

**IX. Erdélyi Tudományos Diákköri Konferencia**

**Kolozsvár, 2006 november 25-26**

”BABEŞ-BOLYAI” TUDOMÁNYEGYETEM, BIOLÓGIA-GEOLÓGIA KAR, BIOLÓGIA SZAK, KOLOZSVÁR

MTA BALATONI LIMNOLÓGIAI KUTATÓINTÉZET, TIHANY

# **AZ EUKARIÓTA ÉS PROKARIÓTA PIKOPLANKTON FOTOSZINTÉZISÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA**

**KÉSZÍTETTE:**

**VANYOVSZKI JÓZSEF** ”BABEŞ-BOLYAI” TUDOMÁNYEGYETEM,

BIOLÓGIA-GEOLÓGIA KAR, BIOLÓGIA SZAK, 3. ÉV

**TÉMAVEZETŐK:**

**DR. VÖRÖS LAJOS** TUDOMÁNYOS TANÁCSADÓ, MTA BALATONI LIMNOLÓGIAI KUTATÓINTÉZET, TIHANY

**DR. FODORPATAKI LÁSZLÓ** DOCENS ”BABEŞ-BOLYAI” TUDOMÁNYEGYETEM, BIOLÓGIA-GEOLÓGIA KAR, KÍSÉRLETI BIOLÓGIA TANSZÉK

**SOMOGYI BOGLÁRKA**, MTA BALATONI LIMNOLÓGIAI KUTATÓINTÉZET, TIHANY

Kolozsvár 2006

Bevezetés .....	3
Irodalmi áttekintés .....	3
Az autotróf pikoplankton felfedezése .....	3
Az autotróf pikoplankton elterjedése és jelentősége .....	4
Az autotróf pikoplankton taxonómiája .....	5
Az eukarióta pikoalgák szezonális dinamikája .....	6
Az autotróf pikoplankton Magyarországon .....	7
A fotoszintézis mérése .....	9
Problémafelvetés, megfejtendő talány .....	10
Célkitűzés .....	10
Anyag és Módszer .....	11
Az izolált törzsek jellemzése .....	11
Az izolált törzsek tenyésztése .....	12
A fotoszintézis mérése .....	13
A kapott eredmények értékelésének módja .....	16
Eredmények .....	17
Eredmények értékelése .....	22
Köszönetnyilvánítás .....	28
Irodalomjegyzék .....	29

# Bevezetés

A fotoautotróf planktonszervezeteknek a vizek bonyolult ökológiai rendszerében betöltött szerepéről sokat olvashatunk különböző tanulmányokban, tudományos értekezésekben, sőt talán a tudományos médiából is elég tájékoztatást kaphatunk a témakörben. E betöltött szerep fontosságát a szakterületen tevékenykedő tudományos társadalom szószólói nem győzik eleget hangsúlyozni. A fotoautotróf planktonikus szervezetek beható, megismerő tanulmányozása szükségessé teszi a fitoplankton felosztását, az ezt alkotó szervezetek csoportosítását.

A fitoplankton régebben kevésbé, vagy egyáltalán nem ismert tagja a pikoalgák csoportja. Ezek a szervezetek napjainkban egyre inkább a limnológiai kutatások fókuszpontjába kerülnek. Az eddigi kutatási eredmények alapján nyilvánvaló, hogy a pikoplankton igen jelentős szerepet tölt be a vizek elsődleges szerves anyag termelésében, sőt, bizonyos környezeti feltételek mellett egyes élőhelyeken kizárólagos képviselői a fotoautotróf planktonikus szervezeteknek.

2006 augusztus 1 és 26 között alkalmam nyílt a Magyar Tudományos Akadémia Balatoni Limnológiai Kutatóintézetében (Tihany) a Hidrobotanika Osztály egyik pikoalgákkal foglalkozó vizsgálatsorozatába bekapcsolódnom, és abban aktív munkával részt vennem. Az alábbi dolgozatban szeretném bemutatni a vizsgálatok célját, háttérét valamint elért eredményeinket.

## Irodalmi áttekintés

### **Az autotróf pikoplankton felfedezése**

A plankton felépítő tagjaik legnagyobb kiterjedési mérete alapján méretcsoportokra osztották. Többféle és többé-kevésbé eltérő osztályozás létezik. Az utóbbi időben vált népszerűvé a következő felosztás (Sieburth et al., 1978).

Csoport	Méret ( $\mu\text{m}$ )
Pikoplankton	0,2-2,0
Nanoplankton	2,0-20
Mikroplankton	>20

A 20  $\mu\text{m}$ -nél kisebb planktonikus organizmusok jelenlétét először Lohmann (1911), fedezte fel, nanoplanktonként nevezve őket. Később Rodhe (1955) svédországi szubarktikus

tavakban leírta a "μ-algákat". Ebbe a méretterományba tartozó algákra használták az angol "little round green things" (LRGT) vagy a kis kokkoid *Chlorella* - szerű sejtek (Pearl 1977) elnevezéseket. Verduin (1956) kísérletileg kimutatta, hogy a tavakban a fotoszintetikus aktivitásnak egy nagy része olyan organizmusoknak köszönhető, amelyek áthaladnak a 64 μm pórusátmérőjű planktonhálón. Bailey-Watts társaival (1968) együtt limnológiai vizsgálatait a kis cianobaktériumokra összpontosította (pikoplankton), jelentős komponensei lévén úgy a tápanyag, mint a szénforgalomnak.

A pikoplankton terminust eredetileg az autotróf és heterotróf élőlények együttes megjelölésére használták, hasonlóan más kategóriákhoz, de használata a bakteriológiában nem terjedt el. Pikoplankton elnevezéssel ma kizárólag a pro- és eukarióta fotoautotróf mikroorganizmusokat jelölik (Stockner & Antia, 1986).

### **Az autotróf pikoplankton elterjedése és jelentősége**

Két évtizeddel ezelőtt két amerikai oceanográfiai laboratórium egyidejűleg közölte a fotoautotróf pikoplankton széleskörű elterjedését az Atlanti-óceánból (Johnson & Sieburth, 1979; Waterbury et al., 1979). Az ezt követő rendkívüli gyorsasággal kiterjedő kutatásoknak köszönhetően alig egy évtized múlva kiderült, hogy nincs olyan zuga a világtengereknek, ahonnan ezek a legparányibb fotoautotróf szervezetek hiányoznának (Stockner, 1988). Az epifluoreszcens mikroszkópiát eredetileg a plankton kutatásban a heterotróf baktériumok mennyiségi vizsgálatára vezették be (Hobbie et al., 1977). Azonban rövidesen ez az eljárás tette lehetővé az autofluoreszcenciával rendelkező bakteriális méretű fotoautotróf szervezetek kimutatását, mennyiségi és korlátozott hatókörű minőségi vizsgálatát is. A parányi méretű fotoautotróf planktonszervezetek édesvízi jelenlétének felismerése a hetvenes években úgyszintén megtörtént, de a minden kétséget kizáró modern epifluoreszcens mikroszkópi vizsgálatok csak a tengeri alkalmazást követően a nyolcvanas években terjedtek el, igaz, hogy akkor rendkívüli gyorsasággal.

A nyolcvanas évek elején az egész világon, így Európában is az édesvízi pikoplanktonról csak szórványos, a kuriozításokra (extrém körülmények) korlátozódó ismereteink voltak (Stockner, 1988). Azonban csakhamar bebizonyosodott, elsősorban kanadai és egyesült államokbeli kutatások alapján, hogy a pikoplankton integráns részét képezi a mesterséges és természetes állóvizek planktonegyüttesének. Első észlelésüknél, jelenlétük kimutatásánál is figyelemreméltóbbnak bizonyultak azok a mérési eredmények, amelyek először bizonyították, hogy hozzájárulásuk a fitoplankton elsődleges szervesanyag termeléséhez olyannyira számottevő, hogy egyes oligotróf tengeri területeken eléri az összes produkció 90%-át, míg oligotróf kanadai tavakban ez az érték 70% volt (Stockner & Antia,

1986). Elmondhatjuk, hogy a számos nyilvánvaló különbség ellenére a tengerek és tavak fitoplanktonja sok tekintetben hasonlít egymásra, az autotróf pikoplankton (túlnyomórészt pikocianobaktériumok) jelentős szerepet tölt be a vízi ökoszisztémákban. Ha elfogadjuk azt a feltételezést, mely szerint a Föld oxigéntermelésének mintegy 1/3-ad része tulajdonítható a vízzel borított területeknek (óceánok, tengerek, tavak) és ezekben a vízi ökoszisztémákban a pikoplankton átlagban a szerves-anyag termelés felét adja, könnyen belátható, hogy ezek az 1-1,5  $\mu\text{m}$  átmérőjű mikroorganizmusok milyen fontos szerepet töltenek be a bioszférában.

A pikoplankton szervezetek egy része kolóniákat képez, melyek némely esetben a hagyományos taxonómia módszerével kezelhetők. Azonban az észlelt mikrokolóniák többségére legfeljebb csak olyan állítások adhatók meg, mint pl. *Aphanothece*-szerű kolóniák (MacIsaac & Stockner, 1993). A kolóniák mérete szükségszerűen meghaladja a piko - méret felső határát, a 2  $\mu\text{m}$ -t ezért egyesek ezeket kizárják a pikoplankton kategóriából (Komarek, 1996), amiben formálisan igazuk is van. Másrészt, tekintetbe kell azt is venni, hogy a planktonszervezetek méret szerinti osztályozásának önkényesen megvont határai nem mindig felelnek meg a természetben lévő méreteloszlásnak. Ez érvényes a pikoplanktonra is, ahol gyakran előfordul, hogy a 0,8-1,2  $\mu\text{m}$  átmérőjű cianobaktériumok 2-4-8-16 sejtje osztódás után együtt marad. Némely esetben nyilvánvaló, hogy ugyanarról a szervezetről van szó, amely ily módon a piko- és a nanoplankton kategóriába egyaránt belekerül. A kolónia méretére vonatkozó megfontolások mellett meghatározó jelentőségű az a módszertani szempont is, hogy az 1  $\mu\text{m}$  körüli mérettartományba eső sejtekből felépülő kisebb-nagyobb kolóniák (néhány kivételtől eltekintve) a hagyományos fénymikroszkópos módszerrel mint fotoautotróf mikroorganizmusok nem azonosíthatók. Ezek a bakteriális méretű egysejtű és kolóniás szervezetek egyértelműen csak epifluoreszcens mikroszkóppal ismerhetők fel, ezért ez a körülmény is indokolja egy kategórián belüli tárgyalásukat.

Fluoreszcens mikroszkóppal morfológiájuk részleteiben nem vizsgálható, de ez nem jelenti azt, hogy bizonyos szintű taxonómiai értékkel is bíró megállapításokat ne tehetnénk. A módszer lehetővé teszi az eukarióta és prokarióta sejtek megkülönböztetését, az utóbbiak esetén pedig világosan megkülönböztethetők a fikoeritrin és fikocianin pigment dominanciájú formák.

