

A BAKTÉRIUMSZÁM, A BAKTERIÁLIS BIOMASSZA ÉS PRODUKCIÓ NAPSZAKOS, MINDENNAPOS ÉS SZEZONÁLIS VÁLTOZÁSAI A BALATON TIHANYI TÉRSÉGÉBEN

G.-TÓTH LÁSZLÓ

MTA Balatoni Limnológiai Kutató Intézet, Tihany

A Balaton élővilágának anyagforgalmi rendszerében a baktériumok mineralizációs szerepének aránya és fontossága csak a fitoplankton elsődleges termeléséhez mérhető. S mivel a bakteriális tevékenység intenzitása részben denzitásfüggő, a Balaton-kutatás hidrobiológiai viszonylatában a bakterioplankton mennyiségére és produktójára vonatkozó ismeretek iránt is egyre nagyobb szükség van. A már korábban megindult mennyiségi vizsgálatok eredményei (OLÁH 1969, 1970, 1971a, b, 1973, 1974, OLÁH és mtsai. 1978) mind effektív, mind módszertani vonatkozásban a továbblépés számos alternatíváját kínálták.

Egyik ilyen vizsgálati terület a bakterioplankton rövid periódusú változásainak tanulmányozása, ugyanis ökológiai megfontolásokból helyesebb a rövid generáció idejű baktériumflóra állománydinamikai összefüggéseit a lehető legsűrűbb mintavételekkel nyomon követni. A Balaton esetében különösen nagy ennek a jelentősége, hiszen már a kisebb szelek hatására átkeveredik nem csak az egész vízoszlop, hanem az üledék felső néhány millimétere is. Ez a jelenség pedig gyökeres hatással van az egész planktonrendszerre.

Egy másik továbblépési lehetőség a bakteriális szervesanyagtermelés anyagforgalmi vonatkozásainak vizsgálata.

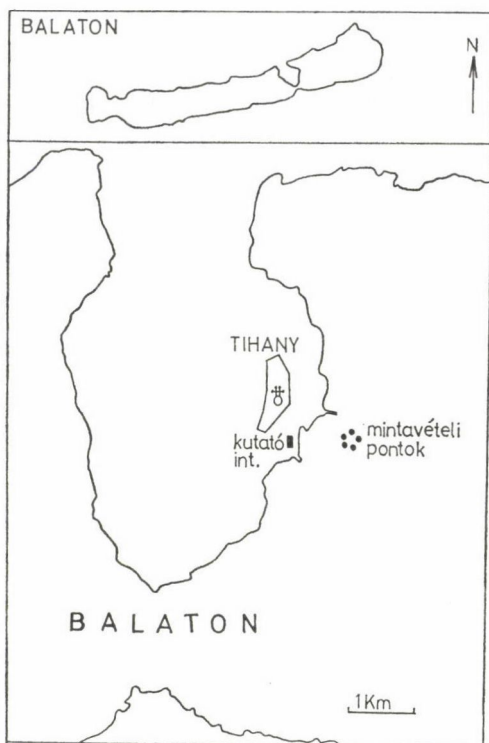
Vizsgálatok

1975 és 1979 között nyaranta, 1980-ban egész éven át tanulmányoztam e két szempontból a bakterioplankton mennyiségét és nettó produktóját a Tihany előtti tóterületen (1. ábra).

A bakterioplankton egészen rövid idő alatt bekövetkező változásait és a mélységi eloszlás huszonnegy órás ritmusát 1977 és 1978 augusztusában háromóránkénti mintavételekkel vizsgáltam viharos és hosszan tartó csendes vízben.

A napról napra történő változásokat harminc napos periódusokban tanulmányoztam négy egymás után következő év július—augusztusaiban (G.-TÓTH 1981).

A bakterioplankton mennyiségének, szerkezetének szezonális dinamikáját



I. ábra. A mintavételek és terepkísérletek helye a mintavételi pontok feltüntetésével

1979 novembere és 1981 márciusa között hetes, kéthetes mintavételi gyakorisággal kísértem figyelemmel.

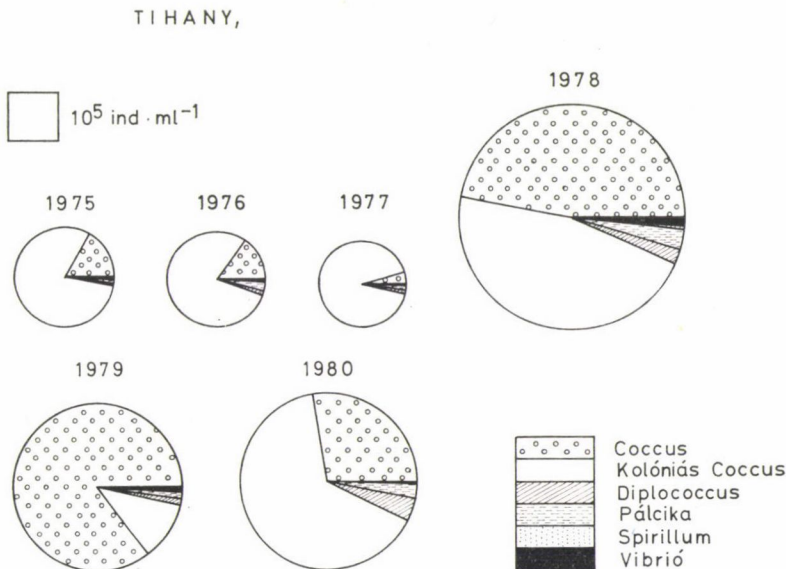
A generáció idő és nettó bakteriális produkció rövid periódusú változásait 1978 nyarán egy hónapon át háromnaponta, éves alakulását 1979 novembere és 1981 márciusa között általában hetente vizsgáltam. Nyári időszakban vizsgáltam továbbá a fitoplankton-bakterioplankton-zooplankton anyagforgalmi egység „in situ” működését, az energiautak forgalmának mértékét is (G.-TÓTH 1980a).

