Vörös 1965-től kezdődő nyári adatsortát (3. táblázat) összesített adatainkkal folytatva, látszólagosan töretlen a méret-csökkenés üteme 1978-ig. Fel kell azonban hívnai a figyelmet arra, hogy az adatok metodikai okok miatt nem összehasonlíthatóak. Saját vizsgálatainkban (1975–1980) az egyedszámot a 10 μm feletti algák esetében fordított planktonmikroszkóppal (UTERMÖHL 1958), az ennél kisebbeket éppen azért, mert az előbbi módszer a nagy szesztontartalmú Balatonban az egyedszám alulbecslésére vezethet, membránszűrőn, festett állapotban (BAZMOV 1932) számoltuk. Ezt figyelembevéve a korábbi (csak fordított mikroszkóppal kapott) egyedszám adatok jelentősen, a biomassa adatok pedig jelentéktelenül alábecsültek, ami együttesen ahhoz vezet, hogy a belőlük számolt méret adatoknál jelentős felülbecsléssel kell számolni. Ezt nem cáfolja meg az sem, hogy a Vörös által 1976-ban talált méret adat a mi méret adatunknál alacsonyabb, mert ebben az évben a *Rhodomonas minuta* var. *nannoplantonica* kivételesen nagy egyedszámot ért el, s ez azon kivételesen kis méretű fajok egyike (6–8 μm), mely fordított planktonmikroszkóppal még megbízhatóan számolható. Ezenfelül a 30 napos vizsgálatsorozat alatt voltak olyan napok, amikor az általunk számolt térfogat hasonlóan alacsony volt. Más években viszont az apró testű algák más fajai voltak nagyobb mennyiségben a vízben, olyanok, amelyek BERNHARD és mtsai. (1967a, 1967b) terminológiájával élve a „non-Utermöhl-plankton” tagjai.

3. táblázat

A balatoni algák átlagos térfogata (μm^3) az elmúlt évek nyarain

Table 3. The average volumes of algae (μm^3) in the summers past

(1) Year; (2) Author; (3) Methods completed with; (4) only inverse planktonmikroskop; (5) inverse planktonmikroskop and membránszűrő; (6) only membránszűrő

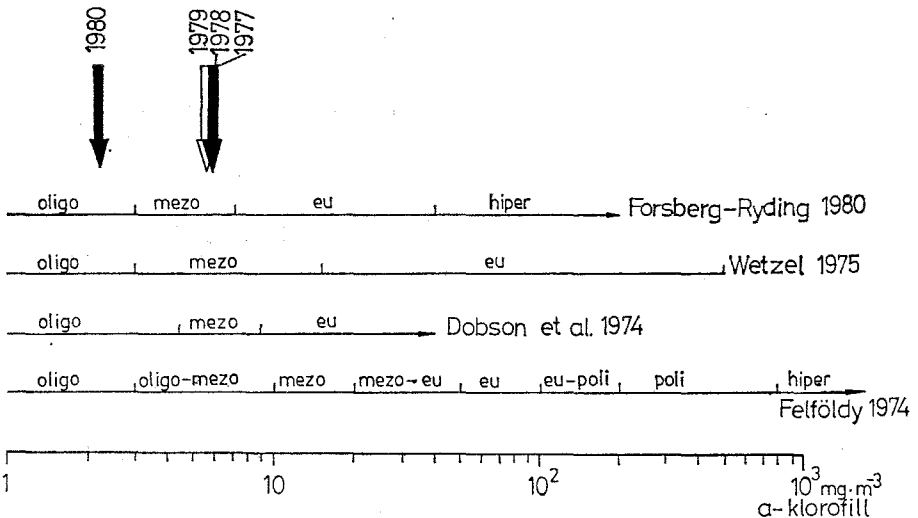
| Év (1) | Szerző (2) | Vizsgálati módszer (3) | | |
|-----------|---------------------------------|---|---|---------------------------|
| | | csak fordított planktonmikroszkóppal (4) | fordított planktonmikroszkóppal és membránszűrőn (5) | Csak membránszűrőn (6) |
| 1965 | Vörös (1980) (Tamás nyomán) | 6449 μm^3 | | |
| 1966 | Vörös (1980) (Tamás nyomán) | 8582 μm^3 | | |
| 1967 | Vörös (1980) (Tamás nyomán) | 8224 μm^3 | | |
| 1972 | Vörös (1980) (Tamás nyomán) | 1184 μm^3 | | |
| 1974 | Vörös (1980) (Tamás nyomán) | 1023 μm^3 | | |
| 1975 | G.-Tóth (nem publikált adatok) | | | 844 μm^3 |
| 1976 | Vörös (1980) | 187 μm^3 | | |
| | G.-Tóth—Padisák (1978) | 1358 μm^3 | 327 μm^3 | |
| 1977 | Padisák (1980), G.-Tóth (1981b) | 1881 μm^3 | 400 μm^3 | |
| 1978 | Padisák (1980), G.-Tóth (1981b) | 1685 μm^3 | 248 μm^3 | |
| 1979 | Padisák (1980), G.-Tóth (1981b) | | 787 μm^3 | |