### **Az autotróf pikoplankton taxonómiája**

A pikoplankton szervezetek meghatározása morfológiai alapon a legtöbb esetben nem lehetséges a kis méret és a morfológiai bélyegek szűkössége miatt. A tenyésztési eljárásokra alapozott molekuláris taxonómiai módszerek lehetővé teszik a csoport tagjainak azonosítását

(Kane et al., 1997), emellett a fluoreszcens „in situ” hibridizáció segítségével a természetes pikoplankton közösségek taxonómiai vizsgálata is lehetővé válik (Worden, 2000; Simon, 2000; Not, 2002).

A vizsgált tengerek és édesvizek többségében a pikoplankton állományának túlnyomó részét az 1  $\mu\text{m}$  átmérőjű (0,8-1,2  $\mu\text{m}$ ) cianobaktériumok teszik ki, emellett előfordulnak eukarióta mikroorganizmusok is, melyek mérete általában meghaladja a cianobaktériumokét, de mennyiségük rendszerint nagyságrenddel kisebb. Jelenlegi tudásunk szerint a pikocianobaktériumok többsége a *Synechococcus* és a *Synechocystis* illetve a *Prochlorococcus* nemzetségbe tartozik. A *Prochlorococcus* sejtek mérete közel azonos a legkisebb cianobaktériumokéval, de azokkal ellentétben tartalmaznak klorofill-b-t is, és hiányoznak belőlük a fikobiliproteinek. Édesvizekben egyértelmű bizonyítást mind a mai napig nem nyert a proklorofiták jelenléte, bár előfordulásuk valószínűsíthető (Stockner & Shortreed, 1991; Corzo et al., 1999). A pikoeukarióta csoport tagjairól mindmáig keveset tudunk, ámbar egyes szerzők szerint tengeri területeken az elsődleges szerves anyag termelés jelentős hányadáért ez a csoport felelős a pikoplankton frakción belül (Li, 1994; Worden, 2004). Az eddig megismert édesvízi pikoeukarióták nagy része a *Chlorophyta* törzsbe tartozik (Hepperle & Krienitz, 2001; Hepperle & Schlegel, 2002; Belykh, 2000).

### **Az eukarióta pikoalgák szezonális dinamikája**

A pikoeukarióták a mérsékelt éghajlati övben sajátos szezonális dinamikát mutatnak, ősszel megjelennek és egészen nyár elejéig dominálnak a pikoplankton frakción belül, míg helyüket átveszik a cianobaktériumok (Porter et al., 1988; Søndergaard, 1991; Malinsky-Rushansky et al., 1995). Az eukarióta pikoalgák szezonális dinamikájának erőteljes hőmérsékletfüggését mély tavakban, sőt tengerekben is megfigyelték (Waterbury et al. 1986, Caron et al. 1985). A hőmérséklet csökkenés, illetve a tápanyag koncentráció növekedés hatására a prokarióta pikoalgák egyedsűrűsége csökken, és helyét fokozatosan felváltják a pikoeukarióták. Az oligotróf Huron és Michigan tavak esetében a tavaszi pikoalga abundancia maximum az eukarióta pikoalgáknak köszönhető, amikor a vízhőmérséklet a minimum értékhez közeli (Fahnenstiel et al., 1991; Fahnenstiel & Carrick, 1992). Pick & Agbetti (1991) különböző trofitású (oligotróftól mezotrófig) Kanadai tavak megfigyelése során pozitív korrelációt tapasztaltak az eukarióta pikoplankton egyedsűrűség és a vertikális extinkciós koefficiens növekedése között. Malinsky-Rushansky és mtsai. (1995) a mezo-eutróf mély Kinneret tavon végzett több éves kutatásaik során (1988-1992) arra a következtetésre jutottak, hogy a fitoplankton kiemelkedően fontos és minden mélységben megtalálható alkotóinak, a

pikocianobaktériumoknak az egyedszáma télen és tavasszal alacsony, a maximális abundanciát nyáron-ősszel éri el miután az éves páncélos-ostoros moszat virágzás lezajlott az epilimnionban. Vizsgálataikból kiderül, hogy a Kinneret tóban a pikoeukarióták kevésbé fontos alkotói a pikoplanktonnak és főleg télen és tavasszal figyelhetőek meg majd a *Peridinium* vízvirágzását követően eltűnnek, hogy őszi végén vagy tél elején ismét megjelenjenek.

Az előbbieken ismertetett szezonális dinamika okainak feltárása laboratóriumban végzett ökofiziológiai vizsgálatok segítségével lehetséges. A Kinneret-tó kapcsán már végeztek hasonló vizsgálatokat. A Kinneret tóból izolált két pikocianobaktérium (*Synechococcus* A és B) valamint egy pikoeukarióta (*Mychonastes homosphaera*) törzs fiziológiai vizsgálata során azt találták, hogy a pikocianobaktériumok növekedési rátája magasabb volt a nyári időszakra jellemző magasabb hőmérsékleten, ezzel szemben a pikoeukarióta *M. homosphaera* növekedési rátája a tavaszi időszakra jellemző (14°C) hőmérsékleten volt magasabb. Ezek az eredmények alátámasztják, hogy a Kinneret tóban a hőmérséklet döntő szerepet játszik a pikoeukarióták és pikocianobaktériumok szezonális dinamikájában (Malinsky-Rushansky et al., 2002).

### **Az autotróf pikoplankton Magyarországon**

Magyarországon 1985-ben vezették be az epifluoreszcens módszert a bakterioplankton és fitoplankton kutatásában, mely segítségével lehetségessé vált a pikoplankton vizsgálata a hazai sekély tavakban. Kiderült, hogy a Balatonban a piko-méretű fotoautotróf szervezetek abundanciájukat tekintve egy-két nagyságrenddel felülmúlják a nagyobb algákat. A jégmentes időszakban a pikoplankton túlnyomó többségét a fikocianin és fikoeiritrin pigmentdominanciájú kokkoid cianobaktériumok alkották (Vörös, 1987-88). Más hazai sekély tavakban végzett vizsgálatok alapján a fotoautotróf pikoplankton a Balatonban mért értékekhez hasonló számban mindenütt előfordult (Vörös, 1987-88). A Balatonban 1986-ban vizsgálták a pikoplankton részvételét a fitoplankton elsődleges szerves anyag termelésében. Az akkor hipertróf Keszthelyi-medencében a pikoplankton hozzájárulása a fitoplankton termeléséhez széles határok között (1-57 %) változott a nyári fonalas nitrogénkötő cianobaktériumok tömegtermelésével szemben. A kevésbé eutróf Siófoki-medencében a pikoplankton hozzájárulása tartósan nagyon jelentős (43-56 %) volt (Vörös, 1989). Ez az eredmény összhangban áll a tengeri pikoplankton vizsgálatok során kapott magas részarányokkal és mutatja, hogy a tengerek és tavak fitoplanktonja a nyilvánvaló különbségek ellenére sok tekintetben hasonlít egymásra.

A Balatonban először 2003 telén figyelték meg, hogy az alacsony hőmérséklet és fényszegény környezet ellenére gazdag pikoalga népeség alakult ki a jéggel fedett tóban (Mózes, 2004). A fitoplankton összes biomasszája mind a Siófoki- mind a Keszthelyi-medencében alacsony értéket mutatott, de a pikoplankton részesedése az összes biomasszából igen magas (46-50 %) volt (Mózes és Vörös, 2006). Az eutróf Keszthelyi-medencében a pikoplankton abundanciája megközelítette a nyári időszakra jellemző magas értéket, mely a befagyott tóban jelentős mértékben elszaporodott fikobiliprotein-hiányos (pikoeukarióta) sejteknek volt köszönhető. A pikoeukarióta sejtek részesedése a Keszthelyi-medencében meghaladta az összes egyedszám 90%-át. A Siófoki-medencében a pikoeukarióta sejtek abundanciája a jég alatt a Keszthelyi-medencéhez hasonlóan igen magas volt, itt az összegyedszám 81%-át érte el. Az eukarióta pikoalgák télen, illetve tavasszal fordultak elő jelentősebb mennyiségben. A jégborítás megszűntével fokozatosan eltűntek, a 6-7 °C-nál melegebb vízből már teljesen hiányoznak, helyüket pedig átvették az év túlnyomó részében domináns, fikocianin és fikoeritrin tartalmú cianobaktériumok (Mózes és Vörös, 2006). Az eukarióta autotróf pikoplankton dinamikájával kapcsolatos adatok összhangban állnak a szakirodalomban fellelhető eredményekkel (Søndergaard, 1991; Fahnenstiel, 1991; Fahnenstiel & Carrick, 1992; Pick & Agbetti, 1991; Hepperle & Krienitz, 2001), ugyanakkor a 2003 februárjában a Keszthelyi-medencében észlelt kiemelkedő pikoeukarióta abundancia érték az eddigi ismeretek alapján a legmagasabb szakirodalmi adatnak tekinthető (Mózes és Vörös, 2004).

A szikes tavak élővilága kutatásának sok évtizedes hagyománya van Magyarországon, nem jelent ez alól kivételt algaviláguk sem. Első ízben Schmidt (1999) hívta fel a figyelmet (adatok közlése nélkül) a piko-méretű fotoautotróf szervezetek időszakos tömeges elszaporodására a felső-kiskunsági szikes tavakban. A fehér vizű szikes tavak kemizmusát alapvetően a nátrium és hidrogénkarbonát-ionok ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) túlsúlya jellemzi, de jelentős bennük a klór-ion ( $\text{Cl}^-$ ) mennyisége is, pH értékük jellemzően 9-10 körüli. A fajlagos elektromos vezetőképesség maximális értéke alapján ezek a tavak a hiposzalin kategóriába sorolhatók (Vörös et al., 2006). Vörös és mtsai. 2001-ben végezték el a fitoplankton mennyiségi és minőségi vizsgálatát három Duna-Tisza közti szikes tóban (Vörös et al., 2005). Mindegyik vizsgált tó esetén a biomassza túlnyomó részét (akár 100%) vörösen fluoreszkáló, magányos kokkoid pikoplankton képezte. A felszíni vizek között sajátos típusú képviselő szikes tavak pikoplankton gazdagsága önmagában is egyedülálló, azonban egyedülálló abban a tekintetben is, hogy hasonló trofitású tavakban részesedésük töredéke az ezekben észlelteknél (Vörös et al., 2005). Tavasszal és ősszel a pikoplankton állományának túlnyomó részét pikoeukarióta, míg nyáron pikocianobaktérium sejtek alkották (Vörös et al., 2005),



mely mutatja, hogy a Duna-Tisza közti szikes tavak pikoplanktonja a Balatonhoz (és más tavakhoz) hasonló szezonális dinamikát mutat.

### **A fotoszintézis mérése**

A sötétben természetesen nincs fotoszintézis (P), így a sejtlégzés következtében  $O_2$  fogyasztás és  $CO_2$  termelés figyelhető meg. Ahogy a fényintenzitás (I) fokozatosan nő, az  $O_2$  termelés és  $CO_2$  fogyasztás kerül előtérbe, ezt a folyamatot az ún. fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbével jellemezhetjük.