A vizsgálati alapszámítás a RAZUMOW (1932)-féle direkt baktérium-számlálás volt. A sejttérfogatokat, illetve a biomasszát RODINA (1972) módszere szerint határoztam meg úgy, hogy a sejtek preparálásánál bekövetkező kismértékű zsugorodást is korrigáltam (G.-TÓTH 1980b). A generáció idő és nettó produkció, illetve a zooplankton baktériumfogyasztásának vizsgálati során az „in situ” expozíciók 250 milliliteresre alakított, kvarclámpával sterilizált dializáló zsákokban folytak (G.-TÓTH 1980a). Az expozíciók idejét a víz-hőmérséklettől függően 6 és 24 óra között választottam meg. A nettó produkció szénre történő átszámításánál 7,5% biomassa széntartalmat vettem figyelembe (WINBERG 1971).

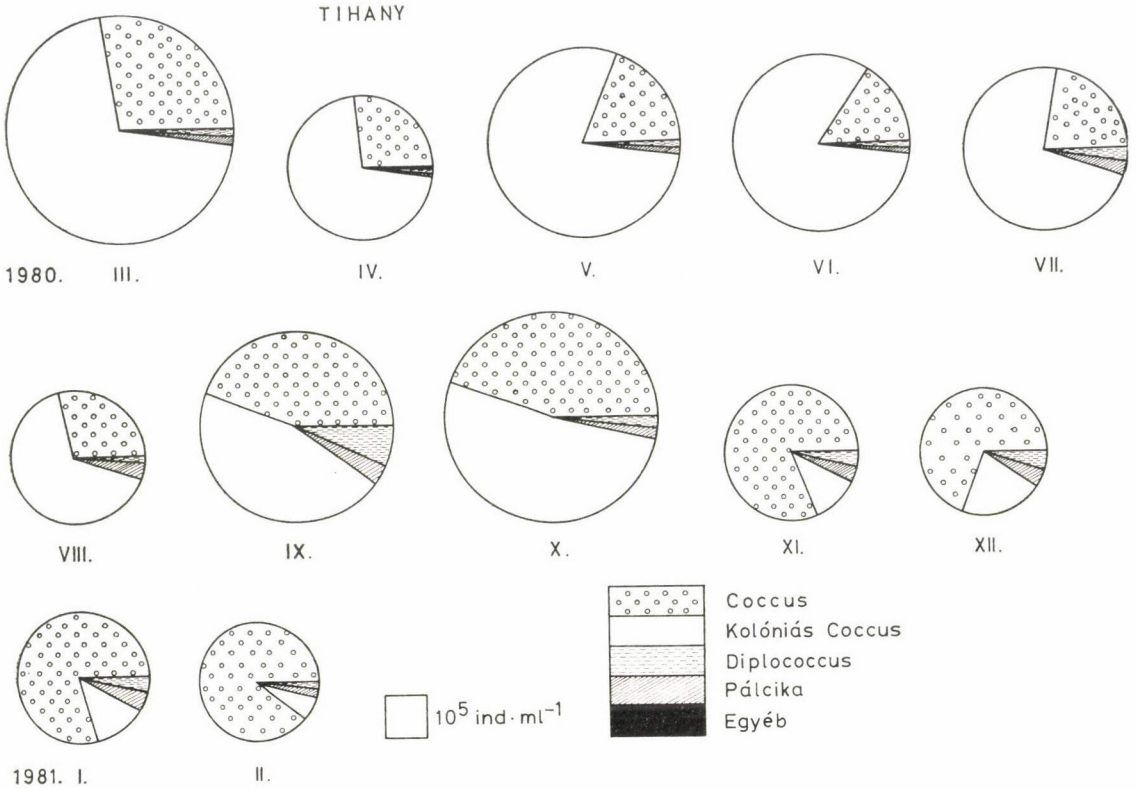
A baktériumsejtek mérete, a morfológiai csoportok eloszlása

A vizsgálatok során az első szembetűnő tapasztalat az volt, hogy a baktériumsejtek rendkívül kicsik. Például a relatíve nagy mennyiségben előforduló kokkuszosk sejtátmérője a fél mikrométert is ritkán haladta meg. Az erősen eutrófikus Keszthelyi-öbölből származó vízminták membránfilter szüredékén láthattam olyan méretű kokkuszoskat és pálcikákat, amelyeket táptalajról készült szuszpenziókban lehet megfigyelni.