Adatainknak a korábbiakkal való reálisabb összehasonlítása érdekében a 3. táblázatban feltüntetjük a csak fordított planktonmikroszkóppal kapott adatokat is. Kiemelve az 1970-es évek nyarainak reálisan összehasonlítható adatait (1972: 1184 μm , 1974: 1023 μm , 1976: 1358 μm , 1977: 1881 μm , 1978: 1685 μm) a méretcsökkenési trend megszakad. A bizonytalanságot fokozza, hogy a Balaton legeutrófbab Keszthelyi-öblében az algák átlagtérfogata csak azután kezdett csökkenni, hogy a primer produkció az elméleti maximumot elérte. Addig inkább méretnövekedés volt tapasztalható (Vörös 1981). Összegezve: a jelenleg rendelkezésre álló adatok, véleményünk szerint, nem elegendőek ahhoz, hogy a méretváltozások kérdésében egyértelmű álláspontot lehessen képviselni.

Az a-klorofill tartalom a nyarak során nem mutatott egyértelmű változást (2. táblázat). Négy különböző skála (FELFÖLDY 1974, DOBSON és mtsi 1974, WETZEL 1975, FORSBERG – RYDING 1980) tükrében az átlagértékek oligotrofikus és mezotrofikus állapotokra utalnak (5. ábra). Eredményeinket itt a trofitás szempontjából csak tájékoztató jellegűnek lehet tekinteni, mert FELFÖLDY (1963) vizsgálatai azt bizonyítják, hogy a vízoszlop a-klorofill tartalmát Tihanynál szoros összefüggésbe lehet hozni a víz felkeverttségi állapotával. Mi is magasabb korrelációt találtunk a víz a-klorofill és szesztontartalma, mint az a-klorofill tartalom és az algaegyedszám között (PADISÁK 1980).

Az elsődleges termelés (6. ábra) WINBERG (1961), RODHE (1969), HÜBEL (1971), FELFÖLDY (1974, 1977, 1980), LYKENS (1975), WETZEL (1975), GORLENKO és mtsi (1977) skálái szerint a térségben a korábbi nyarakon mért (BÖSZÖRMÉNYI és mts 1963,⁴ HERODEK – TAMÁS 1973) értékeket is figyelembe véve az egyre fokozódó eutrofizálódást mutatja.