Az elsődleges termelés intenzitása meghatározható a megkötött  $CO_2$ , vagy felszabadult  $O_2$  mennyiségének mérésével. A folyamat egyenletének sztöchiometriája szerint egy  $O_2$  felszabadulása esetén egy  $CO_2$  kerül megkötésre. A megkötött  $CO_2$  mennyiségének vizsgálata  $C^{14}$  módszerrel történik. Az eljárás lényege, hogy a vízmintákhoz  $NaH^{14}CO_3$ -t adunk, majd bizonyos idő után meghatározzuk az algák által felvett radioaktivitást. Ebből és a vízminta összes szerves szén tartalmából kiszámítjuk a fotoszintézis során megkötött szenet. Az oxigén módszer segítségével egyszerűen meghatározhatjuk a keletkezett  $O_2$  mennyiségét. Az oxigén módszer előnye, hogy a méréshez nem kell izotópot használnunk, közvetlen mérhetjük a keletkezett oxigén mennyiségét (emellett sötét palack segítségével a légzés során elhasznált oxigént), valamint az izotóptechnikával szemben a módszer sokkal egyszerűbb és gyorsabb. Ugyanakkor alacsony produktivitású vizekben az oxigén módszer nem alkalmazható, mivel nem elég érzékeny a kis változások detektálásához.

A természetes fitoplankton mintában a pikoplankton fotoszintézisének meghatározása során a teljes vízmintát inkubáljuk  $NaH^{14}CO_3$ -al, majd szűréssel elválasztjuk a pikoplanktont a nagyobb algáktól. Epifluoreszcens módszerrel meghatározzuk a pikoalgák abundanciáját az átszűrt és a szűretlen frakcióban és az arány figyelembevételével számítjuk ki a pikoplankton elsődleges termelését (Somogyi & Vörös, 2006). Ezzel szemben laboratóriumban izolált pikoalga törzsek segítségével oxigén módszerrel mérhetjük a pikoalgák fotoszintézisét, összevethetjük az egyes pikoalga törzsek ökofiziológiai tulajdonságait és ezek alapján következtethetünk a vízi ökoszisztémában betöltött szerepükre.

A fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbét három szakaszra oszthatjuk. Az első szakaszban az elsődleges termelés a fényintenzitással lineárisan növekszik (a fotonok abszorpciója lassabb, mint a fotoszintetikus apparátusban végbemenő elektron-transzport). A következő szakaszban a növekvő fényintenzitással a produkció elér egy telítési, ún. fényszaturációs szakaszt (ebben a szakaszban a fotonok abszorpciója meghaladja az elektrontranszport mértékét). A fény intenzitás további növelésével a produkció a

fényszaturációs szint alá csökken, ezt a jelenséget fotoinhibíciónak vagy fénygátlásnak nevezzük. A fotoszintézis-fényintenzitás görbét több paraméterrel jellemezhetjük: ezek a maximális fotoszintetikus ráta ( $P_{max}$ ) amelyet egységnyi klorofillra vonatkoztatunk, a fénytélítési paraméter ( $I_k$ ), a maximális fényhasznosítási koefficiens ( $\alpha$ ) mely a görbe lineáris részén megegyezik a fotoszintézis/fényintenzitás hányadosával, valamint a fénygátlási paraméter, amely a fénygátlás mértékét adja meg (Kirk, 1994).

Az oldott oxigén lumineszcencia mérésén alapuló módszer (LDO: luminescent dissolved oxygen) egy viszonylag új eljárás az elsődleges termelés meghatározására. Lényege egy teljesen új, optikai mérésmódszer: egy oxigénérzékeny réteget kék diódával világítanak meg, melyre válaszul a réteg némi késleltetéssel piros fényt ver vissza. A megvilágítás és a visszaverődés között eltelt idő adja meg az oxigénkoncentráció mértékét. A hagyományos elektrokémiai módszerrel szemben az LDO szenzor sokkal nagyobb pontosságot és megbízhatóságot nyújt, egyszerű működtetni és karban tartani, nincs anód vagy elektrolit oldat fogyás, valamint az automata leolvasási rendszerrel kiküszöbölhető a mérést végző kutató szubjektivitása. További előnye az elektrokémiai szenzorokkal ellentétben az optikai eljárás nem fogyaszt oxigént.

### **Problémafelvetés, megfejtendő talány**

A prokarióta és eukarióta pikoplankton szabályos szezonális dinamikát mutat, de mi lehet ennek az oka? Ezt a kérdést csak kísérletes úton lehet megválaszolni. Vizsgálataink tárgyául a Duna-Tisza közti szikes tavakból izolált pikoalga törzseket választottuk. És, hogy miért éppen a szikes tavakból? Nagyon egyszerű, a szikes tavak fitoplanktonja csaknem 100%-os pikoalga dominanciát mutat.

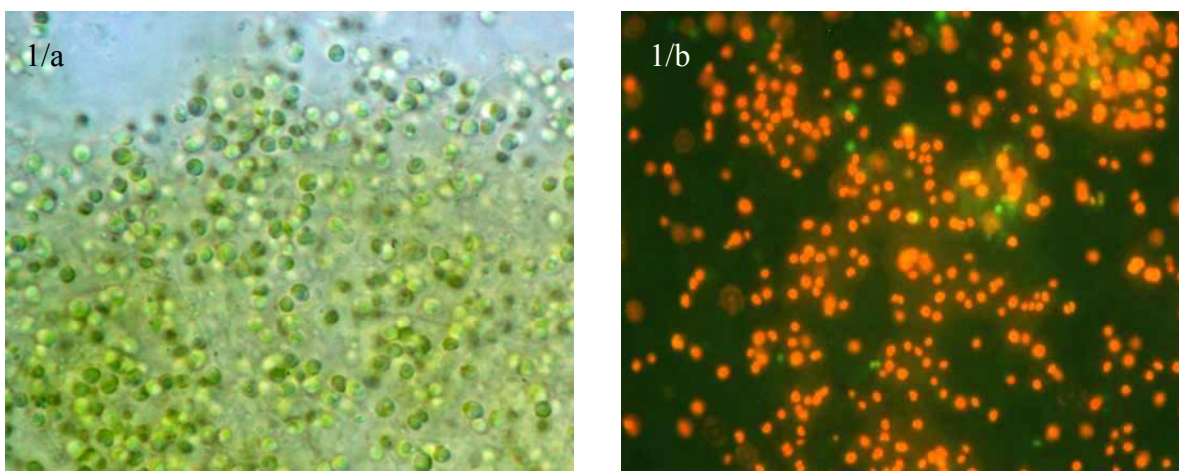
### **Célkitűzés**

2005 decemberében az MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézetben eukarióta és prokarióta pikoalga törzseket izoláltak Duna-Tisza közti szikes tavakból. Célul tűztük ki a Böddi-székből izolált ACT0608-as törzsszámú pikoeukarióta és az ACT0616-os törzsszámú pikocianobaktérium törzs fotoszintézisének vizsgálatát, a fotoszintetikus paraméterek összehasonlítását különböző hőmérsékleti és fényviszonyok között. A laboratóriumban végzett vizsgálatok segítségével megkíséreljük feltárni a pikoplankton szezonális dinamikájának okait.

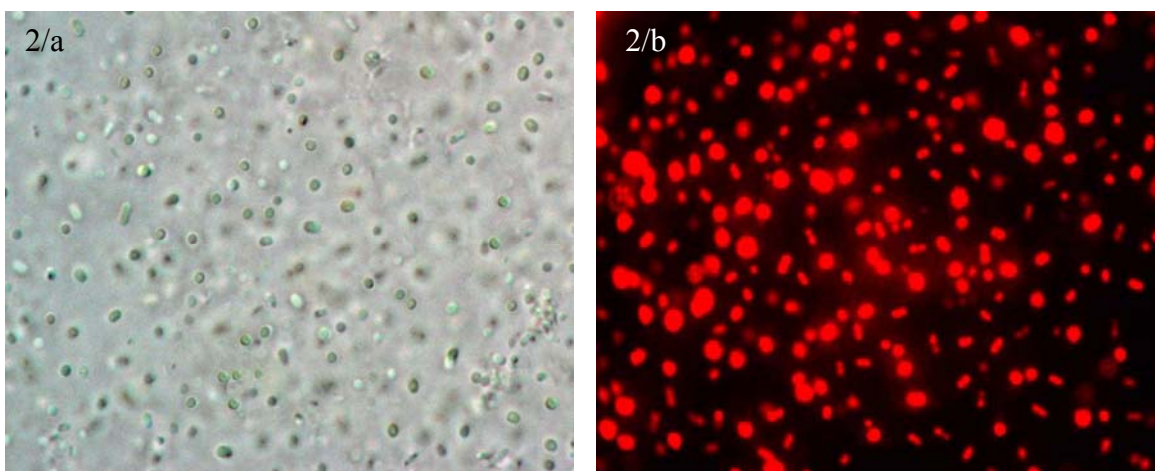
# Anyag és Módszer

## Az izolált törzsek jellemzése

A vizsgálatainkhoz kiválasztott pikoeukarióta és pikocianobaktérium törzs a Duna-Tisza közti szikes tavak közül a Böddi-székből vett vízmintából lett izolálva. Az izoláláshoz a vízmintavétel 2005. december 12-én történt (Somogyi Boglárka, szóbeli közlés). Az ACT0608-as törzsszámú (Algal Culture Tihany = ACT) pikoeukarióta törzset gömb alakú magányos sejtek jellemzik, melyek átmérője 1,5-2  $\mu\text{m}$  (1. ábra). A sejtek klorofill-a tartalma 32 fg/sejt volt, ez biomasszára vonatkoztatva 1%-ot jelentett. Az ACT0616-os törzsszámú pikocianobaktérium törzs ellipszoid sejtjeinek hossza 1,2  $\mu\text{m}$ , szélessége pedig 0,8  $\mu\text{m}$  (2. ábra). A sejtek klorofill-a tartalma 5,2 fg/sejt volt, ez biomasszára vonatkoztatva viszont ugyancsak 1%-ot jelentett.



**1. ábra:** Az ACT0608 pikoeukarióta törzs fény- (1/a) és fluoreszcens mikroszkópos (1/b) képe.



**2. ábra:** Az ACT0616 pikoeukarióta törzs fény- (2/a) és fluoreszcens mikroszkópos (2/b) képe.

## Az izolált törzsek tenyésztése

Az izolált törzsek tenyésztése „brackish water medium” (BWM) tápoldatban történik, buborékolatva, 21°C-on (3. ábra). A tápoldat alapját a Göttingeni alga törzsgyűjtemény (SAG= Sammlung von Algenkulturen der Universität Göttingen) Culture Media listáján megtalálható BWM tápoldat képezi, ugyanakkor az eredeti tápoldat összetételét a szikes tavakra jellemző vezetőképesség és pH értékre módosították (1. táblázat) (Somogyi Boglárka, szóbeli közlés).

1. táblázat: A tenyésztéshez és a kísérletek során használt tápoldat összetétele

	A vegyület koncentrációja (g/100ml)	Az oldat térfogata a tápoldat egy literében (ml)
KNO <sub>3</sub>	1	20
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,1	20
MgSO <sub>4</sub> * 7H <sub>2</sub> O	0,1	20
Talajkivonat		30
Mikroelem oldat		5
Desztillált víz		450
Szűrt szikes tóvíz		455

A tápoldat készítéséhez szükséges szűrt szikes tóvíz a Duna-Tisza közti Kastély-tóból származott, a vízminztát GFC üvegrost filteren szűrtük az algák eltávolítása végett. A kész tápoldat vezetőképességét 5000 µS értékre állítottuk NaCl és NaHCO<sub>3</sub> oldatok segítségével, a pH-t pedig 0,1 N HCl-al 8-ra állítottuk.

