

## A BALATONI FITOPLANKTON KUTATÁS ÚJABB EREDMÉNYEI

HERODEK SÁNDOR

A Balaton fitoplanktonjának összetételére és mennyiségére vonatkozóan számos adatunk van. Az első mennyiségi adatok 1933-ból származnak [6]. Rendszeres fitoplankton vizsgálatok folytak a Tihany előtti nyíltvízben 1945, 1947, 1949 és 1951-ben [19, 20, 21, 22]. 1965, 1966 és 1967-ben a vizsgálatok kiterjedtek az egész tóra [23, 24, 25], melynek öt szelvényéről havonta gyűjtöttek mintákat. A számlálás a korábban használt Kolkwitz kamra helyett a hatvanas években már a modern, a fordított optika révén a kisebb termetű algák megfigyelésére is alkalmas Utermöhl mikroszkóppal történt.

Fentiekben csak a legfontosabb, mennyiségi adatokat tartalmazó munkákra utaltunk. Ezekből is látszik, hogy a fitoplankton struktúrája tekintetében a 60-as évek végére a Balaton igen jól kutatott tónak számított. Keveset tudtunk viszont a fitoplankton termeléséről. Ezt az okozta, hogy a fitoplankton termelése korábban olyan alacsony volt, hogy azt  $O_2$  módszerrel nem lehetett mérni, az érzékenyebb  $^{14}C$  módszerrel viszont az Intézet nem volt berendezkedve. Ezért csak 1961 május—szeptemberben az ELTE Növényélettani Intézetével együttműködve mértek a  $^{14}C$  módszerrel termelést a Balatonban [2]. Ekkor Tihanynál május és szeptember között 1 m mélységben 12 alkalommal, a többi medencéből vett vízmintáknál összesen 2 alkalommal mérték a fitoplankton termelését.

Az elsődleges termelés vizsgálatának a tavakban közvetlen gyakorlati jelentősége van. A fokozott műtrágyafelhasználás és a növekvő mennyiségű kommunális szennyvíz hatására számos tóban jelentkeztek a rohamos eutrofizálódás jelei, a trofitás legjobb mutatója pedig az elsődleges termelés intenzitása [18].

1972-ben olyan vizsgálatsorozatot kezdtünk, amelyben egy-egy éven keresztül a tó különböző medencéiben vizsgáltuk a fitoplankton összetételét, mennyiségét és termelését ugyanazokban a vízmintákban [8, 9, 10, 11, 12, 13]. 1972—73-ban a keleti medencében a Tihanyt Siófokkal összekötő egyenesen Tihanytól 2 km távolságra, 1973—1974-ben a Keszthelyi-medence közepén levő ponton, 1974—75-ben a Szigligeti-medencében, a szigligeti kikötőtől 5,5 km-re délre levő ponton végeztük a méréseket. 1976 áprilisában kezdtük meg a középső, Szemesi-medence vizsgálatát a Szemes-Ságpusztá szelvényen a tóközépen (1. ábra).

Tihanynál, Szigligetnél és Szemesnél 25, 100, 200 és 300 cm mélységből,



a sekélyebb Keszthelyi-medencében 25, 100, 200 és 275 cm mélységből vettünk vízmintát. Ugyanezekben a mélységekben, valamint a felszíni levegőn és a fenéken Gemware Submarine Photometer segítségével mértük a megvilágítást.

A vízmintákból 100 ml-t az exponálásra használt normál csiszolatos üvegekbe öntöttük át, a többit rögzítettük az algaszámláláshoz. Az exponálandó mintákhoz 20–20  $\mu\text{Ci Na}_2^{14}\text{CO}_3$ -t adtunk, és a mintákat abba a mélységbe süllyesztettük vissza, ahonnan származtak. A mintákat négy déli óra hosszat ( $10^{\text{h}}$ – $14^{\text{h}}$ ) exponáltuk a tóban, majd sötét dobozban a laboratóriumba szállítottuk őket. Az algákat membrán szűrőre szűrtük és folyadék szcintillációval mértük radioaktivitásukat. Meghatároztuk a víz összes szénsavtartalmát. Ebből és az algák radioaktivitásából kiszámítottuk a fotoszintézis során megkötött szén súlyát. Az egyes vízrétegek termelését összeadva kaptuk az alapterületre számított termelést, az expozíció alatt kapott értékeket pedig a nappal hossza mínusz két óra időtartamra extrapolálva becsültük a napi termelést.

Az algákat TAMÁS GIZELLA Utermöhl mikroszkóppal számlálta és a sejtek térfogatából számította ki a fajok és az egész fitoplankton biomasszáját.

### A fitoplankton tömege és összetétele

A fitoplankton tömegére kapott újabb adatokat összevetve a korábbiakkal mindegyik medencében emelkedő irányzatot látunk (2. ábra). Tihanynál az emelkedés 1965 és 1972 között négyszeres volt. A két délnyugati medencében (Keszthely és Szigliget) a fitoplankton tömege többszörösen felülmúlta a Tihanynál talált értékeket. A maximális algatömeg Tihanynál 5, Keszthelynél 13, Szigligetnél 17  $\text{g}/\text{m}^3$  volt. A fitoplanktonösszetételében is jelentős különbségek vannak az egyes medencék között. Tihanynál a korábbi évekhez képest nem találtunk feltűnő minőségi változást. Télen és tavasszal a planktont a kovamoszatok uralták, és ezek közül 1972-ben — ugyanúgy mint a negyvenes-hatvanas években — a *Cyclotella bodanica* tette ki a legnagyobb tömeget. Minden nyáron egyértelműen a barázdás moszatokhoz tartozó *Ceratium hirundinella* dominált. Összel a fitoplankton tömege nagyságrendnyit esik, ilyenkor különböző fajok jelenthetik a viszonylag nagyobb tömeget. Keszthelynél és Szigligetnél a 60-as években a tavaszi plankton képe még hasonló volt a tihanyihoz, nyáron azonban már 1965-ben a *Melosira granulata* fonalas kovamoszat, 1966-ban az *Aphanizomenon flos-aquae* kékmoszat okozott vízszineződést. Az elsődleges termelés mérésével párhuzamosan végzett algaszámlálások szerint a Keszthelyi medencében 1973 júniusában a *Cyclotella bodanica* és egyéb kovamoszatok uralkodtak, a tavaszi kép tehát hasonlított az előző évekéhez. Július elejére a *Ceratium hirundinella* jutott uralomra, július közepén viszont, amikor a legnagyobb termelést mértük, nagyon erős *Aphanizomenon flos-aquae* kékmoszat vízvirágzást észleltünk. Augusztus—szeptemberben egyértelműen a *Ceratium hirundinella*, október—novemberben a *Cryptomonas erosa* és a *C. ovata* uralkodott. 1974 januártól ismét megnőtt a *Cyclotella bodanica* mennyisége. Szigligetnél 1974 júniusában a szokásos *Cyclotella bodanica*-s későtavaszi planktont találtuk, június végére előretört a *Ceratium hirundinella*, július elején a *Lyngbya limnetica* kékmoszat jutott uralomra, július végétől szeptember végéig ismét a *Ceratium hirundinella* uralkodott, szeptember végén a meleg időben viszont újra a kékmoszatok, az *Aphanizomenon flos-aquae* és az *Anabaena spiroides* érték el a legnagyobb tömeget.