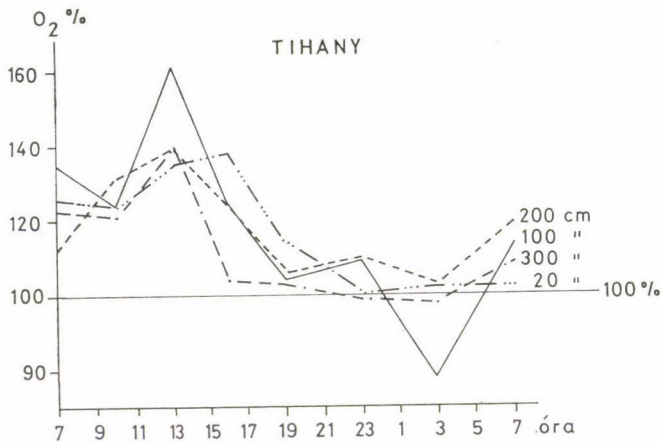
A sejteket a direkt számlálásos módszer nyújtotta lehetőségeken belül morfológiai csoportok szerint számoltam. A nyári bakterioplankton mennyiségileg legjelentősebb tagjai a kokkuszosk voltak, arányuk 1975 óta 90%-nál nagyobb (2. ábra). E csoporton belül is rendkívül figyelemreméltók azok a sejtek, amelyek nem egyedül, hanem lebegő kolóniákban fordulnak elő. A kolóniák java része a szinkron osztódásoknak megfelelő sejtszámokat tartalmazta. A kolóniás baktériumok mennyiségileg is jelentősek voltak, 1975–1977 nyarain például a kokkuszosk baktériumok több, mint 90%-a lebegő kolóniákban fordult elő. 1978–1979 nyarain a kolóniás kokkuszosk aránya főleg az egyedül álló kokkuszosk és pálcikák javára csökkent, de 1980 nyarán jelentőségük ismét nőtt. A többi morfológiai csoport (diplokokkuszosk, pálcika, spirillum, vibrió) mennyisége a nyári baktériumszám 1–2%-át tette ki. Közülük a pálcikák jelentősebbek, mert időnként többféle pálcika is megjelent. Itt jegyzem meg, hogy a különböző morfológiai csoportok megkülönböztetése ma már elektronmikroszkóppal sokkal eredményesebben végezhető (LAPTEVA 1979, ROMANENKO 1979).



2. ábra. A nyári bakterioplankton összetételének változásai 1975 és 1980 között Tihanynál