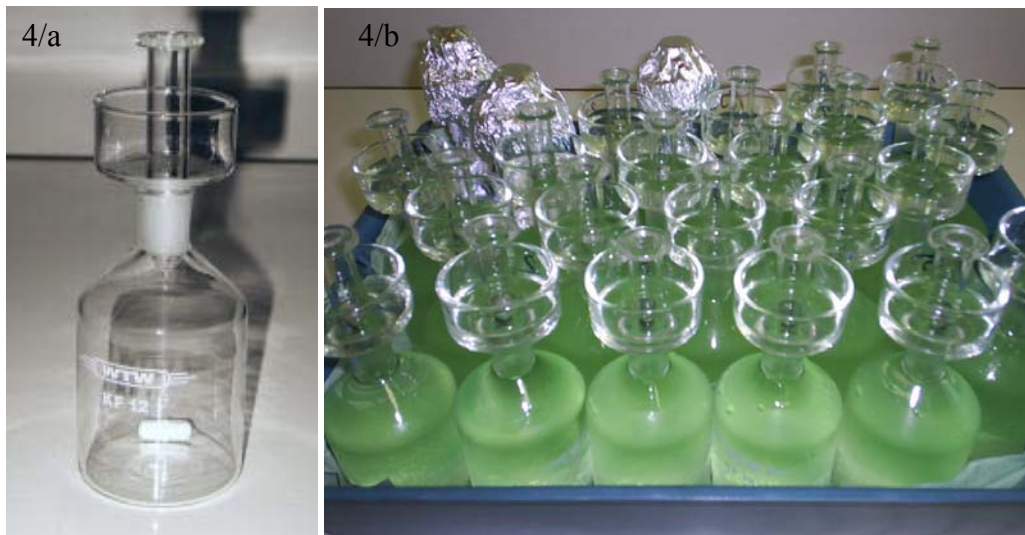


**3.ábra:** A 21 °C-on buborékoltatva fenntartott törzstenyészet

A 21 °C-on fenntartott törzstenyészetből 35 ml inokulumot adva 700 ml BWM tápoldathoz a hőmérséklet napi 1°C-os változtatásával hat különböző hőmérsékleten (10, 15, 21, 26 és 30 °C) 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{sec}^{-1}$  fényintenzitáson szaporítottuk a fotoszintézis méréséhez az algákat.

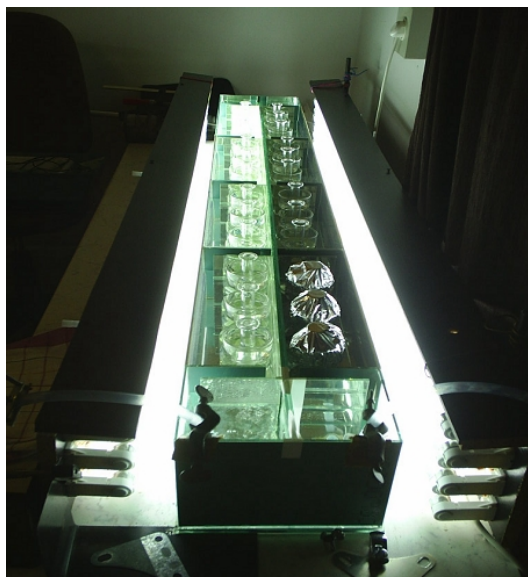
#### **A fotoszintézis mérése**

A fotoszintézis mérése oxigén módszerrel történt adott hőmérsékleten (10, 15, 21, 26 és 30°C), hét különböző fényintenzitáson (15-1200  $\mu\text{mol/m}^2/\text{sec}$ ). A méréshez ú.n. Carlsruhe-edényeket használtuk. Ezekben az edényekben a mérés során az alga szuszpenzió nem érintkezik levegővel a speciális üveg dugó miatt, mely kiszorítja az összes levegőt az inkubáló edényből (4. ábra).



4. ábra: A Calsruhe-edény üresen (4/a) és algaszuszpenzióval megtöltve (4/b)

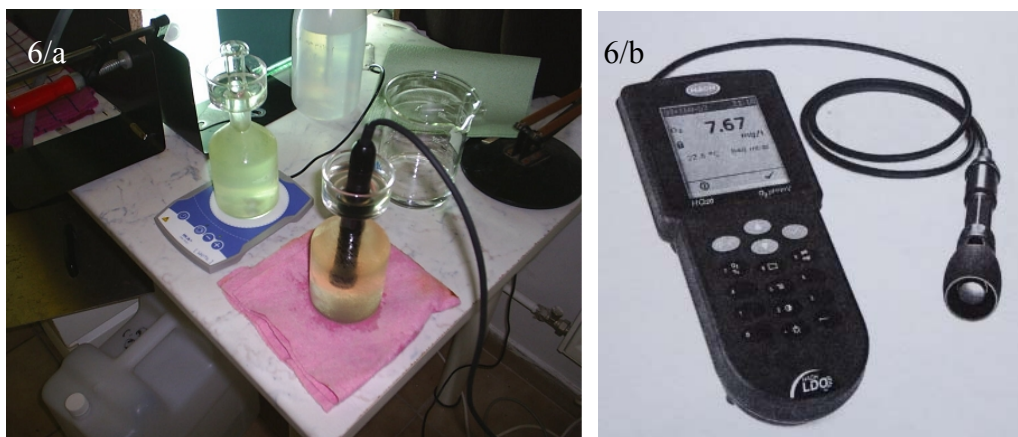
Az inkubációt az Üveges és munkatársai által tervezett és elkészített inkubátorban végeztük el. Az inkubátor állandó hőmérsékletét, valamint a víz keringetését a NESLAB RTE-211 típusú ultratermosztát biztosította (5. ábra). Maga az inkubátor egy olyan üvegcád, amely nyolc cellára van osztva. A cellák fala tükörből készült, kivéve a fényforrás felé eső falukat. Fényforrásként Tungstam F74 cool light fénycsöveket használtunk, a fénygrádienszt a különböző rétegszámú (0-10) fóliák (3M, Scotchtint TM árnyékoló fólia) biztosították. A fotoszintetron, tehát több különbözőképpen árnyékoló rekeszsel rendelkezett, így különböző fényintenzitáson tudtuk az algák fotoszintézisét vizsgálni.



5. ábra: A fotoszintézis méréshez használt inkubátor

A fotoszintézis mérése során a „sötét-világos palack” módszert alkalmaztuk. Hét különböző fényintenzitáson három párhuzamban inkubáltuk az algaszuszpenziót, a nyolcadik

cellában pedig szintén három párhuzamban alufóliába tekert Calsruhe-edényekben inkubáltuk az algákat sötét kontrollként. Az oldott oxigén mérése LDO HQ20-as típusú oxigénmérővel történt, mely az oldott oxigén lumineszcenciája alapján határozza meg a minta oxigén koncentrációját. A mérést minimum két órán keresztül végeztük, fél óránként mérve a minták oldott oxigén koncentrációját.



6. ábra: Az LDO HQ20-as típusú oxigénmérő készülék (6/b) és az LDO szenzor működés közben (6/a)

A klorofill-a koncentráció méréséhez meghatározott mennyiségű algaszuszpenziót GF5 típusú üvegrost filterre tömörítettük vákuumszűrő segítségével. A filtereket kémcsőben 5ml metanollal egy percig forraltuk a kioldás folyamatának meggyorsítása végett, majd a kihűlt extraktumot centrifugálással tisztítottuk, a centrifugacső tartalmát küvettába öntöttük, ügyelve arra, hogy eközben a leülepedett frakció a centrifugacső alján maradjon, és meghatároztuk a pigment kivonat klorofill-a koncentrációját Hitachi F4500 fluoreszcens spektrofotométer segítségével (Wetzel & Likens, 1991).

A Calsruhe-edényekben lévő fényintenzitás-értékeket a Li-1400 data LOGGER kis méretű gömbfelületű szenzorral rendelkező fénymérő készülékkel mértük.

## A kapott eredmények értékelésének módja

A fotoszintézis mérés során kapott eredményekből először Excel táblázat segítségével kiszámoltuk az adott fényintenzitáson időegységre vonatkoztatott (h) O<sub>2</sub> termelési értékeket a légzés (sötét palack) figyelembevételével, így megkaptuk a nettó fotoszintézis értékét. Az adatokat az Origin® programot használva az Eilers és Peeters (1988) modell segítségével értékeltük. A modell a következő függvényt használja:

$$P=I/((aI^2)+(bI)+c)$$

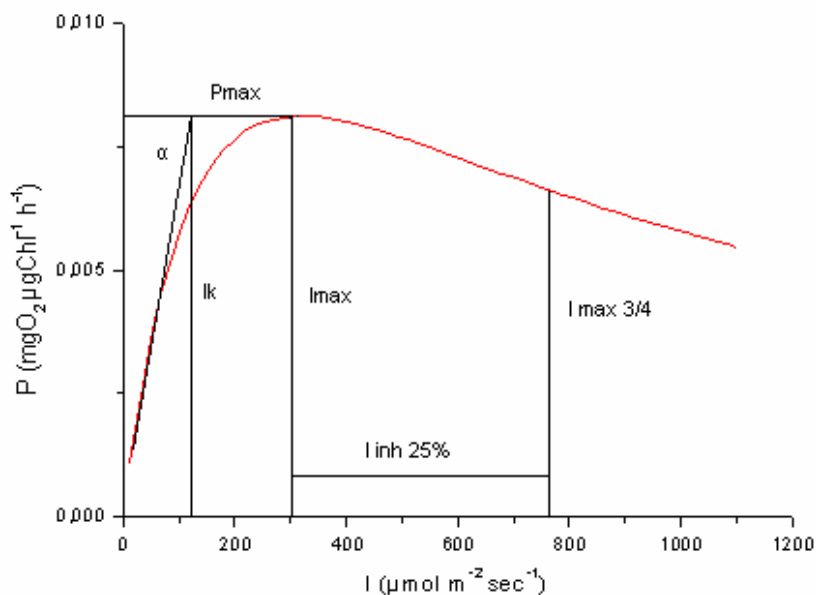
Ahol:

P: fotoszintézis

I: fényintenzitás

a, b és c paraméterek ( $a=1/sI_m$ ,  $b=1/P_m-2/sI_m$ ,  $c=1/s$ )

A modell segítségével kiszámoltuk a maximális elsődleges termelést ( $P_{max}$ ), a fénytélítési paramétert ( $I_k$ ), valamint a fényhasznosítási koefficiens ( $\alpha=P_{max}/I_k$ ). A fotoinhibíciót a 25%-os fénygátlási paraméter segítségével számszerűsítettük ( $I_{inh25\%}$ ), amely az optimális fényintenzitás ( $I_{max}$ ) és a fénygátlás szakaszában a  $P_{max}$  75%-os értékéhez tartozó fényintenzitás ( $I_{max3/4}$ ) különbsége. Minél nagyobb az  $I_{inh25\%}$  értéke, vagyis a 7. ábrán látható szakasz hossza, annál kisebb lesz a fénygátlás mértéke (Somogyi Boglárka, szóbeli közlés) (7. ábra).