1974 őszén szokatlanul nagy esőzések voltak. Valószínűleg ennek következtében történt, hogy a két délnyugati medencében, ahova a Balatonba ömlő vizek túlnyomó többsége érkezik, és amelyek a mezőgazdasági területekről igen sok műtrágyát hozhattak, októbertől kezdve a *Nitzschia acicularis* kovamoszat hatalmas vízszíneződést okozott. A kovamoszat invázió valamivel hamarabb kezdődött a Keszthelyi-, és valamivel magasabb értéket ért el a Szigligeti-medencében. Decemberben a szigligeti részen a fitoplankton tömege  $9,8 \text{ g/m}^3$  volt, ami példátlanul magas téli érték. Ennek több mint felét tette ki a *Nitzschia acicularis*, ez a hosszú, tűszerű kovamoszat, amelynek egy sejtje mindössze  $280 \mu\text{g}$ . Az algák mennyisége  $17 \text{ millió/liter}$  volt, ami egy nagyságrenddel több, mint a szokásos sejtszám.

### Fényviszonyok

Vizsgálataink során azt tapasztaltuk, hogy a víz átlátszósága különbözik a Balaton egyes medencéiben. Tihanynál és Szemesnél döntően még a lebegtetett iszap mennyisége szabja meg az átlátszóságot, ezért ez igen változékony, ahogyan arra már korábbi adatok [4, 5, 7] utaltak. A Balaton  $600 \text{ km}^2$  felületén erős hullámozás alakul ki, amely fenéig fel tudja kavarni a 3–4 m mély vizet. Erős viharban Tihanynál 1 m mélyen a felszínre eső fény 2%-át sem találtuk meg, hosszú szélszél alatt viszont 3 m mélyre is lejutott 20% fény.

Keszthelynél és Szigligetnél, ahol már az algák gátolják a fény behatolását, ritkán jut le a felszínre eső fény 1%-a a fenéig. Ennél alacsonyabb megvilágítás mellett a növények légzése már felülmúlja a fotoszintézist. Korábban a Keszthelyi- és Szigligeti-öböl mélyebb területein is jelentős hínárállomány volt [15, 16]. Vizsgálataink során a mély vízben már nem találtuk meg a hínárost. A jelenséget az algák árnyékoló hatásával magyarázzuk. A korábban hínáros helyeken a hínárnak most jó métert kellene nőnie ahhoz, hogy odáig érjen, ahol már elegendő fény van a növekedéshez. A magyarázattal összhangban van az, hogy a sekély részeken, ahol még elég fény éri a fenéket, megmaradt a hínár.

### A fitoplankton termelése

A fitoplankton termelésének mind függőleges megoszlása, mind pedig nagysága igen különböző a Balaton egyes medencéiben (3. ábra). A termelés függőleges profiljának alakulása az átlátszósági viszonyoktól függ. Tihanynál az időjárástól függően még igen változatos alakzatokat találtunk. Erős viharban a legfelső, hosszú szélszél alatt a legalsó mintában volt a legnagyobb a termelés, a leggyakrabban azonban a felszínen a túl erős megvilágítás fénygátlást okozott, 1 vagy 2 m mélyen alakult ki a maximum és 3 m mélyen a fényhiány miatt már kisebb volt a fotoszintézis intenzitása. Éves átlagban 3 m mélyen az algák feleannyi szövet építettek szervezetükbe, mint 1 m mélyen. Keszthelynél az egyöntetűbbé vált optikai viszonyoknak megfelelően a függőleges fotoszintézis profilok is egyöntetűbbekké váltak. A maximum következetesen a legfelső mintában volt, 1 m mélyen a termelés ennek csak kb. a felét érte el, 2 m mélyen csak kivételesen, a fenéken gyakorlatilag soha nem találtunk termelést. A Szigligeti-medence a görbék alakja szempontjából átmenetet



képez Tihany és Keszthely között, de határozottan a Keszthelyi-medencéhez áll közelebb, hiszen itt is általában a maximum a legfelső rétegben volt, és az esetek nagyobbik részében 2 m alatt már nem találtunk számottevő termelést. A délnyugati medencékben a víz tehát gyakorlatilag állandó jelleggel eufotikus és afotikus rétegre különült el. Ez veszélyes helyzetet teremt, hiszen a felső rétegben termelődő szerves anyag jelentős része planktoneső formájában a fenékre hullik, és ott fogyaszt oxigént, ahol éppen az algák okozta fényhiány miatt nincs oxigéntermelés. Hosszú szélesönd alatt ez idővel az iszapban és a mélyebb vízrétegekben oxigénhiányhoz és az ezzel járó ökológiai katasztrófához vezethet. A fitoplankton termelésének nagysága annyira eltér az egyes medencékben, hogy a 3. ábra részábráin különböző nagyságrendű léptéket kellett használnunk.

Az egyes medencék közötti hatalmas különbség jól látható a 4. ábrán, mely az alapterületre vonatkoztatott elsődleges termelés alakulását mutatja. Az egy négyzetméterre eső legnagyobb napi termelés Tihanynál 1972-ben 0,6, Szigligetnél 1974-ben 2,6, Keszthelynél 1973-ban 13,6 gramm szén volt. Elméleti megfontolások szerint  $600 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{nap}^{-1}$  teljes besugárzás mellett a fitoplankton maximális termelése  $13,7 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nap}^{-1}$  lehet. Bár ez a nagyon szoros egyezés a talált és az elméleti maximum között részben a véletlen műve, hiszen becsléseink hibahatára ennél lényegesen szélesebb, gyakorlati szempontból mégis úgy tekinthetjük, hogy a Keszthelyi-medence termelékenysége csúcsára érkezett, ahol a tápanyagok mennyisége már nem korlátozza a növényi termelést.

A modern limnológia a trofitás mértékéül az 1 m<sup>2</sup> tófelületre eső elsődleges termelést tekinti. A tavak elsődleges termelés szerinti besorolását RODHE [18] illetve WINBERG [26] munkái alapján az 5. ábra mutatja. Tihanynál az elsődleges termelés 96, Szigligetnél 301, Keszthelynél 831  $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{év}^{-1}$  volt. A tihanyi érték az eutrófia kezdetének, a szigligeti az eutrófia és hipertrófia közötti átmenetnek, a keszthelyi a legsúlyosabb hipertrófiának felel meg. Élőszóra átszámítva Tihanynál 96, Szigligetnél 301, Keszthelynél 831 mázsa alga termett hektáronként. A 70-es évek első felében a teljes Balaton fitoplanktonja évente kb. százezer tonna szenet épített szerves vegyületekbe.