Az algaasszociáció-típusok alapján több szerző tesz megállapításokat a trofitásra vonatkozóan. MARGALEF (1964), valamint HÖHNE – KLOSE (1966) szerint az oligotrofikus vizekre a *Flagellaták* és a *Desmidiáceák* dominanciája jellemző, eutrofikus vizekben sok a *Cyanophyta*, az *Euglenophyta* és a *Chlorococcales* taxonokba tartozó alga. FELFÖLDY (1974) irodalmi adatok alapján szintén megkülönböztet eutrofikus és oligotrofikus vizekre jellemző genusokat. A tihanyi térség fitoplanktonjának fajösszetétele már 1975-ben a fenti szerzők által eutrofikusnak tartott jelenségeket mutatta. HUTCHINSON (1967) alga asszociáció-típusai a térsz fitoplanktonja fajösszetételének és dominanciaviszonyainak alapján leginkább az eutrofikus páncélos-ostoros, illetve a szintén eutrofikus kékalga-planktonnak felel meg. SQUIRES és mtsi (1979) az Utah Lake-en, NICHOLLS és mtsai (1980) a Heart Lake-en végzett vizsgálatairól szóló cikkeiből megállapítható, hogy mindkét tó sekélyége mellett még a nyári fitoplankton összetételében is igen hasonló



5. ábra. Az a-klorofill mennyisége 1977–1980. évek július–augusztusaiban Tihanynál
 Figure 5. The chlorophyll-a concentrations in the summers of 1977–1980 at Tihany