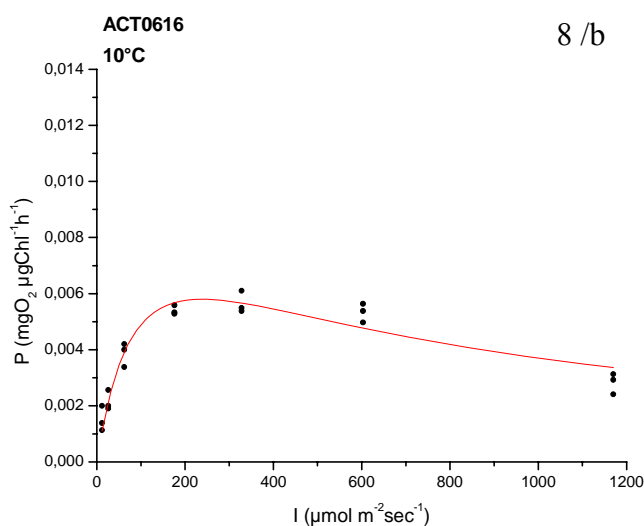
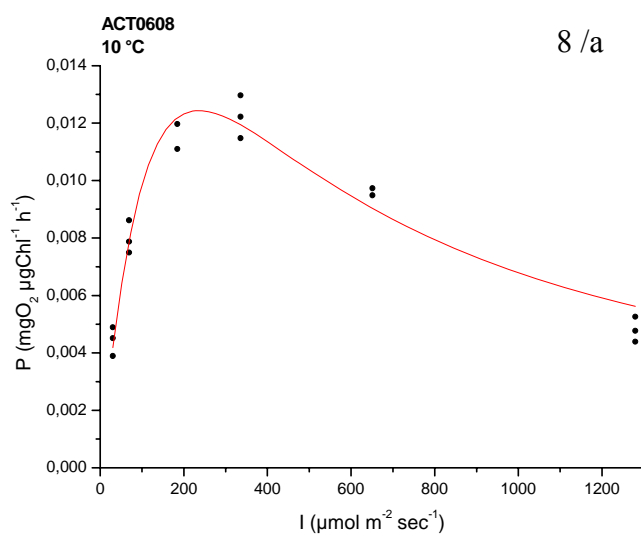


7. ábra: Az Eilers & Peeters modell (1988)



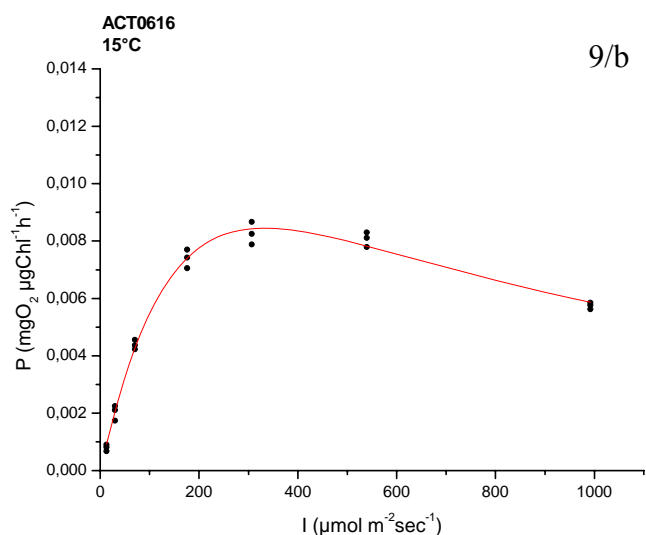
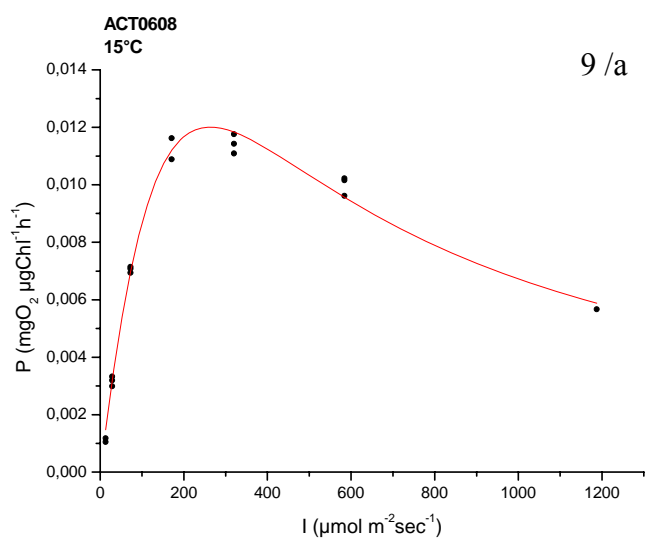
## Eredmények

Az ACT0608-as piko-eukarióta törzs fotoszintézisének mérése során 10 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ ) 0,01244  $\text{mg O}_2 \mu\text{g Chl}^{-1}\text{h}^{-1}$  volt (8. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ ) 79  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig 0,00016 volt. A fénygátlási paraméter 379  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ -nak adódott. Az ACT0616-os pikocianobaktérium törzs fotoszintézisének mérése során 10 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ ) 0,0058  $\text{mg O}_2 \mu\text{g Chl}^{-1}\text{h}^{-1}$  volt (8. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ ) 55  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig 0,0001 volt. A fénygátlási paraméter 503  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ -nak adódott.



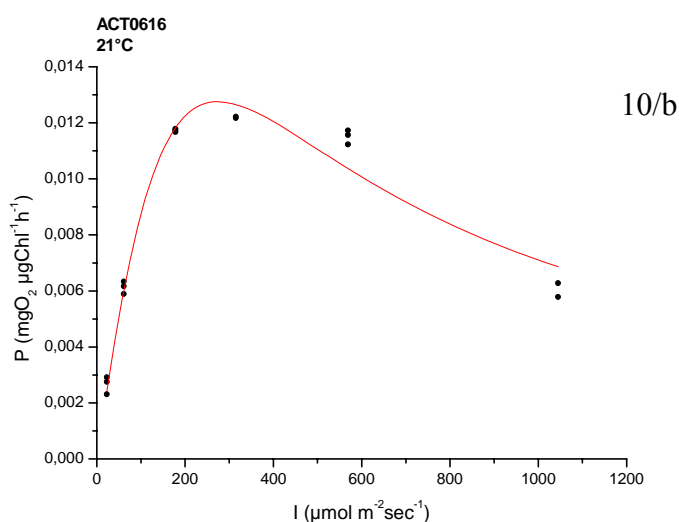
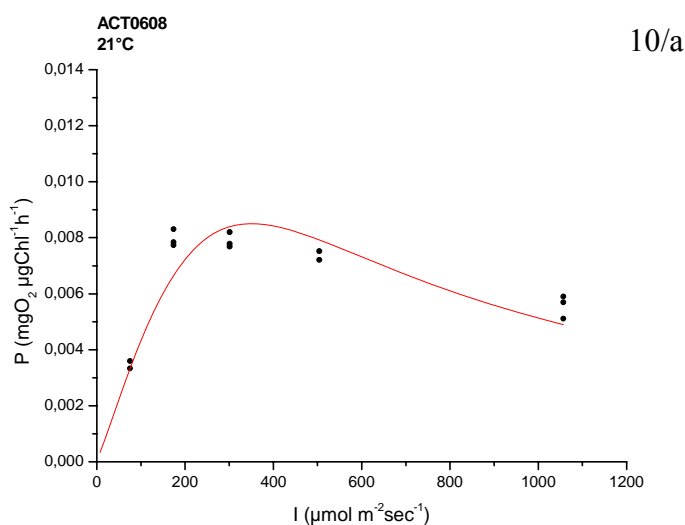
**8. ábra:** Az 10 °C-on nevelt ACT0608-as (/a) és ACT0616-os (/b) pikoalga törzs fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbéje az Eilers & Peeters modell segítségével illesztve

Az ACT0608-as piko-eukarióta törzs fotoszintézisének mérése során 15 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ )  $0,012 \text{ mgO}_2 \text{ } \mu\text{g Chl}^{-1} \text{ h}^{-1}$  volt (9. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ )  $100 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig  $0,00012$  volt. A fénygátlási paraméter  $387 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -nak adódott. Az ACT0616-os pikocianobaktérium törzs fotoszintézisének mérése során 15 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ )  $0,00845 \text{ mgO}_2 \text{ } \mu\text{g Chl}^{-1} \text{ h}^{-1}$  volt (9. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ )  $111 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig  $0,00008$  volt. A fénygátlási paraméter  $537 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -s-nak adódott.



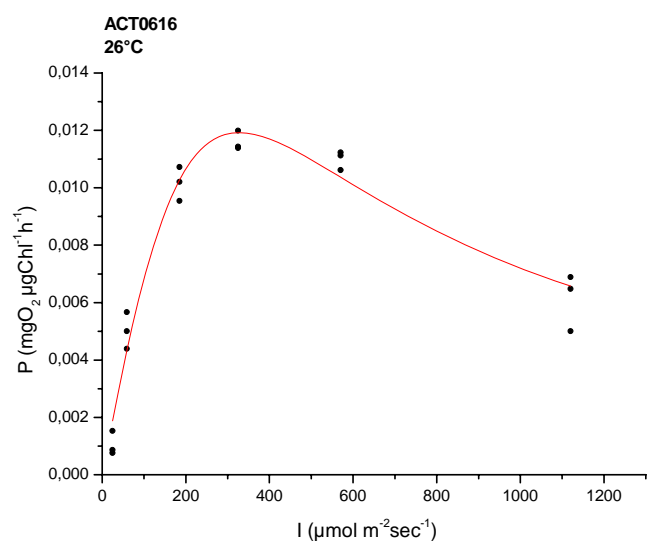
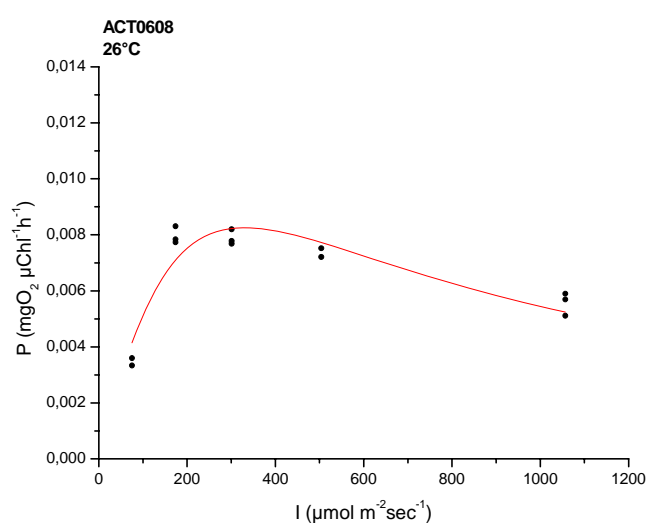
**9. ábra:** A 15 °C-on nevelt ACT0608-as (/a) és ACT0616-os (/b) pikoalga törzs fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbéje az Eilers & Peeters modell segítségével illetve

Az ACT0608-as piko-eukarióta törzs fotoszintézisének mérése során 21 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ )  $0,0085 \text{ mgO}_2 \mu\text{g Chl}^{-1} \text{ h}^{-1}$  volt (10. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ )  $190 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig  $0,00004$  volt. A fénygátlási paraméter  $401 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -nak adódott. Az ACT0616-os pikocianobaktérium törzs fotoszintézisének mérése során 21 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ )  $0,01275 \text{ mgO}_2 \mu\text{g Chl}^{-1} \text{ h}^{-1}$  volt (10. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ )  $114 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig  $0,00011$  volt. A fénygátlási paraméter  $379 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -nak adódott.