Az 1961-es eredményekhez képest az 1972-es tihanyi adatok mintegy másfélszeres emelkedést mutattak, ebben az időszakban tehát ebben a medencében a trofitás viszonylag mérsékelten nőtt. Keszthelynél és Szigligetnél az 1961-ben végzett 2–2 mérés szerint még nem volt magasabb a termelés, mint Tihanynál. 1973-ban viszont Keszthelynél az éves elsődleges termelés nyolcszor, a maximális napi termelés húszszor, 1974-ben Szigligetnél az éves termelés háromszor, a napi maximum több mint négyszer magasabb volt az 1972-es tihanyi szintnél. Az 1961-es értékeket 3 m-es vízoszlopra extrapolálva tüntettük fel a 4. ábrán. A Keszthelyi-medence tehát, amelybe a Zala, és a Szigligeti medence, amelybe a többi vízfolyások zöme ömlik, gyorsabban eutrofizálódott, mint az északkeleti medencék. Folyamatban levő vizsgálataink szerint viszont a legutóbbi években ezeknek a medencéknek a trofitása is ugrászerűen megnőtt, 1976 júliusában Szemesnél 1,9, Tihanynál 2,6  $\text{g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{nap}^{-1}$  termelést mértünk (6. ábra). Utóbbi érték több mint négyszerese a négy évvel korábban itt talált maximumnak, és a maximális napi termelésen alapuló beosztás [26, 14] szerint már hipertróf értékeknek számít!

Több tó példája mutatja, hogy az eutrofizálódás folyamata megállítható, sőt — igen költségesen bár, de — meg is fordítható [1, 3, 17].



A Balaton környéke hazánk legfontosabb üdülőterülete, melyet nyaranta kétmillióan keresnek fel. A Balaton rohamos eutrofizálódása megállítható, ha a kommunális szennyvizek zömét elterelik a tótól, a többi csak harmadfokú tisztítás után engedik a vízbe, ha gondoskodnak az állattartó telepek szennyvizének megfelelő kezeléséről, ha visszaállítják a Kis-Balatont, hogy a Zala vize annak nádasai között megtisztulva érhesse el a Balatont, ha a közvetlen parti sávban megszüntetik a mezőgazdálkodást, a távolabbi területeken észszerűbb műtrágyafelhasználást és talajvédő földművelést vezetnek be. Vizsgálataink azt mutatják, hogy ezeknek a terveknek a megvalósítására csak egy évtized van, ha az üdülést károsító algásodást el akarjuk kerülni.

## RECENT RESULTS OF PHYTOPLANKTON RESEARCH IN LAKE BALATON

SÁNDOR HERODEK

Many data are available on the composition and quantity of phytoplankton of Lake Balaton. The first quantitative data originate from samplings in 1933 [6]. Regular investigations were carried out in the pelagial off Tihany in 1945, 1947, 1949 and 1951 [19, 20, 21, 22]. In 1965, 1966 and 1967 these investigations were extended to the entire lake [23, 24, 25], the plankton was sampled from five sections at monthly intervals. In these years algae were counted instead of the formerly used Kolkwitz chamber, by the Utermöhl microscope, which with its inverted optic enables the observation even of the smaller algae.

Only the most important papers, containing quantitative data could be cited above, but even they prove, that by the end of the 1960s as to the composition of phytoplankton Lake Balaton could be counted among the thoroughly investigated lakes. On the other hand, we had little information on the production of the phytoplankton. It has been too low to be measured by the  $O_2$  method and the Institute was not yet equipped to perform the  $^{14}C$  technique. The  $^{14}C$  technique was first used for measuring production only in May–September 1961 in cooperation with the Institute of Plant Physiology of the Eötvös Loránd University [2], when the production of the phytoplankton was determined at 12 occasions in front of Tihany at 1 m depth, and at 2 occasions in water samples from other basins.

The primary production measurements are of direct practical importance. The increased use of fertilizers in the agriculture and the rising amounts of municipal sewage waters resulted in the rapid eutrophication of many lakes, and the best index of the trophic state is the rate of the primary production [18].

In 1972 we started a programme to study the composition, quantity and production of phytoplankton the whole year around in the different basins of the lake [8, 9, 10, 11, 12, 13]. In 1972–1973 the station was in the Eastern basin two kilometres from Tihany, in 1973–1974 in the middle of the Keszthely basin, in 1974–1975 in the Szigliget basin five and a half kilometres E from the mole of Szigliget, in 1976 in the center of the Szemes basin (*Fig. 1*). At Tihany, Szemes and Szigliget the water was sampled at 25, 100, 200 and 300 cm depth, while in the shallower Keszthely basin at 25, 100, 200 and 275 cm. In these depths, on the surface and at the bottom the illumination was measured by



Gemware Submarine Photometer. 100 ml of the samples were transferred into the flasks used for exposure, the remaining water was fixed and used for the counting of algae. Into the bottles used for exposure  $20 \mu\text{Ci Na}_2^{14}\text{CO}_3$  was injected and they were lowered to the depths from where the samples were taken, and exposed for four midday hours ( $10^{\text{h}}-14^{\text{h}}$ ). After exposure the flasks were put in a dark box cooled to  $4-6^\circ\text{C}$  and transferred to the laboratory. Then the algae were separated from the water by membrane filters, and their radioactivity was measured by liquid scintillation. The total carbonic acid content of the water was determined, and the weight of carbon fixed by the algae calculated. The production per surface area unit was obtained by the summation of values of the different layers. In order to estimate the daily production the data of the four-hour exposure were extrapolated to the period from sunrise to sunset minus two hours.

The algae were counted by dr. G. TAMÁS using an Utermöhl microscope. The biomass of each species and of the whole phytoplankton were determined by the cell volume method.

### Composition and biomass of the phytoplankton

Comparing the recent data with earlier ones (*Fig. 2*) an increase of biomass appeared in the basins. At Tihany a fourfold increase was demonstrated for the period between 1965 and 1972. In the south-western basins the biomass of the phytoplankton was always several times higher than the same at Tihany. The maximal standing crops were  $5 \text{ g fresh weight} \cdot \text{m}^{-3}$  in the Tihany basin,  $13 \text{ g fresh weight} \cdot \text{m}^{-3}$  in the Keszthely basin and  $17 \text{ g fresh weight} \cdot \text{m}^{-3}$  in the Szigliget basin.

Among the basins the composition of phytoplankton differs markedly. At Tihany in 1972 the composition was similar to those of the earlier years. In winter and spring the majority of the plankton were diatoms, and similarly to the 1940s and 1960s *Cyclotella bodanica* yielded the biggest mass. In summer *Ceratium hirundinella* (Pyrrophyta) prevailed. In fall, when the biomass drops with an order of magnitude, different species may form the greatest portion. In the Keszthely and Szigliget basins in the sixties the spring plankton remained still similar to that of Tihany, but the summer phytoplankton was very different, for in 1965 *Melosira granulata* caused a strong discoloration of the water, in 1966 *Aphanizomenon flos-aquae* bloom was observed. In June 1973 in the Keszthely basin *Cyclotella bodanica* and other diatoms prevailed, i.e. the spring composition remained similar to those of the earlier years. Early July was dominated by *Ceratium hirundinella*, while at mid-July, when the highest production was measured, a strong *Aphanizomenon flos-aquae* bloom was observed. In August–September *Ceratium hirundinella*, in October–November *Cryptomonas erosa* and *Cryptomonas ovata* dominated. From January 1974 on *Cyclotella bodanica* increased again.

In the Szigliget basin the usual *Cyclotella bodanica* dominating spring plankton was found in June 1974. By the end of June *Ceratium hirundinella*, in early July the blue-green *Lyngbya limnetica*, in late July and early September again *Ceratium hirundinella* dominated. The end of September was warm, and great biomass was formed again by blue-green algae: *Aphanizomenon flos-aquae* and *Anabaena spiroides*.