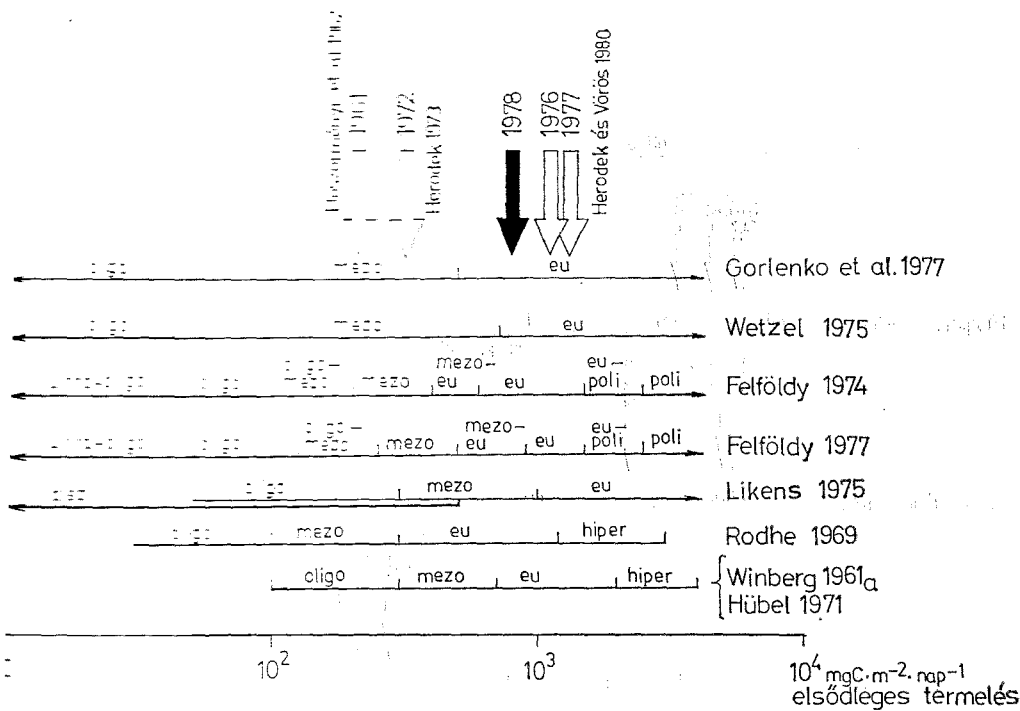
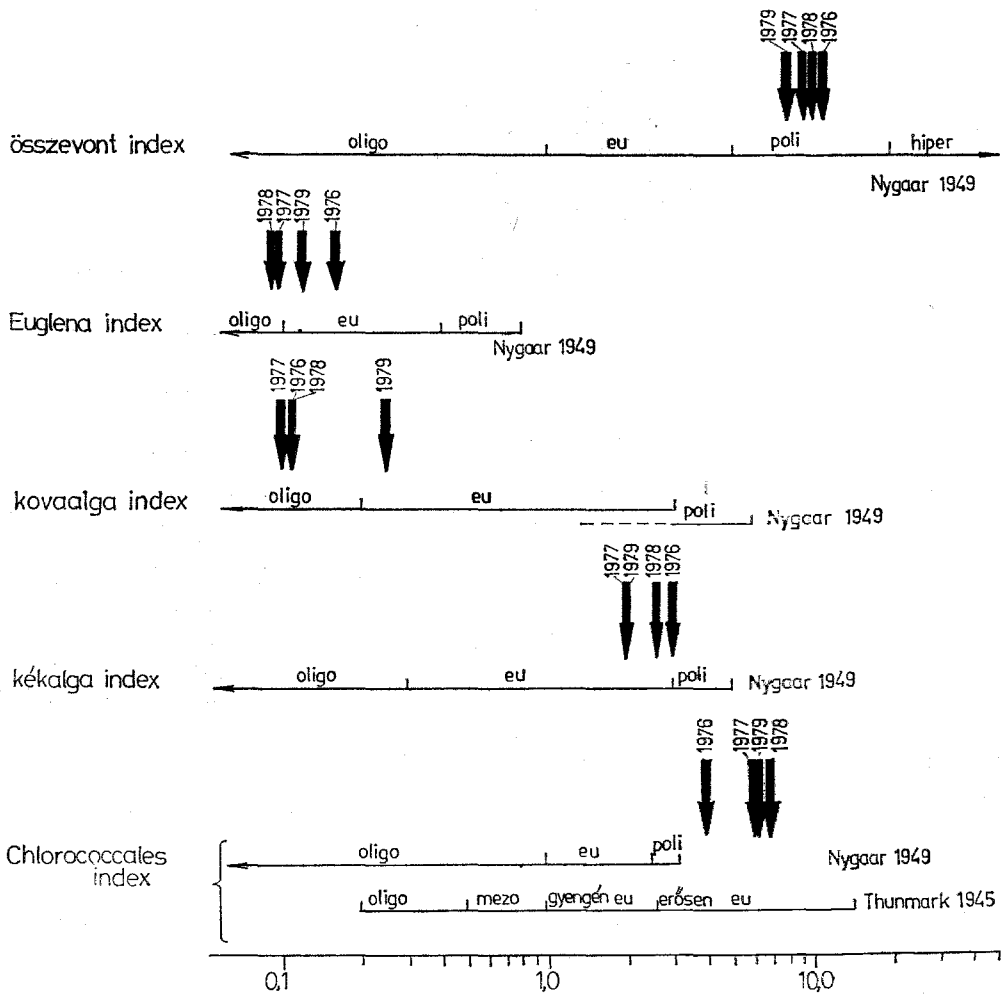


Figure 6. The primary production in the summers of 1961 (Böszörményi et al. 1962), 1972 (Herodek 1973), 1976–77 (Herodek és mts. 1980), valamint 1978. július–augusztusában Tihanynál

a Balaton tihanyi térségéhez. A rendelkezésre álló adatok szerint a három tó hutchinsoni felfogásban azonos asszociációs típusba (azonos társulás különböző állományai?) sorolható. A két észak-amerikai tó eutrofikus, az utóbbiban rendszereseek a kékalga virágzások.