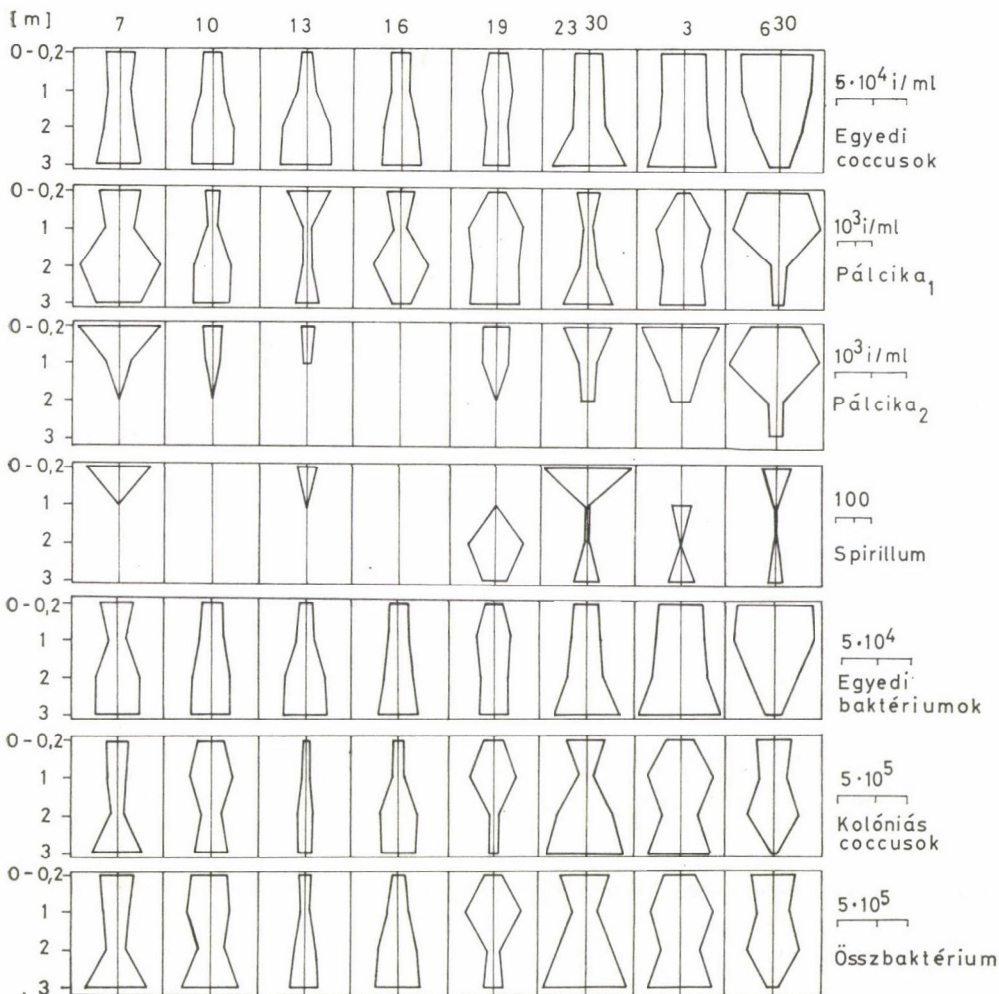


3. ábra. A bakterioplankton összetételének szezonális változásai 1979 november—1981. márciusban Tihanynál



4. ábra. A víz oxigéntelítettségének napi ritmusa 1977. augusztus 9—10-én Tihanynál

TIHANY



5. ábra. A bakterioplankton mélységi eloszlása és dinamikája 1977. augusztus 9—10-én Tihany-nál

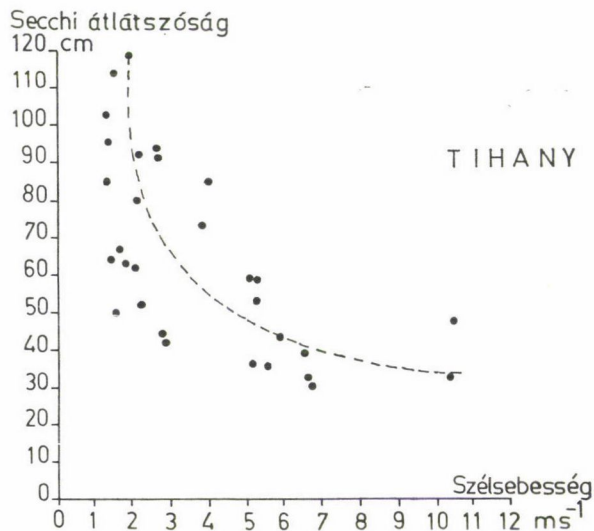
s hogy ezzel kapcsolatban korábban már hazai próbálkozás is történt (OLÁH és mtsai 1972).

1980-ban vizsgáltam a bakterioplankton összetételét szezonálisan is, hogy a nyári kép egész éven át érvényes e (3. ábra). A kolóniás baktériumok aránya tavasszal és nyár elején volt a legnagyobb, arányuk júliustól fokozatosan csökkent. Szeptembertől az egyedül álló kokuszok és pálcikák jelentősége nőtt, a téli hónapokban már ezek száma volt a döntő. Ez a dinamika bizonyos szukcesszióra utal, amely valószínűleg a makrofiták és a nyári fitoplankton őszi degradációjával is kapcsolatos.

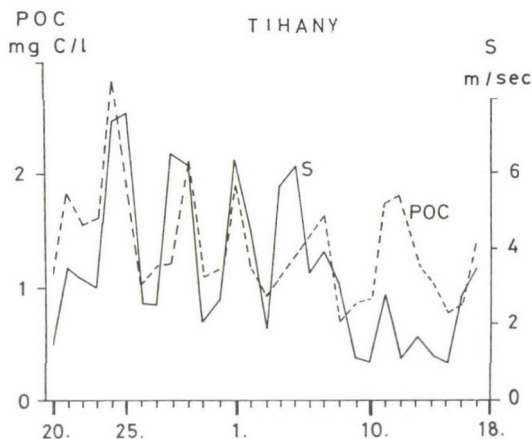
A bakterioplankton korábbi vertikális vizsgálatai szerint (OLÁH 1970, 1973) a baktériumok eloszlása a vízoszlopban változó, labilis és a víz dinamikai viszonyaitól függ. Egyedül télen, jég alatt figyeltek meg szembetűnő mélységi rétegződést.

1977. augusztus 9–10-e, első huszonnégyszeres vizsgálatunk időpontja hosszan tartó napos, szélesenedő időszakba esett. A víz fizikai és kémiai paraméterei szabályos mélységi rétegződést mutattak. A vízhőmérsékleti gradiens például a déli órákban a legfelső 15 cm-ben centiméterenként több tized °C volt. Szabályos ritmusa alakult ki a víz oldott O_2 tartalmának is (4. ábra). A víz %-os O_2 telítettségének huszonnégyszeres változásaiban a legintenzívebb elsődleges termelésre utaló telítettség a déli órákban, az 1 méteres mélységben alakult ki (166%), a minimum ugyanitt éjjel 3 órákor jelentkezett (88%).