In the autumn of 1974 there were heavy rains. Most of the water inflows of the lake reach the south-western basins. Here from October on an enormous *Nitzschia acicularis* invasion was observed, perhaps as a result of the increased fertilizer load. This diatom invasion started somewhat earlier in the Keszthely basin, but its peak appeared in the Szigliget basin, where in December the biomass of the phytoplankton attained an unprecedented winter value of 9.8 g fresh weight  $\cdot$  m<sup>-3</sup>. More than half of this amount was formed by *Nitzschia acicularis*. This is an elongated, needle like diatom, one cell of which weighing only 280  $\mu$ g. The number of algae was 17 million individuals per litre, which is with one order of magnitude higher than the usual value.

### Light conditions

The transparency of the water differed in the basins of the lake. In front of Tihany and Szemes the transparency is basically a function of the amount of the suspended mud, therefore rather variable, as indicated already by earlier data [4, 5, 7]. The huge surface area of 600 km<sup>2</sup> enables the development of strong waves swirling up the bottom of the only 3—4 m deep lake. In a storm at Tihany in 1 m depth the illumination was less than 2 per cent of that of the surface, while during a long calm 20 per cent of the light penetrated to 3 m depth.

In the Keszthely and Szigliget basins, where transparency is limited already by the algae, 1 per cent of the surface light reaches but very seldom the bottom. Below this value the photosynthesis is lower than the respiration of the plants. In earlier years dense stands of submerged aquatic plants were found even in the deeper areas of the Keszthely and Szigliget basins [15, 16]. In 1973 we found no submerged plants in the deeper water. This may be due to the shading effect of the phytoplankton. The submerged macrophytes should have to grow in the deeper parts more than 1 m to reach as much light as necessary for a photosynthetic rate higher than the respiration. This interpretation is supported by the fact that in the shallower areas, where sufficient light reached the bottom, the submerged vegetation persisted.

### Production of the phytoplankton

Both the vertical distribution and the magnitude of the primary production differs in the different parts of the lake (*Fig. 3*). The vertical profile of the photosynthesis depends on optical conditions. In the Tihany basin this varies according to actual weather conditions. The maximal production was found in storm in the uppermost, during long calm in the lowest samples. Most frequently at the surface there is photoinhibition due to excessive light, the maximum is at 1 or 2 m, and at 3 m the photosynthesis is significantly decreased by the insufficient illumination. In yearly average the algae fixed half as much carbon at 3 m than at 1 m depth.

In the Keszthely basin, corresponding to the more stabilized optical conditions, the vertical profile of the primary production became also more uniform. The maximum was consequently in the uppermost sample. At 1 m



the production reached only about half of it, at 2 m production was found only in exceptional case, at the bottom never.

In the Szigliget basin the vertical profile of photosynthesis is an intermediate between those in the Tihany and Szigliget basins, but somewhat more similar to the situation in the Keszthely basin, as the maximum is usually in the uppermost layer, and in the majority of cases no appreciable photosynthesis occurred below 2 m. In the south-western basins the water is separated to euphotic and aphotic zones. This results in a dangerous situation, because the organic material, produced in the upper layer sediments to the bottom, and its decomposition consumes oxygen in a place, where due to the shading effect of the algae no oxygen is produced. During a long calm period this may lead in the deeper water and in the mud to anaerobic conditions with the corresponding ecological catastrophe. The production in the individual basins diverged to such an extent, that in *Fig. 3* scales of different orders of magnitude must have been used for them.

The great differences among the basins are demonstrated also in *Fig. 4*, showing the annual cycle of primary production per unit surface area. The maximal daily productions were  $0.6 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Tihany in 1972,  $2.6 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Szigliget in 1974 and  $13.6 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Keszthely in 1973. The theoretical maximum of the primary production of the phytoplankton by  $600 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$  total irradiation is  $13.7 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ . Even if this rather close agreement of the theoretical maximum and the value obtained by us may be ascribed in part to a matter of chance, practically the Keszthely basin is a water body which attained the top of its productivity, where the primary production is no more limited by the availability of nutrients.

Modern limnology considers the primary production per unit surface area as the measure of the trophic state. The productivity ranges of the trophic categories are given in *Fig. 5* [18, 26]. The annual productions were  $96 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Tihany,  $301 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Szigliget and  $831 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Keszthely. The value at Tihany corresponds to a mild eutrophic production, the Szigliget basin is in an intermediate position between eutrophic and hypertrophic levels, the Keszthely basin is in the heaviest hypertrophic state. In fresh weight of algae the productions correspond to about  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  at Tihany,  $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  at Szigliget and  $83 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  at Keszthely. At the time of these investigations the total production of the lake was about  $10^5 \text{ t C} \cdot \text{year}^{-1}$ .

In 1972 the production at Tihany was one and a half times higher than in 1961, i.e. here in this period the productivity increased but moderately. In 1961 the production in the Keszthely and Szigliget basins, according to the 2 measurements each, was not yet higher than at Tihany. In 1973 at Keszthely the annual primary production was eight times, the maximum daily production twenty times, in 1974 at Szigliget the annual production was three times, the maximum daily production was four times higher than the corresponding values in 1972 at Tihany. In *Fig. 4* the values of 1961 are extrapolated to a water column of 3 m. According to these data the eutrophication of the Keszthely basin, met by the river Zala, and of the Szigliget basin, receiving most of the other inflowing waters eutrophicated more rapidly than the north-eastern basins. However, according to the investigations now in progress, in the very last years the productivity of these basins suddenly increased, too. In July 1976 the maximum daily productions were  $1.9 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Szemes and  $2.6 \text{ g C} \cdot \text{m}^{-2}$  at Tihany. The latter value is more than four times higher than



the maximum found four years earlier, and according to the classification based on the maximum daily production [14, 26] it corresponds to the hypertrophic level (*Fig. 6*).

The cases of many lakes prove that eutrophication can be stopped, and if it involves heavy expenses it can even be reversed [1, 3, 17].

In Hungary the Balaton region is the most important recreational area. It is visited by 2 million people in each summer. To stop racing eutrophication it is necessary to divert the major part of the municipal sewage waters from the drainage area of the lake, and to remove the phosphate from the remaining part before it reaches the lake. The manure problems of the livestock raising centres must also be solved. It is important to restore the Kis-Balaton, whose reeds are supposed to remove the silt and nutrients from the water of Zala river. Agriculture by the lake shore should be interdicted. Effective soil protection and strict control in the use of fertilizers in the whole drainage area are of primary importance.

The results presented in this paper suggest that for all these projects we have but one decade if we want to prevent the serious deterioration of water quality.

## НОВЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЛАТОНСКОГО ФИТОПЛАНКТОНА

ШАНДОР ХЕРОДЕК

Имеются многочисленные данные о количественном и качественном составе фитопланктона оз. Балатон. Первые количественные данные о фитопланктоне были получены ещё в 1933 году [6]. Регулярно проводились исследования фитопланктона в открытой части водоёма перед Тиханью в 1945, 1947, 1949 и в 1951 годах [19, 20, 21, 22]. В 1965, 1966 и в 1967 годах исследования проводились по всей территории озера [23, 24, 25], пробы брали ежемесячно на 5-ти сечениях. Подсчет водорослей проводился в 60-ых годах, но не с помощью камеры Колквича, а с использованием современного микроскопа Утермела (*Utermöhl*), имеющего обратную оптику, что дает возможность подсчета и мелких форм водорослей.