Hazai szerzők munkái alapján (FELFÖLDY 1974, PONYI 1975, BARTHA és mtsi 1976, FELFÖLDY 1977) az eutrofikus és oligotrofikus indikátorfajok előfordulása szerint is minősíthetjük a területet. Oligotrofikus indikátorfajokat mintáinkban nem találtunk. Közönségesek voltak viszont azok az algák, amelyeket eutrofikus indikátorfajokként említenek. A faj-indikáció alapján a térség már 1975-ben eutrofikus volt. PONYI (1975) TAMÁS nyomán közli azon algafajok listáját, amelyeket kifejezetten a Balatonban az előrehaladó eutrofizálódás jó indikátorainak tartanak. VÖRÖS (1980) hasonlóan, a Balatonban karakterisztikus eutrofikus (ill. alacsonyabb trofitásfokot jelző) algafajokról tesz említést. Az általa jelölt eutrofikus fajok szintén gyakoriak voltak mintáinkban, arányuk a vizsgált évek folyamán nőtt.

A fitoplankton összetételében rejlő ilyen információkat THUNMARK (1945), NYGAARD (1949), HÖHNE – KLOSE (1966), valamint BREITING – TÜMPLING (1970) algaindexekkel próbálták meg kvantifikálni (2. táblázat). A kékalga- és a Chlorococcales-index 1976–1979 nyarain egyértelműen eutrofikus állapotokra utalt. Az Euglena-index 1977–78 nyarain oligotrofikus, 1976 és 1979 nyarain eutrofikus, a kovaalga-index 1976–78-ban oligotrofikus, 1979-ben eutrofikus állapotra utalt. Az összevont index végig politrofikus szintet mutatott (7. ábra). Az indexek használhatóságát többen megkérdőjelezték (pl. BROOK 1965). Látható, hogy a kovaalga-index a többihez képest csak meglehetősen késve jelzett eutrofikus állapotot. Az Euglena-index ellentmondásos alakulását viszont pl. az



7. ábra. Alga-indexek 1976–79. évek július–augusztusaiban Tihanyánál
Figure 7. Algae-proportions in the summers of 1976–1979 at Tihany

autotrof—heterotrof életformaváltás okozta bonyodalmak is befolyásolhatják. Mindemellett még azt is figyelembe kell venni, hogy az e két törzsbe tartozó algák határozott mélységi rétegződést mutatnak, egyedszámuk az üledék felé nő (PADISÁK 1981). Így szélcsendes napokon a planktonban kisebb az egyedszámuk, mint viharban. E két indexet kivéve azonban — mint a 7. ábra is szemlélteti — a térség az indexek tükrében már 1975-ben eutrofikus volt.

Az eddigieket összefoglalva: az algológiai eredmények a 31 skála és/vagy, beosztás alapján a trofitás 4. táblázatban bemutatott fokozatait tükrözték.

A fajösszetétel alapján a térség már legalább 1975-ben, az elsődleges termelés alapján 1976 nyarán már eutrofikus volt. Az összes eredményt figyelembe véve 1975 nyarán az algológiai mutatók a skálák 57 százalékában,

Az algológiai mutatók által jelzett trofitás 31 trofitási skála és/vagy beosztás alapján 1975–1980 évek nyarain Tihanynál

Table 4. The trophic status determined by 31 trophic scales based on algological variables which were measured in the summers of 1975–1980 at Tihany