A bakterioplankton mennyisége a teljes vízoszlopra vonatkoztatva is és mélységenként is napközben csökkent és éjszaka emelkedett. Az összbaktériumszám napi minimuma pontosan 13 órákor, a legerősebb megvilágítás és a legintenzívebb elsődleges termelés idején, az 1 méteres mélységben alakult ki. A legtöbb baktériumot pedig az éjjel 3 órákor vett mintában találtam. Ez a mennyiségi dinamika minden morfológiai csoportra jellemző volt. A csoportok vertikális eloszlása azonban különbözött. Az egyedi kokkusok száma éjszaka is, nappal is a víz mélyebb rétegeiben volt nagyobb. A pálcikák viszont a középső és a felső rétegben koncentráálódtak. A kolóniás kokkusok megint inkább a mélyebb régiókban tartózkodtak (5. ábra).



6. ábra. A Balaton átlátszósága a tó fölötti szélsebesség függvényében 1977. július—augusztusában Tihanyánál (mindennapos vizsgálatok)



7. ábra. A Balaton-víz partikulált szerves-szén tartalmának (POC) és a szél sebességének (S) rövid periódusú változásai 1976 július—augusztusában Tihanynál

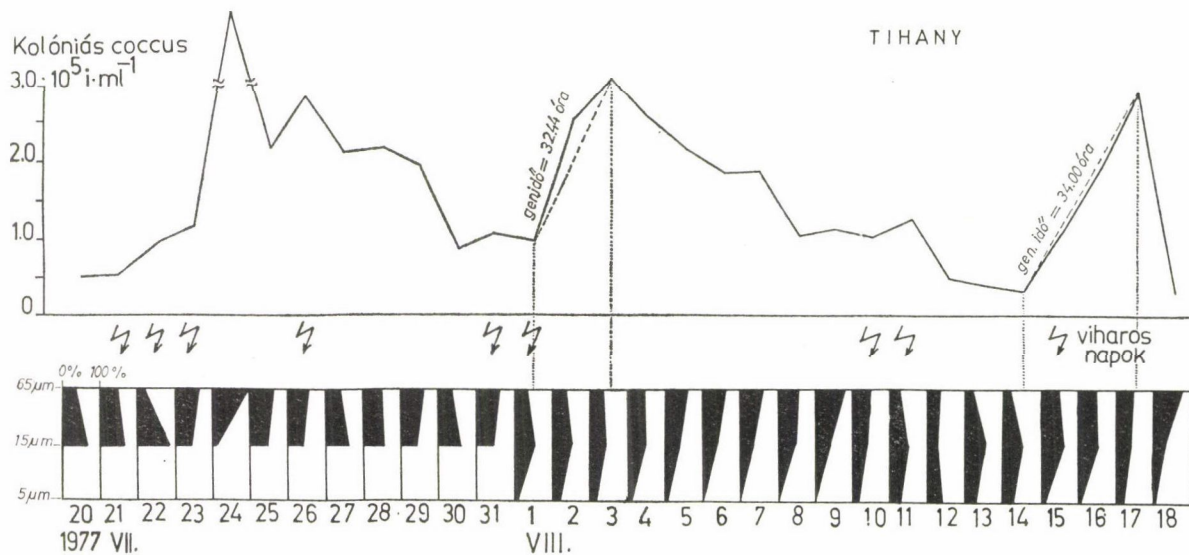
Következő huszonegy órás vizsgálatunk 1978 augusztusában volt. A vizsgálat alatt azonban viharos szél és erős hullámozás lépett fel, s a fizikai, a kémiai paraméterek és a mikroszervezetek vertikális rétegzettsége 1–2 órán belül felbomlott. Az üledék felkeveredett és a bakterioplankton egyenletesen eloszlott a vízoszlopban.

Hosszan tartó csendes idő esetén tehát a bakterioplankton mélységi rétegződése nyáron is kialakulhat, amely azonban széles időben felbomlik. A meleg nyári időszakban kialakuló rétegződés azonban kedvezőtlen hatású lehet, mert a mélyebb rétegekben koncentrálnódó baktériumtömeg ott az anaeróbia kialakulásának irányába hathat.

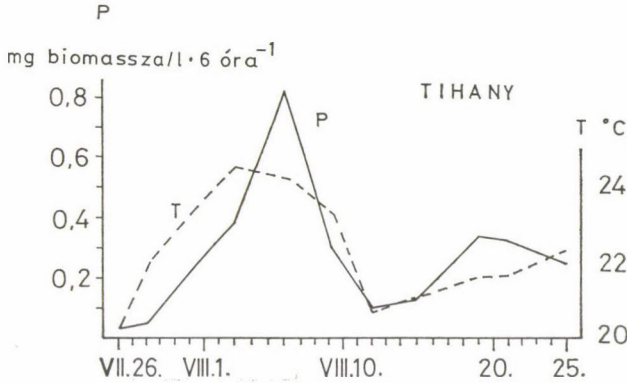
Napról napra bekövetkező változások a bakterioplankton mennyiségében és produktójában

A bakterioplankton mennyiségének mindennapos vizsgálatai szintén elsősorban az időjárási tényezők meghatározó szerepére világítottak rá. A tóvíz fizikai és kémiai jellemzői a szélhatásokra nagyon érzékenyen változtak. A víz Secchi-átlátszósága a növekvő szélereősség hatására a gyors felkeveredések miatt rohamosan csökkent (6. ábra). A lebegtetett partikulált szervesanyag tartalom az üledékben felhalmozódó szerves törmelék felkeveredése folytán széles napokon szintén többszöröseire növekedett (7. ábra).