Выше указаны только те работы, которые содержат самые важные количественные данные, из которых видно, что в отношении структуры фитопланктона Балатон, в конце 60-ых годов, оказался хорошо изученным озером. Однако продукция фитопланктона была исследована незначительно. Причиной этого являлась низкая продукция фитопланктона, которую невозможно было измерить с помощью методики  $O_2$ , а для использования более точной методики  $^{14}C$  в то время Институт не был оборудован. Поэтому только в мае—сентябре 1961-го года совместно с Институтом физиологии растений Будапештского Университета была измерена продукция в оз. Балатон с помощью методики  $^{14}C$  [2].

В это время (с мая до сентября) у Тихани 12 раз, а в остальных бассейнах всего 2 раза определяли продукцию фитопланктона по пробам, взятым с глубины один метр. Исследования первичной продукции в озерах имеют огромное значение. В результате усиленного использования минеральных



удобрений и увеличивающегося количества коммунальных сточных вод во многих озерах появляются признаки быстрой эвтрофикации. Самым надежным показателем эвтрофикации является интенсивность первичной продукции [18].

В 1972 году начали серию исследований, с помощью которых изучали состав фитопланктона, его количество, продукцию в различных бассейнах озера [8, 9, 10, 11, 12, 13]. В 1972—1973 гг. в восточном бассейне в двух километрах от Тихани, в 1973—1974 гг. — в центре Кестхейского бассейна, в 1974—1975 гг. — в Сиглигетском бассейне проводили измерения в четырех километрах южнее причала.

В апреле 1976 года начаты исследования Семешского бассейна, а также на середине сечения Семеш-Шагпуста (Рис. 1).

У Тихани, Сиглигета и Семеша пробы из озера были взяты на глубине 25, 100, 200 и 300 см., а в более мелком Кестхейском бассейне — на глубине 25, 100, 200 и 275 см. На этих же глубинах, а также на воздухе и на дне измеряли освещенность с помощью фотометра (Gemware Submarine Photometer). Взятые из проб 100 мл воды переливали в обыкновенные бутылки с притертостью, которые обычно использовали при экспонировании. Остальное количество пробы фиксировали для подсчета водорослей. К будущим экспонированным пробам добавляли 20—20  $\mu\text{Ci Na}_2^{14}\text{CO}_3$ , затем их помещали на те же самые глубины, откуда они были взяты. Длительность экспозиции проб в озере была равна 4 часам (с 10 до 14 час.), после чего пробы доставляли в лабораторию Института в темных коробках. Водоросли отфильтровывали через мембранный фильтр и с помощью жидкостного сцинтиллятора измеряли их радиоактивность. Определяли общее углекислотное содержание воды. Сопоставляя эти данные с результатами измерения радиоактивности водорослей, вычисляли вес углерода, связываемого при фотосинтезе. Суммируя продукцию отдельных водных слоев, получали продукцию данной площади. Значения, полученные в течение экспозиции, экстраполировали на продолжительность светлого дня минус два часа. Оценивали продукцию за один день. Подсчет водорослей проводился Гизеллой Тамаш с помощью микроскопа Utermöhl. Исходя из объема отдельных клеток, она вычисляла биомассу отдельных видов и всего фитопланктона.

### Масса и состав фитопланктона

Сравнивая полученные нами данные о массе фитопланктона с прежними значениями, заметна тенденция к повышению массы фитопланктона (Рис. 2). Масса фитопланктона у Тихани увеличилась в 4 раза за период времени между 1965 и 1972 гг. В двух югозападных бассейнах (Кестхей и Сиглигет) масса фитопланктона во много раз превысила массу, полученную у Тихани. Максимальная водорослевая масса у Тихани была равна 5, Кестхейе — 13, Сиглигете — 17 г/м<sup>3</sup>. Значительные расхождения в составе фитопланктона получены в отдельных бассейнах, однако существенных качественных различий в составе фитопланктона у Тихани не обнаружено при сопоставлении с предыдущими годами. Зимой и весной в планктоне доминировали диатомовые водоросли. Среди них в 1972-ом г. также, как и в 40-х и в 60-х годах, *Cyclotella bodanica* давала самую большую массу. Каждое лето доминировал вид *Ceratium hirundinella*. Осенью масса фитопланктона понижается на один



порядок. В это время разные виды могут давать относительно большую массу. В 60-х годах состав весеннего планктона у Кестхейя и Сиглигета ещё был похож на состав планктона у Тихани. Однако летом в 1965-ом году *Melosira granulata*, а в 1966-ом году *Aphanizomenon flos aquae* послужили причиной цветения воды. Подсчет водорослей, проведенный параллельно с измерением первичной продукции, показал, что в июне 1973-его года в Кестхейском бассейне доминировали *Cyclotella bodanica* и другие диатомовые водоросли.

Это значит, что весенний состав фитопланктона был аналогичен составу фитопланктона прошлых лет.

В начале июля доминирующим видом был *Ceratium hirundinella*, а в середине июля получили самую высокую первичную продукцию за счет *Aphanizomenon flos-aquae*. Было отмечено цветение воды.

В августе—сентябре однозначно доминировали *Ceratium hirundinella*, а в октябре—ноябре *Cryptomonas erosa* и *C. ovata*. С января 1974 г. опять повысилось количество *Cyclotella bodanica*. В июне 1974 г. у Сиглигета находили обычно поздний весенний вид *Cyclotella bodanica* к концу июня появился вид *Ceratium hirundinella*, а в начале июля доминировала *Lyngbya limnetica* сине-зеленая водоросль. Начиная с конца июля и до конца сентября, опять доминировал вид *Ceratium hirundinella*. В теплое время, в конце сентября, снова доминировали сине-зеленые водоросли, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Anabana spiroides* давали самую большую массу фитопланктона.

Осенью 1974-ого года прошло необычайно много дождей. Вероятно из-за этого в двух юго-западных бассейнах, куда втекает большинство рек, впадающих в Балатон, и которые, вероятно, могли принести с собой из сельскохозяйственных угодий много минеральных удобрений, вследствие чего, начиная с октября месяца *Nitzschia acicularis* вызывала большое цветение воды. Инвазия диатомовых водорослей в Кестхейском бассейне началась немного раньше, а тогда же в Сиглигетском бассейне достигла более высокого уровня. В декабре биомасса фитопланктона в окружности Сиглигета была 9,8 г/м<sup>3</sup>, что довольно значительно для зимнего периода. Более чем половину этой биомассы давала длинная игловидная водоросль, биомасса которой составляла всего 280 мкг. Плотность водорослей составила 17 мг/л воды. Это значение на один порядок выше, чем обычно.