(1) Algological variables

| Algológiai jellemzők (1) | 1975 júl.–aug. | 1976 júl.–aug. | 1977 júl.–aug. | 1978 júl.–aug. | 1979 aug.–szept. | 1980 júl.–aug. |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|
| Algaszám | 1 eu | 1 eu | 1 eu | 1 eu— poli | 1 eu— poli | 1 eu— poli |
| Alga-biomassza | 1 oligo 4 mezo | 1 oligo 4 mezo | 1 oligo 4 mezo | 1 oligo 4 mezo | 4 eu 1 hiper | 3 eu 2 mezo |
| Alga-biomassza szén-egyen- értéke | 1 mezo 1 eu | 2 mezo | 2 mezo | 1 mezo 1 eu | 2eu | 2 eu |
| a-klorofill | | | 1 oligo 1 oligo- mezo 2 mezo | 1 oligo- mezo 3 mezo | 1 oligo- mezo 3 mezo | 4 oligo |
| Elsődleges termelés | | 7 eu* 1 hiper* | 7 eu* 1 hiper* | 1 mezo 1 mezo- eu 6 eu | | |
| Algaasszociáció-típusok | 3 eu | 3 eu | 3 eu | 3 eu | 3 eu | |
| Indikátor algafajok | 1 eu 1 ? | 1 eu 1 ? | 1 eu 1 ? | 2 eu | 2 eu | |
| Euglena-index | | 1 eu | 1 oligo | 1 oligo | 1 eu | |
| Kovaalga-index | | 1 oligo | 1 oligo | 1 oligo | 1 eu | |
| Kékalga-index | | 1 poli | 1 eu | 1 eu | 1 eu | |
| Chlorococcales-index | | 1 eu 1 poli | 1 eu 1 poli | 1 eu 1 poli | 1 eu 1 poli | |
| Összevont index | | 1 poli | 1 poli | 1 poli | 1 poli | |

* Herodek és mtsai (1980)

1976 nyarán 69 százalékában, 1977 nyarán 57 százalékában, 1978 nyarán 55 százalékában és 1979 nyarán 83 százalékában jeleztek eutrofikus vagy ennél magasabb trofitásfokot. A fenti százalékos adatokkal kapcsolatban megjegyezzük, hogy azok feltétlenül súlyozandók, bár itt a végeláthatatlan bonyodalmak miatt nem súlyozott, heterogén adatokból származnak. Így azokat csak hozzávetőleges közelítésnek szánjuk.

Záradék

Cikkünk e lap hasábjain megjelenő második részében a térség trofitásának alakulását a bakterioplankton, a zooplankton és néhány vízkémiai változó alapján vizsgáljuk. A harmadik rész fogja tartalmazni az eredmények együttes értékelését, valamint a planktonrendszer nagy időléptékű szukcesszív fejlődésmodelljét. Ugyancsak a harmadik rész végén kap helyet a teljes cikksorozat irodalomjegyzéke is.

ATTEMPT AT A MULTIFACTOR ESTIMATION OF THE EUTROPHICATION
OF THE TIHANY AREA OF LAKE BALATON I.

INTRODUCTORY CONSIDERATIONS, METHODS, ALGOLOGICAL INDICES

L. G. Tóth—J. Padisák*

Balaton, the largest shallow lake in Central Europe (surface area: 600 km², average depth: 3.4 m) entered the state of advanced eutrophication during the 1970s. Besides numerous hydrobiological studies on other aspects its eutrophication is being studied in a cooperation programme between the Hungarian Academy of Sciences and IIASA (Laxenburg, Austria).

The authors' studies were carried out in the less eutrophic parts of the lake in the summers of 1976, 1977, 1978, 1979 and 1980. They analysed about 20,000 data of the main groups (bacterio-, phyto- and zooplankton) of plankton in respect of eutrophication. 26 variables of the groups mentioned above were tested by means of 48 trophic scales described over the past 35 years. These trophic scales were estimated based on data of about 500 lakes located mainly in the temperate zone. During the study the authors found a time-lag in the groups of variables with respect to the first indication of the eutrophic state. This time-lag led to outlining a long-term succession model connected with eutrophication. The results will be given in this series of papers.

The first part reports on phytoplankton studies. Numbers, biomass, primary production, chlorophyll-a content, species composition, blue-green ratio, Euglena-ratio, diatom-ratio, Chlorococcales-ratio, oligotrophic and eutrophic indicator species and association-types were considered. As a first manifestation of eutrophication, species composition changed. Algae, characteristic of eutrophic lakes appeared in 1970–1975. In 1976 the numbers and the primary production increased to eutrophic levels. Biomass and chlorophyll-a content began to increase only three years later, in 1978. These variables reached the mesotrophic levels in the summers of 1970 and 1980. In the following papers of the authors other variables and a general discussion will be given.

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