A felkeveredett és egy ideig a vízben maradó szerves frakciók, s a viharokat követő melegedő időszak a bakterioplankton számára nagyon kedvező körülményeket jelenthet. A lebegő baktériumkolóniákban levő sejtek száma ugyanis mindig a viharokat követve növekedett. A viharos idő utáni 1. napon túlnyomóan az 5 μm -nél kisebb kolóniák, a 2–3. napon a 10–20 μm -es koló-



8. ábra. A lebegő baktériumkolóniák dinamikája. A grafikon a kolóniás baktériumok számának alakulását jelenti, ahol a kolóniákban levő sejtek számát vettem figyelembe. Alul a különböző méretű kolóniák egymáshoz viszonyított %-os arányának alakulása Tihanyánál (1977. július 20–augusztus 1. között a legkisebb kolóniákról nincs adat)



9. ábra. Az egyedül álló baktériumok produktójának és a víz hőmérsékletének rövid periódusú változásai 1978 nyarán Tihanynál

niák, majd még nagyobb kolóniák voltak túlsúlyban (8. ábra). Ezekben a növekvő szakaszokban tapasztaltam a már említett zavartalan szinkron osztódásokat, úgy hogy e „log” fázisokban a generáció időt is meg tudtam becsülni (G.-TÓTH 1980b).

Bizonyos szukcesszióra utal, hogy vihar után egy pácika alakú baktérium egyedszámnövekedését lehetett tapasztalni még a kolóniás baktériumok aktivizálódása előtt.

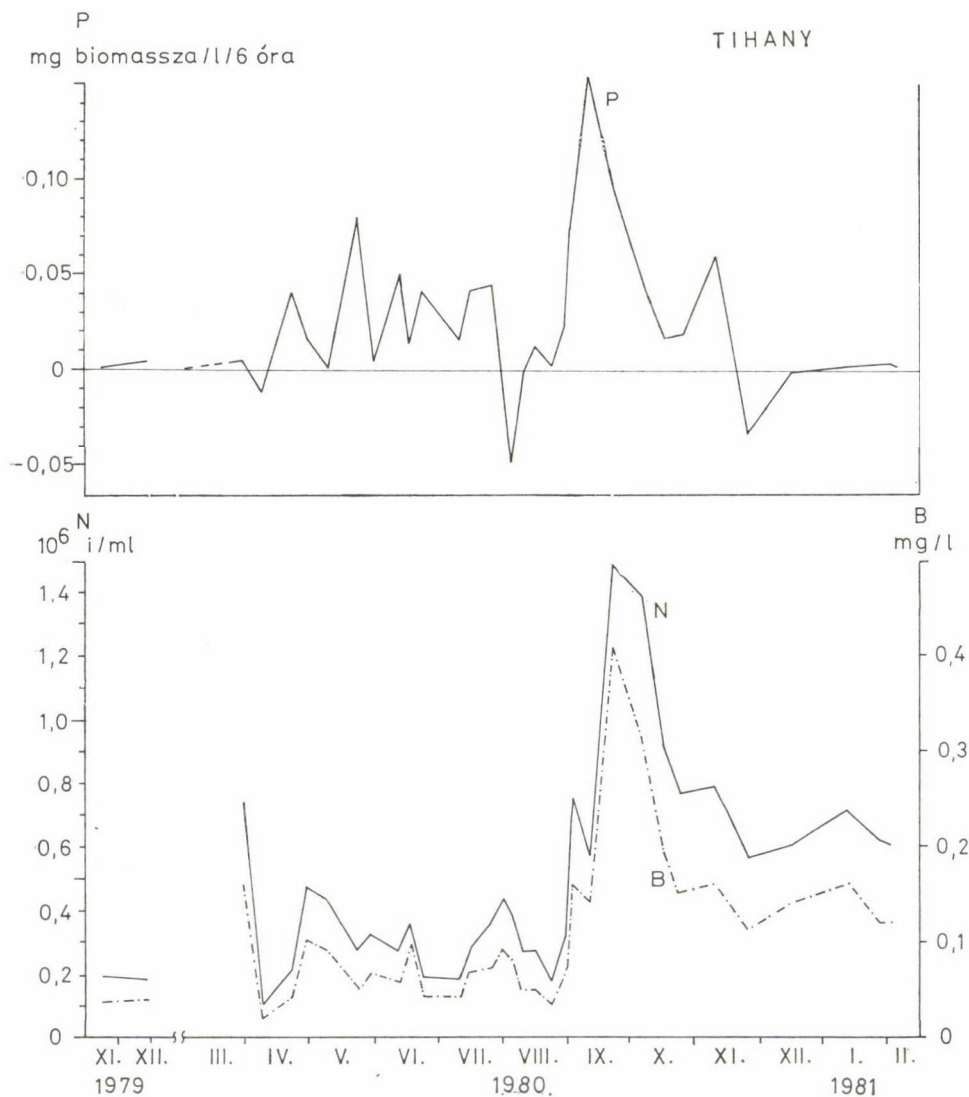
A bakteriális produkció rövid periódusú vizsgálatai során 1978-ban az egyedül álló baktériumok produktója és a víz hőmérséklet alakulása között is kapcsolat mutatkozott (9. ábra). Elképzelhető, hogy míg az együttmaradó planktonbaktériumok szaporodását az üledékből bekeveredő szerves frakciók stimulálják, az egyedül álló sejtek produktóját a víz hőmérséklet növekedése serkenti.