### Световые отношения

В ходе наших исследований было установлено, что прозрачность воды различна в отдельных бассейнах Балатона. На прозрачность воды у Тихани и Семеша влияет количество взвешенных частиц ила, поэтому она сильно варьирует. На это явление указывали уже ранние работы [4, 5, 7]. На 600 км<sup>2</sup>-ой водной поверхности Балатона образуется сильное волнение, которое до дна сможет смешать 3-х—4-х-метровую глубину воды. При сильном ветре у Тихани на глубине 1 м нашли всего 20% поверхностного света. Тогда же при безветренной, длительной тихой погоде обнаружили 10% поверхностного света на глубине — 3 метра.

У Кестхейя и Сиглигета на дне редко можно было измерять более 10% поверхностного света, что, по-видимому, обусловлено препятствиями, создаваемыми водорослями. Ниже уровня такой освещенности дыхание расте-



ний уже превосходит фотосинтез. Раньше в глубинных частях Кестхейского и Сиглигетского бассейнов было больше тины [15, 16]. В настоящих исследованиях мы уже не обнаружили тину в глубинных частях озера. Это явление объясняется затеняющим действием водорослей. На ранее затененных местах теперь тина должна вырасти более чем на 1 м для того, чтобы достичь такой высоты в толще воды, где имеется достаточно света для её роста. Наше объяснение подтверждает то обстоятельство, что в мелких частях озера, где имеется достаточно света, тина хорошо растет.

### Продукция фитопланктона

Величина и вертикальное распределение продукции фитопланктона в разных бассейнах оз. Балатон сильно различаются (*Рис. 3*). Вертикальный профиль продукции зависит от степени прозрачности. У Тихани при сильном ветре продукция в самой верхней пробе была самой высокой, а в тихое время — самой низкой. Очень часто на поверхности воды сильное освещение вызывало световое торможение. Интенсивность фотосинтеза наблюдалась на глубине 1 или 2 метра, а на глубине 3 м интенсивность фотосинтеза из-за недостатка света была меньшей. В среднем за год водоросли на глубине, равной 3 метрам, поглотили углерода наполовину меньше, чем на глубине, равной 1 метру. У Кестхейя в соответствии с однородностью оптических условий вертикальные фотосинтетические профили стали однородными. Максимум продукции регистрировали в самой верхней пробе, на глубине 1 м — половину этой продукции, на глубине 2 м — редко, а на дне практически никогда не регистрировали продукцию. Сиглигетский бассейн по форме кривых является как бы промежуточным между Кестхейем и Тиханью. Однако он ближе всего стоит к Кестхейскому бассейну потому, что и здесь максимум продукции находили в верхнем слое воды и в большинстве случаев ниже глубины 2 м уже не регистрировали значительный фотосинтез. Вода в юго-западном бассейне практически постоянно разделяется на эвфотические и афотические слои. Это приводит к тревожному сигналу и положению, так как продуцированное в верхних слоях органическое вещество в виде планктонного дождя падает на дно и таким образом там поглощает кислород, где из-за недостатка света водоросли не продуцируют кислород. При длительной тихой погоде это явление может привести в нижних слоях воды и на дне озера к дефициту кислорода и к экологической катастрофе. Величина продукции фитопланктона настолько различная в отдельных бассейнах, что на *рис. 3* мы вынуждены были использовать разные масштабы.

Различие между отдельными бассейнами хорошо видно на *рис. 4*, где изображена первичная продукция на единицу площади водной поверхности. Максимальная продукция за один день на 1 м<sup>2</sup> у Тихани в 1972 г. была 0,6, у Сиглигета в 1974 г. — 2,6, у Кестхейя в 1973 г. — 13,6 г. углерода. Теоретически максимальное количество продукции фитопланктона составило 13,7 гС/м<sup>2</sup>/день при 600 cal/см<sup>2</sup>/день при полной освещенности. Хотя совпадение теоретических и измеряемых данных может быть частично и случайным, однако с практической точки зрения все-таки, учитывая обстоятельства, продуктивность Кестхейского бассейна достигла своей вершины.

Оценка трофичности по современной лимнологии — это величина первичной продукции на 1 м<sup>2</sup> водной поверхности. Классификация озер по первичной продукции на основании работ [18, 26], представлена на *рис. 5*.



Количество первичной продукции у Тихани было 96, Сиглигета — 301, Кестхейя — 831 гС/м<sup>2</sup>/год. Первичная продукция у Тихани соответствует началу эвтрофикации, у Сиглигета — переходу между эвтрофией и гипертрофией, а у Кестхейя — самой серьезной гипертрофии. Биомасса за счет водорослей у Тихани составила 96, у Сиглигета 301, а у Кестхейя 831 центнер с гектара. Вес фитопланктона оз. Балатон в первой половине 60-х годов ежегодно составлял 100 тыс. тонн углерода, поглощенного органическими соединениями.

В 1972-ом году значение первичной продукции в полтора раза было выше по сравнению с 1961 г. В этот период трофичность росла умеренно. По 2 измерениям в 1961-ом году первичная продукция у Кестхейя и Сиглигета еще не превысила таковой у Тихани. Однако в 1973-ем г. годовая первичная продукция у Кестхейя возросла в восемь раз, а максимальная дневная продукция — в двадцать раз по сравнению с результатами, полученными у Тихани в 1972 г. Эти значения у Сиглигета соответственно в три-четыре раза превысили продукцию, измеренную у Тихани. Экстраполированные значения на 3-х метровой глубине воды изображены на *рис. 4*. Видно, что эвтрофикационные процессы в Кестхейском бассейне, куда впадает р. Зала, и в Сиглигетском бассейне, куда впадает большинство рек, происходят быстрее, чем в северо-восточных частях озера. Однако в последние годы, по измерениям, проводимым в настоящее время, существенно возросла трофичность в этих бассейнах озера. Например, в июле 1976 г. у Семеша получили 1,9, а у Тихани — 2,6 гС/м<sup>2</sup>/день продукции (*Рис. 6*). Последнее значение более, чем в 4 раза превышает максимальное значение, полученное здесь 4 года назад. По шкале, основанной на измерениях максимальной продукции за день [14, 26], это значение считается уже гипертрофным!

Имеются многочисленные примеры, когда эвтрофикационные процессы озер можно остановить, даже при больших капиталовложениях этот процесс можно сделать обратимым [1, 3, 17].

Побережье оз. Балатон — самое важное курортное место в Венгрии, где ежегодно бывает 2 млн. отдыхающих и туристов. Интенсивную эвтрофикацию оз. Балатон можно остановить в том случае, если большинство коммуникационных сточных вод отвести от озера, а остальную часть очищать до третьей степени чистоты, и после этого спускать в озеро, если заботиться об обработке сточных вод животноводческих ферм, если восстановить Малый-Балатон для того, чтобы очищенная его тростником река Зала смогла втекать в оз. Балатон, если запретить сельскохозяйственную деятельность в непосредственной прибрежной зоне озера, если ввести на отдаленных земельных участках рациональное использование минеральных удобрений и земледелие по защите почвы.

Исследования показали, что в целях избежания дальнейшей эвтрофикации озера, вредящей курорту, имеется всего лишь один десяток лет на выполнение намеченных планов.