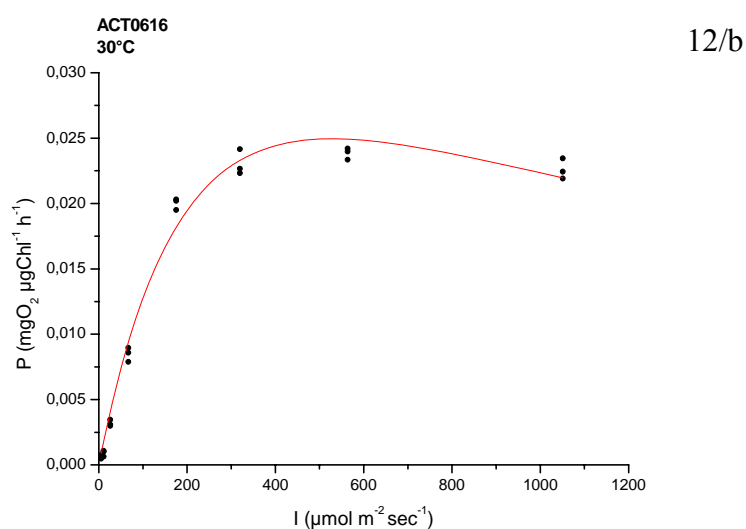
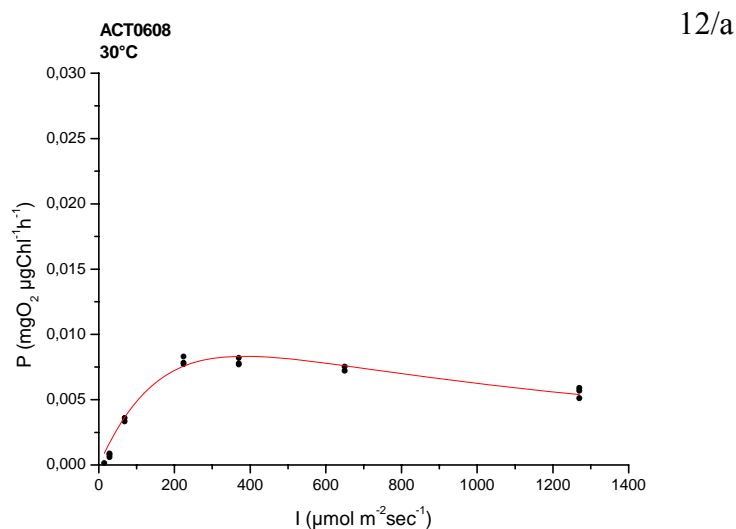
**10. ábra:** A 21 °C-on nevelt ACT0608-as (/a) és ACT0616-os (/b) pikoalga törzs fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbéje az Eilers & Peeters modell segítségével illetve

Az ACT0608-as pikoeukarióta törzs fotoszintézisének mérése során 26 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ ) 0,0083  $\text{mgO}_2 \mu\text{g Chl}^{-1} \text{h}^{-1}$  volt. A fényteltési paraméter ( $I_k$ ) 125  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig 0,00007 volt (11. ábra). A fénygátlási paraméter 486  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -nak adódott. Az ACT0616-os pikocianobaktérium törzs fotoszintézisének mérése során 26 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ ) 0,0119  $\text{mgO}_2 \mu\text{g Chl}^{-1} \text{h}^{-1}$  volt (11. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ ) 156  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig 0,00008 volt. A fénygátlási paraméter 412  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -nak adódott.



**11. ábra:** A 26 °C-on nevelt ACT0608-as (/a) és ACT0616-os (/b) pikoalga törzs fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbéje az Eilers & Peeters modell segítségével illesztve

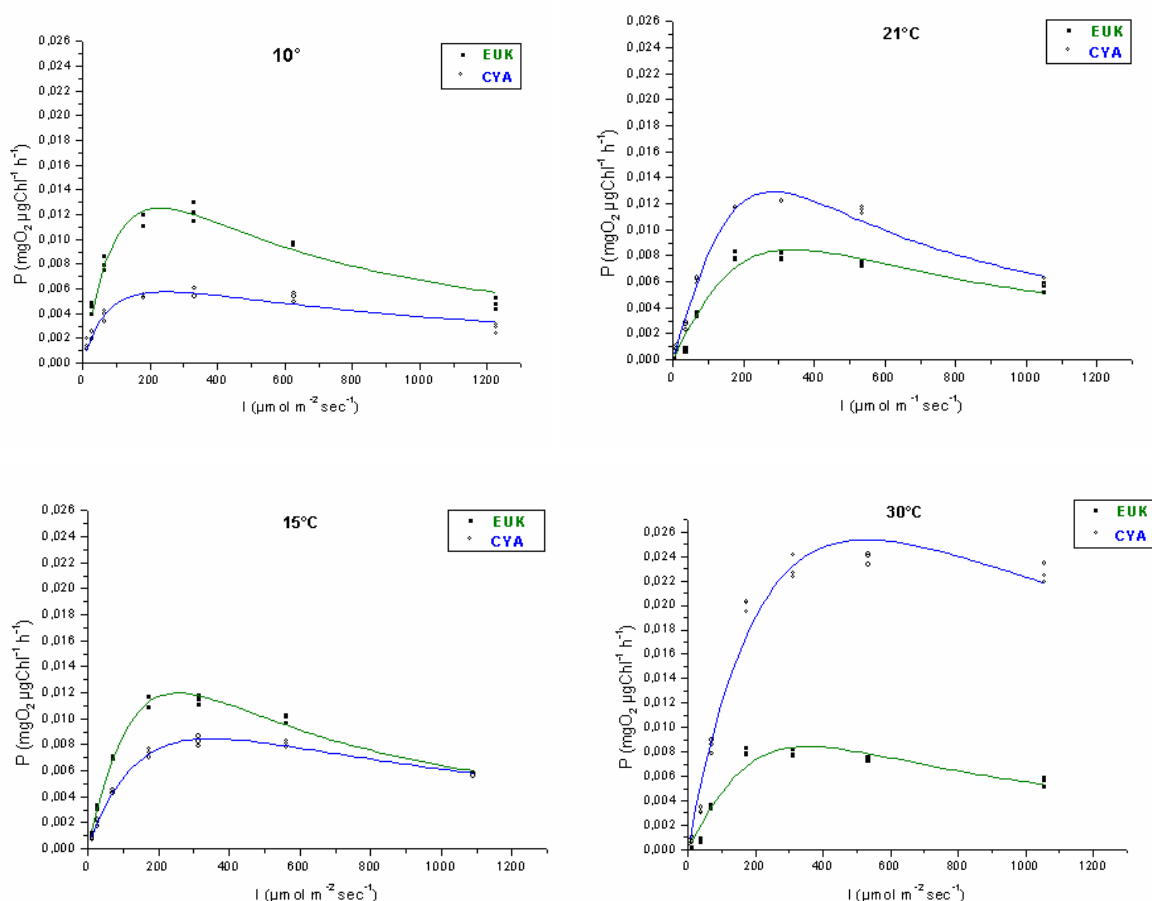
Az ACT0608-as piko-eukarióta törzs fotoszintézisének mérése során 30 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ )  $0,0083 \text{ mgO}_2 \mu\text{g Chl}^{-1} \text{ h}^{-1}$  volt (12. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ )  $130 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig  $0,00006$  volt. A fénygátlási paraméter  $616 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -nak adódott. Az ACT0616-os pikocianobaktérium törzs fotoszintézisének mérése során 30 °C-on a maximális elsődleges termelés ( $P_{max}$ )  $0,0249 \text{ mgO}_2 \mu\text{g Chl}^{-1} \text{ h}^{-1}$  volt (12. ábra). A fényteltési paraméter ( $I_k$ )  $146 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , a fényhasznosítási koeficiens értéke pedig  $0,00017$  volt. A fénygátlási paraméter  $981 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -nak adódott.



**12. ábra:** A 30 °C-on nevelt ACT0608-as (/a) és ACT0616-os (/b) pikoalga törzs fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbéje az Eilers & Peeters modell segítségével illetve

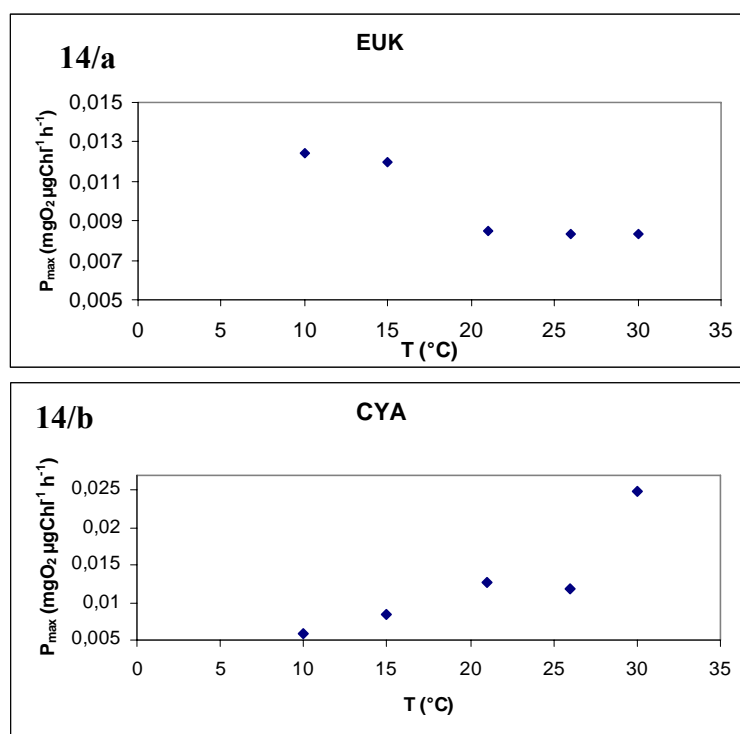
## Eredmények értékelése

A pikoeukarióta törzs elsődleges termelése 10 °C-on minden fényintenzitáson jóval meghaladta a pikocianobaktérium elsődleges termelését. A hőmérséklet emelkedésével ez a különbség csökkent: 15 °C-on az eukarióta törzs produkciója még mindig meghaladta a cianobaktériumét, de már nem olyan nagy mértékben, mint 10 °C-on (13. ábra). A hőmérséklet további emelkedésével megfordult a helyzet, 21 °C-on a pikocianobaktérium törzs produkciója volt magasabb a pikoeukarióta törzs elsődleges termelésénél, 30 °C-on pedig ez a különbség a többszörösére növekedett, a pikocianobaktérium elsődleges termelése minden fényintenzitáson magasan felülmúlta a pikoeukarióta törzs elsődleges termelését (13. ábra).