A fitoplankton — bakterioplankton — zooplankton rendszer anyagforgalmának nagyságrendje nyáron, a megvilágított napszakban

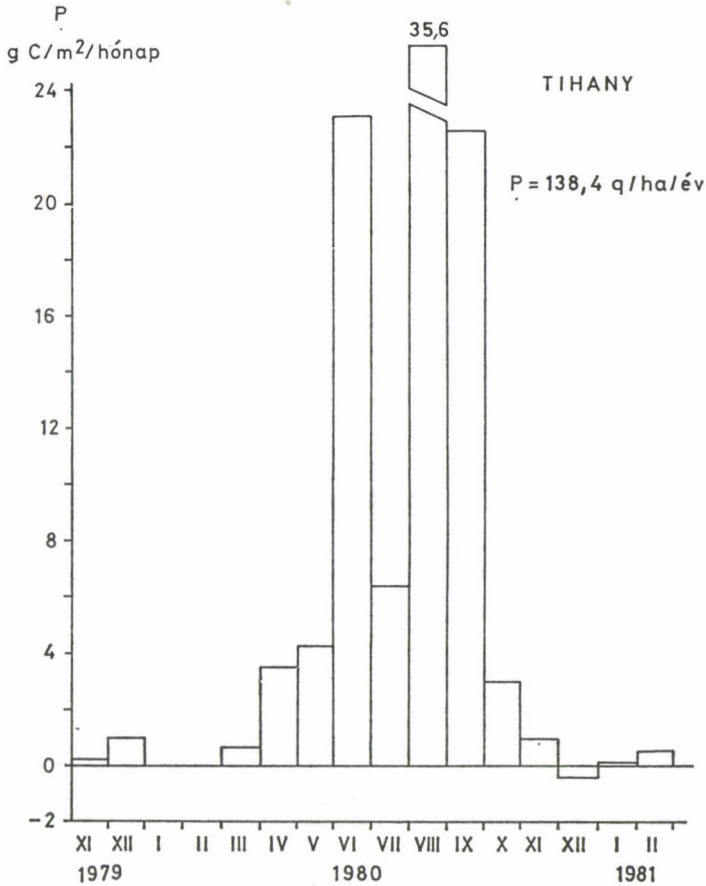
A fitoplankton és a bakterioplankton nettó produktója általában nagyobb volt, mint ahogy azt a biomasszák alapján vártam. Például az egyedül álló baktériumok esetében 6—8 órás generáció időket is mértem, ugyanakkor a mindennapos mintavételekkel kapott nyíltvízi biomassza nem emelkedett ennek megfelelő ütemben. E tapasztalat számos nyílt vízben ható eliminációs tényezőre, így például a zooplankton alga- és baktériumfogyasztására utal.

A produkció, a mortalitás és a zooplankton fogyasztásának nagyságrendi becslésére beállított „in situ” kísérletek (G.-TÓTH 1980a) 1978 nyarán a következő eredményekre vezettek: a megvilágított napszakban az algák által 6 óra alatt megtermelt nettó (tehát extracellulárisan leadott és légzésre rögtön felhasznált mennyiségen kívül fennmaradó) szervesanyag 61,5%-a növelte tény-

legesen a fitoplankton aktuális biomasszáját, 11,1%-át a zooplankton kifalta, s 27,4%-a valamilyen további tényező hatására mortalizálódott. A mortalizálódás üteme $0,051 \text{ mgC/liter} \cdot 6 \text{ óra}^{-1}$ volt. Ugyanekkor a nettó bakteriális termelés $0,054 \text{ mgC/liter} \cdot 6 \text{ óra}^{-1}$ sebességű volt, tehát nagyságrendileg, sőt, egészen pontosan a fitoplankton mortalitásával egyezett meg, azaz az elsődleges termelés 27%-át tette ki. Ez a folyamatosan pusztuló algatömeg gyors mikrobiális lebontására enged következtetni a térségben. Az időegység alatt



10. ábra. Az egyedül álló baktériumok sejtszámának, biomasszájának és produkciójának szezonális változásai 1979 és 1981 márciusai között Tihanynál



11. ábra. A bakterioplankton éves nettó termelése Tihanynál

termelődő bakteriális biomasszának egyébként 22,4%-a növelte a nyílt víz aktuális baktériumtartalmát, 67,5%-a folyamatosan mortalizálódott, s 10,1%-át fogyasztotta el a zooplankton.