#### IRODALOM — REFERENCES — ЛИТЕРАТУРА

1. Björk, S. (1972): Swedish lake restoration program gets results. — *AMBIO* 1, 153—165.
2. Böszörményi, Z., Cseh E., Felföldy L., Szabó E. (1962): A Balatonban C<sup>14</sup>-módszerrel végzett fotoszintézis mérés módszertani kérdéseiről. — *Annal. Biol. Tihany* 29, 39—63.



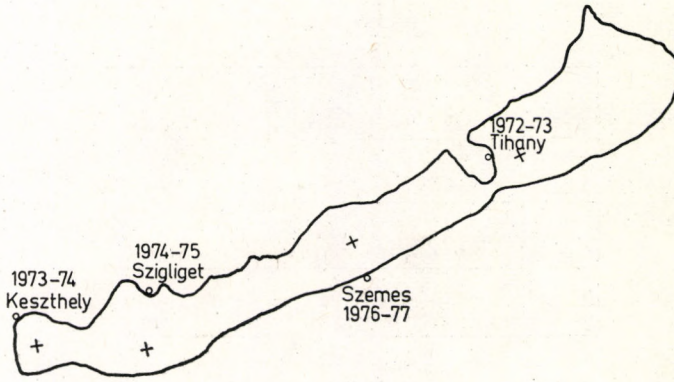
3. EDMONDSON, W. T. (1968): Water-quality management and lake eutrophication: The Lake Washington case. — *In: Water resources management and public policy*. University of Washington Press, Seattle, pp. 139–178.
4. ENTZ, B., FILLINGER M. (1961): Adatok a Balaton fényklímájának ismeretéhez. (A víz zavarosságának okairól és kihatásairól.) — *Annal. Biol. Tihany* **28**, 49–89.
5. ENTZ, B., FILLINGER M. (1962): Adatok a Balaton fényklímájának ismeretéhez II. (Fényviszonyok a hóborította befagyott Balaton-vízben.) — *Annal. Biol. Tihany* **29**, 65–74.
6. ENTZ, G., J. KOTTÁSZ, O. SEBESTYÉN (1937): Quantitative Untersuchungen am Bioeston des Balatons. — *Magy. Biol. Kut. Int. Munkái* **9**, 73–153.
7. FELFÖLDY, L., Zs. KALKÓ (1958): A vízalatti fényviszonyok és a fotoszintézis összefüggése a Balatonban 1957 nyarán. — *Annal. Biol. Tihany* **25**, 303–329.
8. HERODEK, S., J. OLÁH (1973): Primary production in the frozen Lake Balaton. — *Annal. Biol. Tihany* **40**, 197–206.
9. HERODEK, S., G. TAMÁS (1973): The primary production of phytoplankton in Lake Balaton April–September 1972. — *Annal. Biol. Tihany* **40**, 207–218.
10. HERODEK, S., G. TAMÁS (1974): The primary production of phytoplankton in Lake Balaton October 1972–March 1973. — *Annal. Biol. Tihany* **41**, 205–216.
11. HERODEK, S., G. TAMÁS (1975a): Phytoplankton production in Lake Balaton. — *Symp. Biol. Hung.* **15**, 29–34.
12. HERODEK, S., G. TAMÁS (1975b): The primary production of phytoplankton in the Keszthely basin of Lake Balaton in 1973–1974. — *Annal. Biol. Tihany* **42**, 175–190.
13. HERODEK, S., G. TAMÁS (1976): A fitoplankton tömege, termelése és a Balaton eutrofizálódása. — *Hidrológiai Közlemény* 1976, 219–228.
14. HÜBEL, H. (1971): Primärproduktion des Phytoplanktons. <sup>14</sup>C-oder Radiokohlenstoffmethode. — *In: Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung*. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
15. KÁRPÁTI, I. (1972): Hínárállományok primér produktációjának kutatása a Szigligeti-öbölben. — *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet Tájékoztatója*, 72–73.
16. KÁRPÁTI, I., Gy. VARGA (1970): A Keszthelyi-öböl hínárvegetációja kutatásának eredményei. — *A Keszthelyi Agrártudományi Főiskola Közleményei* **12**, No. 5, 1–67.
17. MATHIESEN, H. (1971): Summer maxima of algae and eutrophication. — *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **19**, 161–181.
18. RODHE, W. (1969): Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe. — *In: Eutrophication: causes, consequences, correctives*. National Academy of Sciences, Washington D.C.
19. SEBESTYÉN, O. (1953): Mennyiségi planktontanulmányok a Balatonban. II. Évtizedes változások. — *Annal. Biol. Tihany* **21**, 63–89.
20. SEBESTYÉN, O. (1954): Mennyiségi planktontanulmányok a Balatonon III. Pelagikus *Dinoflagellaták* biomasszája. — *Annal. Biol. Tihany* **22**, 185–197. (Módszertani tanulmány)
21. TAMÁS, G. (1954): Mennyiségi planktontanulmányok a Balatonon. IV. A negyvenes évek fitoplanktonjáról. — *Annal. Biol. Tihany* **22**, 199–225.
22. TAMÁS, G. (1955): Mennyiségi planktontanulmányok a Balatonon. VI. A negyvenes évek fitoplanktonjának biomasszája. — *Annal. Biol. Tihany* **23**, 95–109.
23. TAMÁS, G. (1967): Horizontale Plankton-Untersuchungen im Balaton. V. Über das Phytoplankton des Sees, auf Grund der im Jahre 1965 geschöpften und Netzfilterproben. — *Annal. Biol. Tihany* **34**, 191–231.
24. TAMÁS, G. (1969): Horizontal plankton investigations in Lake Balaton, based on scooped samples and filtrates taken in 1966. — *Annal. Biol. Tihany* **36**, 257–292.
25. TAMÁS, G. (1972): Horizontal plankton studies in Lake Balaton, based on scooped samples and filtrates taken in 1967. — *Annal. Biol. Tihany* **39**, 151–188.
26. WINBERG, G. G. (1961): Винберг, Г. Г.: Современное состояние и задачи изучения первичной продукции водоемов. Первичная продукция морей и внутренних вод. — Издательство Министерства Высшего, Среднего Специального и Профессионального Образования БССР, Минск.