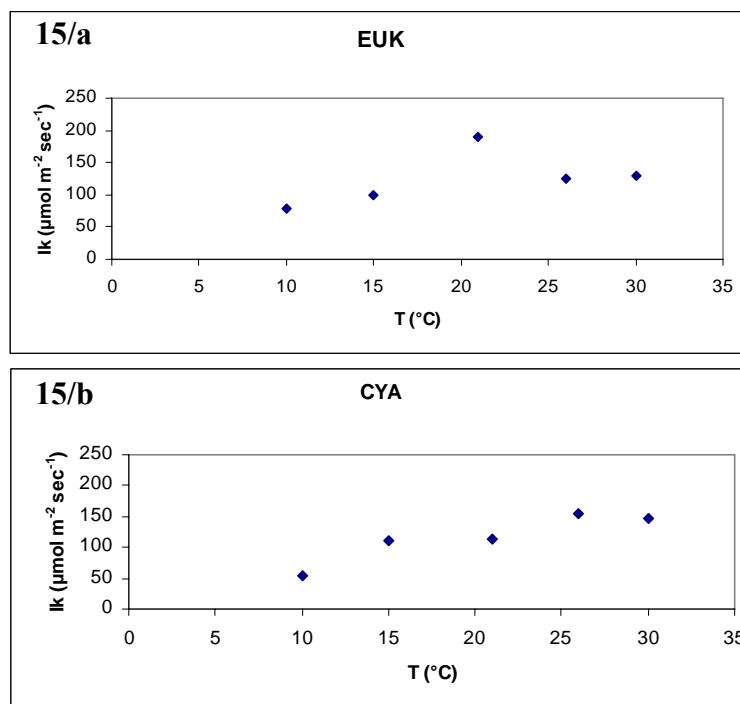
**13. ábra:** A 10, 15, 21 és 30 °C-on nevelt pikoeukarióta és a pikocianobaktérium törzs fotoszintézis-fényintenzitás (P-I) görbéi az Eilers & Peeters modell segítségével illesztve

A fotoszintetikus paramétereket összehasonlítva a maximális elsődleges termelés vizsgálata során a pikoeukarióta törzs esetén 10°C-on, míg a pikocianobaktérium törzs esetén 30°C-on a kaptuk a legmagasabb értékeket (14. ábra). A pikocianobaktérium törzs produkciója a növekvő hőmérséklettel arányosan növekedett, ezzel ellentétben a pikoeukarióta törzs maximális elsődleges termelése a csökkenő hőmérséklettel mutatott növekedést. A fénytélítési paraméter értéke esetén nem találtunk különbséget a két pikoalga törzs között, mindkét törzsnél a növekvő hőmérséklettel növekedett (15. ábra).

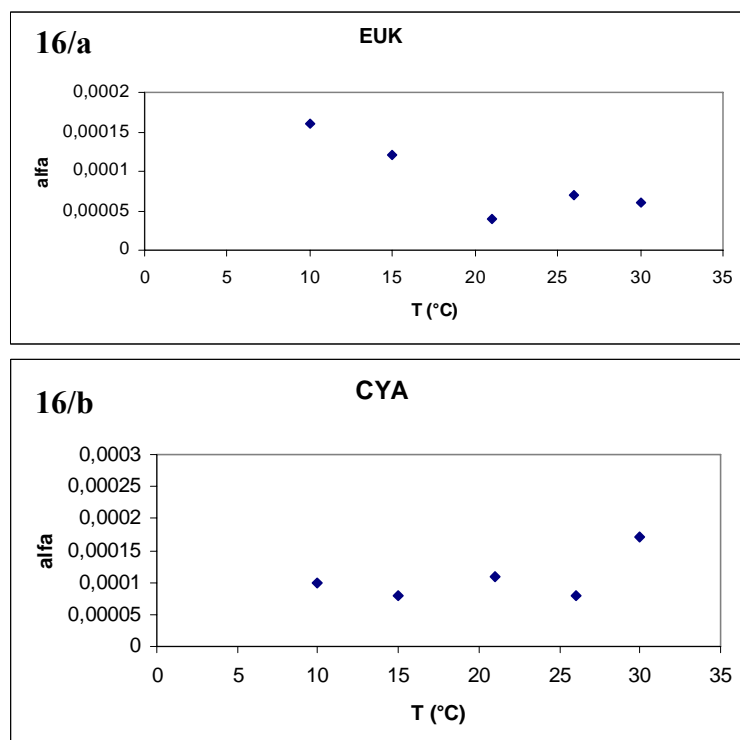


**14. ábra:** A különböző hőmérsékleti viszonyok között nevelt pikoeukarióta (/a) és pikocianobaktérium (/b) törzs maximális elsődleges termelése az Eilers & Peeters modell segítségével számolva

A fény hasznosítási koefficiens értéke a pikoeukarióta törzsnél a csökkenő hőmérséklettel növekedett, a pikocianobaktérium törzsnél ezzel ellentétben pont fordítva, a növekvő hőmérséklettel mutatott növekedést, mely jelzi, hogy az eukarióta alacsonyabb, míg a cianobaktérium magasabb hőmérsékleten reagál gyorsabban a fényintenzitás változására (16. ábra). A 25%-os fénygátlás értéke mindkét esetén a növekvő hőmérséklettel nőtt (a két P érték közötti távolság növekedett) tehát a fénygátlás mértéke a növekvő hőmérséklettel csökkent (17. ábra).

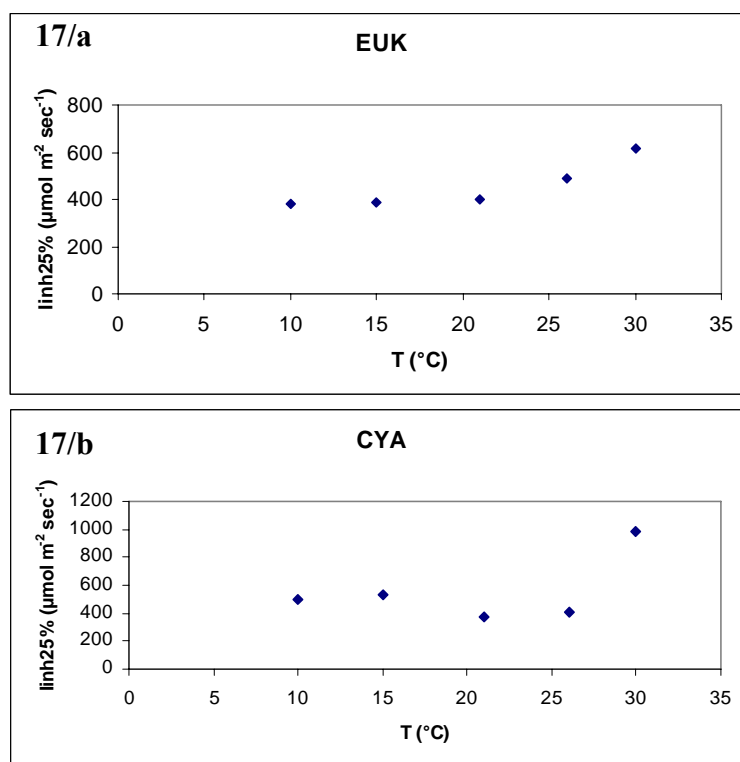


**15. ábra:** A pikoeukarióta (/a) és a pikocianobaktérium (/b) törzs fotoszintézis-fényintenzitás görbéjéből számolt fényteltési paraméter változása a hőmérséklet függvényében



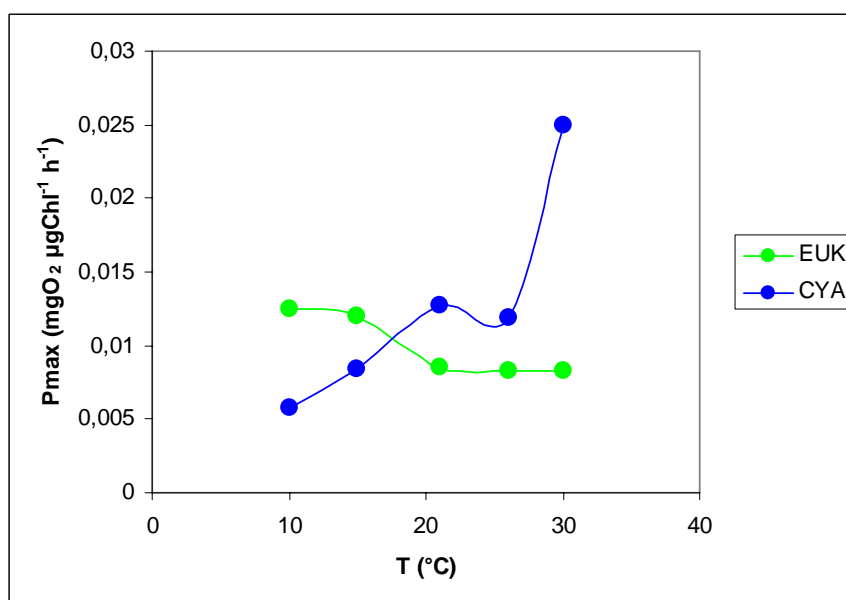
**16. ábra:** A pikoeukarióta (/a) és a pikocianobaktérium (/b) törzs fotoszintézis-fényintenzitás görbéjéből számolt fényhasznosítási koefficiens változása a hőmérséklet függvényében





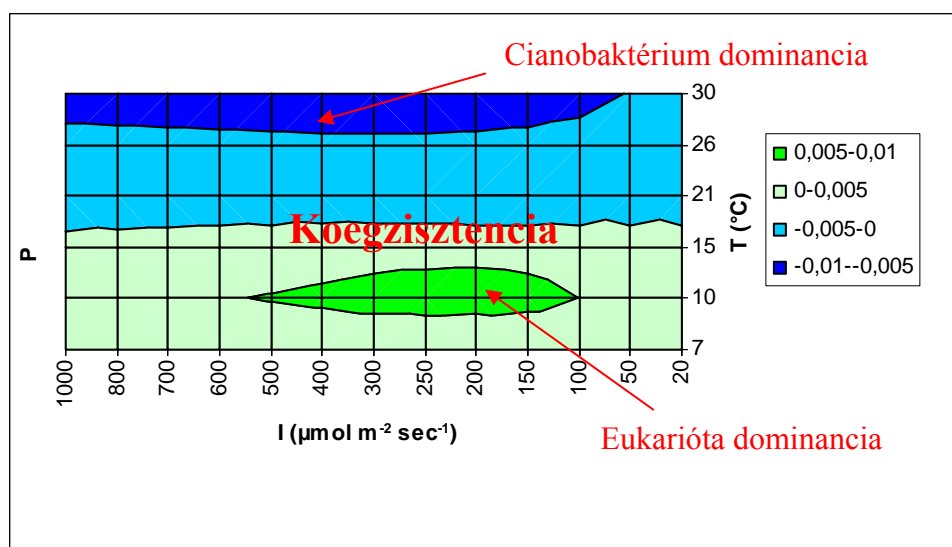
**17. ábra:** A pikoeukarióta (/a) és a pikocianobaktérium (/b) törzs fotoszintézis-fényintenzitás görbéjéből számolt fényteltési paraméter változása a hőmérséklet függvényében

A két pikoalga törzs maximális elsődleges termelését összehasonlítva 15°C alatt a pikoeukarióta törzs P<sub>max</sub> értéke, 21°C felett pedig a pikocianobaktérium törzs produkciója volt magasabb (18. ábra).