A baktériumszám, a biomassa és nettó produkció szezonális alakulása, a bakterioplankton éves termelése

1980-ban a hetes—kéthetes gyakoriságú produkciómérésekkel a nettó bakteriális produkció szezonális változásait, illetve az egy év alatt termelődő bakteriális biomassa nagyságrendjét vizsgáltam. A kolóniás baktériumok dinamikájának említett jellegzetességei e viszonylag ritka mérések során nem jelentkeztek. Sejtszámuk (ennek kiszámításánál a kolóniákban levő sejtek számát vettem figyelembe) és biomasszájuk májusban volt a legnagyobb,

s novemberig fokozatosan csökkent. Kiemelésre érdemes viszont az egyedül álló baktériumok dinamikája. Sejtszámuk, biomassájuk és nettó produktiójuk a nyár elején, de különösen az őszi hónapokban (szeptember—november) emelkedett meg (10. ábra).

Az egyes hónapokra extrapolálva és összegezve az eredményeket (11. ábra), az egész bakterioplankton Tihanynál az 1980 márciusa és 1981 márciusa közötti 12 hónapos ciklusban 138,4 g biomasszát termelt meg hektáronként. Ez az érték a tihanyi elsődleges termelés tükrében az egy év alatt termelődő alga biomasszájának mintegy 40%-a. Figyelemre méltó, hogy ennek a mennyiségnek a fele a nyár végi, őszi három hónapban (augusztus—október) termelődött, ami a bakterioplankton összetételének változásához hasonlóan feltehetően a nyári fitoplankton és a makrofiták őszi degradációjával kapcsolatos.

IRODALOM

- G.-TÓTH, L.: The use of dialyzing sacks in estimation of production of bacterioplankton and phytoplankton. — Arch. Hydrobiol. 84 4, 474—482 (1980a).
- G.-TÓTH, L.: Short-term investigations on the bacterioplankton of Lake Balaton at Tihany. — Act. Bot. Acad. Sci. Hung. 26 (3—4), 425—435 (1980b).
- G.-TÓTH, L.: Az össz-baktériumszám, a bakteriális biomassza és produktó alakulása a Balaton Tihany előtti térségében. — Hidrol. Közl. 4, 183—189 (1981).
- ЛАПТЕВА, Н. А.: Микрофлора озер латвийской ССР. (электронно-микроскопические исследования). — Гидробиол. Журн. Том. XV. вып. 2, 15—22 (1979).
- OLÁH, J.: The quantity vertical and horizontal distribution of the total bacterioplankton of Lake Balaton in 1966/1967. — Annal. Biol. Tihany 36, 185—195 Hungaria (1969).
- OLÁH, J.: Short periodic changes in the microbial plankton quantity of Lake Balaton. — Annal. Biol. Tihany 37, 199—207 Hungaria (1970).
- OLÁH, J.: Weekly changes of the bacterio- and phytoplankton standing stock in Lake Balaton and in the highly eutrophic Lake Belső. — Annal. Biol. Tihany 38, 167—175 Hungaria (1971a).
- OLÁH, J.: Glass effect and the microbial plankton-seson relation in the water of Lakes Balaton and Belső. — Annal. Biol. Tihany 38, 153—160 Hungaria (1971b).
- OLÁH, J.: A bakterioplankton biomasszája és produktója a Balatonban. — Hidrol. Közl. 8, 348—357 (1973).
- OLÁH, J.: Number, biomass and production of planktonic bacteria in the shallow Lake Balaton. — Arch. Hydrobiol. 73 2, 193—217 (1974).
- OLÁH, J., L. TÓTH és Erzsébet, O. TÓTH: Szokatlanul nagy tápanyag terhelés hatása a Balatonra. — Hidrol. Közl. 4, 154—166 (1978).
- OLÁH, J., L. HAJDU and K. ELEKES: Electron microscopic investigation of natural bacterial populations in the water and sediment of Lake Balaton and Lake Belső. — Annal. Biol. Tihany 39, 123—129 Hungaria (1972).
- РАЗУМОВ, А. С.: Прямой метод учёта бактерий в воде. Сравнение его с методом коха. — Микробиол. 131—146 (1932).
- RODINA, A. G.: Methods in aquatic microbiology. — Univ. Park. Press, Baltimore, Butterworth et Co LTD, London 1—476 (1972).
- РОМАНЕНКО, В. И.: Об эффективности обрастания бактериями электронно-микроскопических сеток в поверхностной пленке воды. — Биол. внутр. вод, Информ. Бюлл. Но. 41, 17—20 (1979).
- WINBERG, G. G.: Symbols units and conversion factors in studies of fresh water productivity. — IBP Central Office, London (1971).