HERODEK SÁNDOR

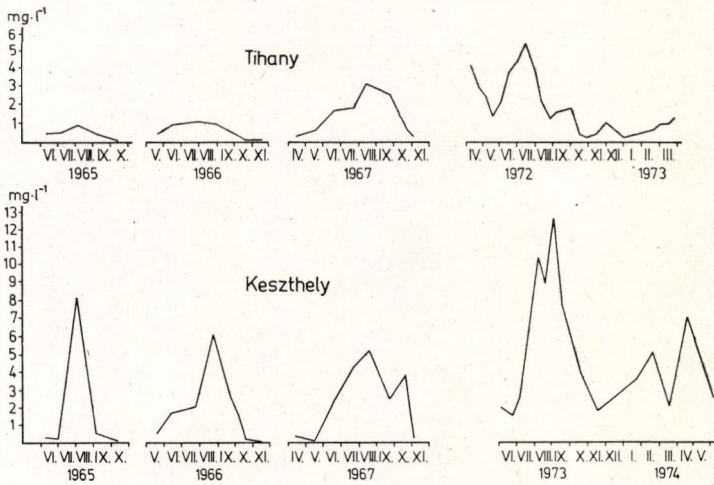
H-8237 Tihany

Biológia, Hungary



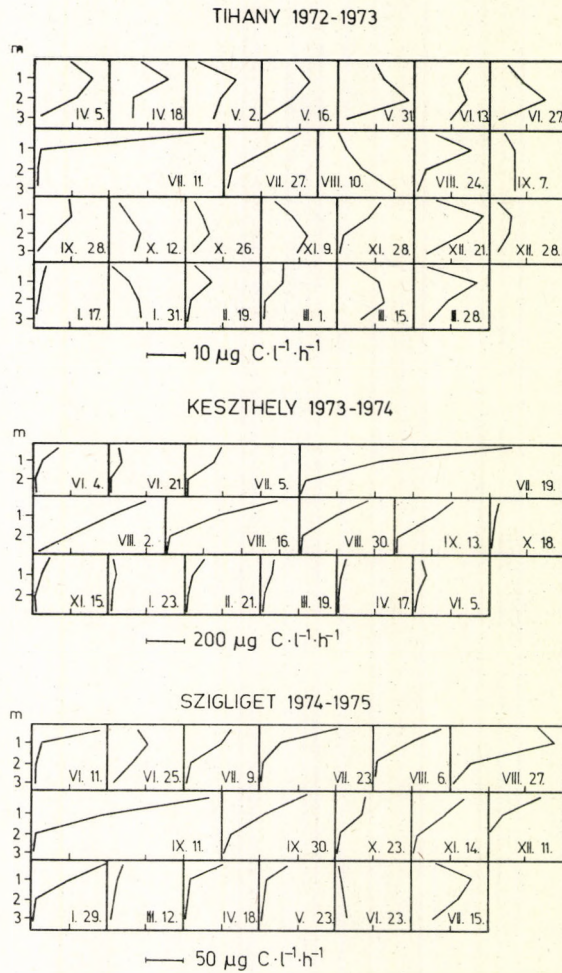


1. ábra. A vizsgálatok helye  
 Fig. 1. The stations  
 Рис. 1. Места измерений



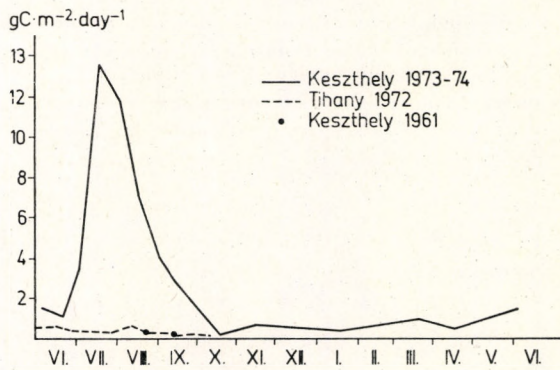
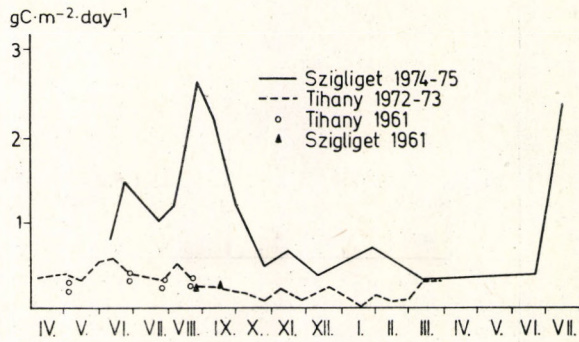
2. ábra. A fitoplankton biomassájának emelkedése  
 Fig. 2. The rise of the biomass of phytoplankton  
 Рис. 2. Повышение биомассы фитопланктона





3. ábra. A fitoplankton termelésének függőleges megoszlása  
 Fig. 3. The vertical distribution of the production of phytoplankton  
 Рис. 3. Вертикальное распределение продукции фитопланктона



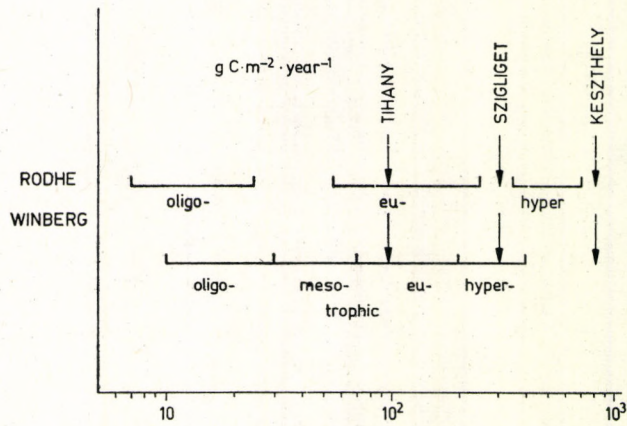


4. ábra. Az 1 m<sup>2</sup> területre eső elsődleges termelés

Fig. 4. Primary production per 1 m<sup>2</sup>

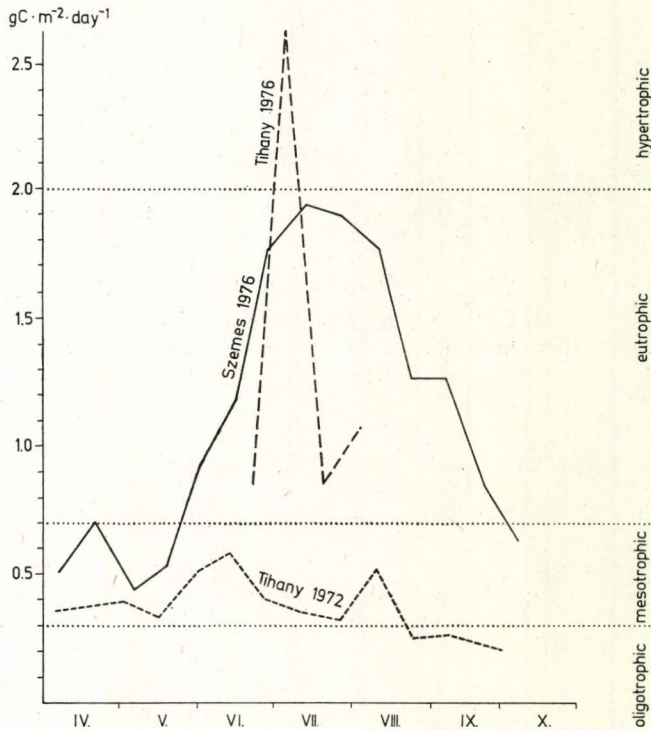
Рис. 4. Первичная продукция, рассчитанная на площадь 1 м<sup>2</sup>





5. ábra. A Balaton medencéinek helye a tavak elsődleges termelésén alapuló beosztásban  
 Fig. 5. Positions of the basins of Lake Balaton on the scale of lakes based on their annual primary production

Рис. 5. Классификация бассейнов Балатона на основании годичной первичной продукции



6. ábra. Az  $1 \text{ m}^2$  felületre eső elsődleges termelés Szemesnél és Tihanynál 1976-ban

Fig. 6. Primary production per  $1 \text{ m}^2$  at Szemes and at Tihany in 1976

Рис. 6. Первичная продукция у Семеша и у Тихани в 1976 г., рассчитанная на  $1 \text{ m}^2$  площади водной поверхности