**18. ábra:** A pikoeukarióta és a pikocianobaktérium törzs maximális elsődleges termelésének összehasonlítása különböző hőmérsékleti viszonyok között

Ez az eredmény azt mutatja, hogy amennyiben csak a maximális elsődleges termelés értékét tekintjük, a pikoeukarióta törzs alacsonyabb hőmérsékleten, a pikocianobaktérium törzs pedig magasabb hőmérsékleten képes nagyobb produkciót elérni. Az Eilers & Peeters modell segítségével az általunk vizsgált hőmérsékleteken (10, 15, 21, 26 és 30 °C-on) az illesztett P-I görbe alapján kiszámítottuk 13, általunk meghatározott fényintenzitáshoz (20-1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) tartozó produkció értéket, majd ezek különbségét ábrázoltuk (19. ábra). Ezzel a módszerrel nem csak a maximális produkció értékeket tudtuk összevetni, hanem a különböző fényintenzitásokhoz tartozó P értékeket, mely finomabb skálájú összehasonlítást tesz lehetővé. Ha megnézzük az egymásra vetített görbéket (13. ábra) látható, hogy amíg a Pmax értékekben mind a négy diagramon viszonylag nagy különbségeket találunk a pikoeukarióta és a pikocianobaktérium között, addig a görbe kezdeti szakaszán, vagy pont magas fényintenzitáson, a görbe végső részén ez a különbség jóval kisebb lehet. A kiszámított produkció értékek különbségei alapján e két törzs között egyértelmű pikoeukarióta dominancia 9-13 °C és mintegy 100-500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  fényintenzitáson lehetséges, egyértelmű pikocianobaktérium dominancia pedig 26°C felett és szélesebb fényintenzitás tartományban: mintegy 100-1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  között lehetséges.

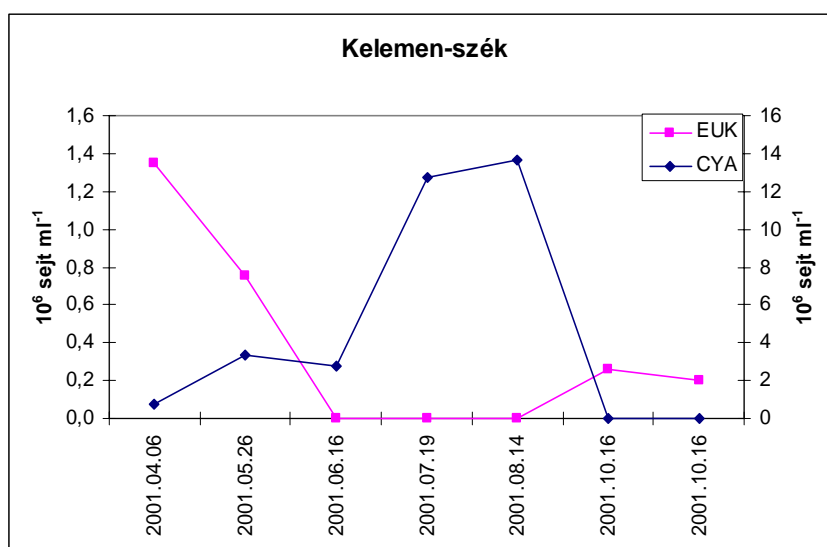


**19. ábra:** A különböző hőmérsékleti viszonyok között nevelt pikoalga törzsek P-I görbéje alapján számolt produkció értékek különbsége

A Duna-Tisza közti szikes tavakból izolált pikoalga törzsek fotoszintézis vizsgálata segített megérteni a pikoplankton sajátos szezonális dinamikájának okait. Az eukarióta pikoalgák szezonális dinamikájának erőteljes hőmérsékletfüggését mély tavakban, sőt tengerekben is megfigyelték (Waterbury et al. 1986, Caron et al. 1985), de a szezonális

dinamika okainak feltárása csak laboratóriumban izolált algatörzsekkel végzett ökofiziológiai vizsgálatok segítségével lehetséges. A Kinneret-tó kapcsán végzett vizsgálatok alátámasztották, hogy a Kinneret-tóban a hőmérséklet döntő szerepet játszott a pikoeukarióták és a pikocianobaktériumok szezonális dinamikájában (Malinsky-Rushansky et al., 2002), ugyanakkor Malinsky-Rushansky és mtsai. kutatásuk során több különböző fényintenzitáson, de csak három különböző hőmérsékleten (14, 20 és 28 °C) vizsgálták az izolált törzseket.

A szikes tavakból izolált pikoalga törzsek ökofiziológiai vizsgálata során szélesebb hőmérsékleti tartományt (10-30 °C) alkalmaztunk. Megállapíthatjuk, hogy a hőmérséklet igen fontos szerepet játszik a pikoeukarióta algák szezonális dominanciájában a Duna-Tisza közti szikes tavak esetében. A hőmérséklet mellett a fény is fontos szabályozó tényező, hiszen e két törzs fotoszintézis adatai alapján az eukarióták alacsonyabb fényintenzitáson juthatnak dominanciához, mint a cianobaktériumok. A Duna-Tisza közti szikes tavakban a fény és a hőmérséklet változása tehát együtt szabályozza a pikoalgák szezonális szukcesszióját (ezekben a tavakban a növényi tápanyagok nem limitálnak). Tavasszal illetve ősszel, amikor a hőmérséklet alacsonyabb és a globálsugárzás értéke is alacsonyabb a nyárihoz viszonyítva, a pikoplankton állományának túlnyomó részét pikoeukarióta, míg nyáron (magasabb hőmérséklet és magasabb globálsugárzás értékek mellett) pikocianobaktérium sejtek alkotják (20. ábra).



**20. ábra:** A pikoeukarióták és pikocianobaktériumok abundanciája a Duna-Tisza közti szikes tavak közül a Kelemen-szék vizében 2001-ben (Vörös, 2001)

Az ökológiai aspektusú kutatómunka során kapott eredmények okainak feltárása csak kísérletes úton történhet. Az izolált algatörzsekkel végzett kísérletek segítségével egy (vagy akár több) adott ökológiai tényező hatását önmagában vizsgálhatjuk, bebizonyítva, hogy a

természetben észlelt összefüggést valóban az adott tényező váltja-e ki. Az ökológiai kutatómunka során a kísérletes megközelítésnek – ahogy a dolgozat eredményei is mutatják – igen fontos szerepe van a természetben zajló folyamatok megértésében.

## Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani **Dr. Bíró Péternek**, az MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet igazgatójának, akinek engedélye nélkül nem vehettem volna részt a fontos kutatásban; **Dr. V.-Balogh Katalinnak** az intézet Hidrobotanika osztályán dolgozó tudományos főmunkatársnak, aki diákfelelősi munkájával megszervezte a nyári gyakorlaton lévő diákok elszállásolását, ellátását.

Nagy hálával és tisztelettel tartozom témavezetőimnek **Dr. Vörös Lajosnak**, (az MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet Hidrobotanika osztályának vezetője), **Dr. Fodorpataki Lászlónak** (Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kísérleti Biológia Tanszék, egyetemi docens), és **Somogyi Boglárkának** (MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, Hidrobotanika osztály) akivel közös munkámat végeztem.

## Irodalomjegyzék

- BAILEY-WATTS, A. E., M. E. BINDLOSS & J. H. BELCHER (1968) Freshwater primary production by a blue-green alga of bacterial size. *Nature*. 220: 1344-1345.
- BELYKH O. I., SEMANOVA, E. A., KUZNEDELOV, K. D., ZAIKA, E. I., GUSELNIKOVA, N. E. (2000) An eukaryotic alga from picoplankton of Lake Baikal: morphology, ultrastructure and rDNA sequence data. *Hydrobiologia* 435:83-90.
- CARON, D. A., F. R. PICK & D. R. S. LEAN (1985) Chroococcoid cyanobacteria in Lake Ontario: seasonal and vertical distribution during 1982. *J. Phycol.*, 21: 171-175.
- CORZO, A. F. JIMÉNEZ-GÓMEZ, F. J. L. GORDILLO, R. GARCÍA-RUIZ & F. X. NIELL (1999) *Synechococcus* and *Prochlorococcus*-like populations detected by flow cytometry in a eutrophic reservoir in summer. *J. Plank. Res.* 21: 1575-1581.
- EILERS, P. H. C., & PEETERS, J. C. H. (1988) A model for the relationship between light intensity and the rate of photosynthesis in phytoplankton. – *Ecological Modelling* 42:199-215.
- FAHNENSTIEL, G. L., H. J. CARRICK & R. ITURRIAGA (1991) Physiological characteristics and food web dynamics of *Synechococcus* in Lakes Huron and Michigan. *Limnol. Oceanogr.*, 36(2): 219-234.
- FAHNENSTIEL, G. L., H. J. CARRICK (1992) Phototrophic picoplankton in lakes Huron and Michigan: abundance, distribution, composition and contribution to biomass and production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 379-388.
- HEPPERLE, D. & KRIENITZ, L. (2001) Systematics and ecology of chlorophyte picoplankton in german inland waters along a nutrient gradient. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 86: 269-284.
- HEPPERLE, D. & SCHLEGEL, I. (2002) Molecular diversity of eucaryotic picoalgae from three lakes in Switzerland. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 87: 1-10.
- HOBBIE, J. E., R. J. DALEY & S. JASPER (1977) Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl. Environm. Microbiol.* 33: 1225-1228.
- JOHNSON, P. W. & J. MCN. SIEBURTH (1979) Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnol. Oceanogr.* 24: 928-935.
- KANE, M., H. MAEDA, T. FUKUNAGA & K. NISHI (1997) Molecular phylogenetic relationship between strains of cyanobacterial picoplankton in Lake Biwa, Japan. *J. Mar. Biotechnol.* 5: 41-45.
- KIRK, J. T. O. (1994) *Light & Photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, Sec.ed. (First published: 1983)
- KOMAREK, J. (1996) Towards a combined approach for the taxonomy and species delimitation of picoplanktonic cyanoprokaryotes. *Algolog. Studies* 83: 377-401.
- LI, W. K. W. (1994) Primary productivity of prochlorophytes, cyanobacteria, and eucaryotic ultraphytoplankton: Measurements from flow cytometric sorting. *Limnol. Oceanogr.* 39: 169-175.
- LOHMANN, H. (1911) Über das Nannoplankton und die zentrifugierung kleinsten Wasseproben zur gewinnung desselben in lebendem Zustande. *Int. Revue ges. Hydrobiol. Hydrogr.* 4: 1-38.
- MACISAAC, E. A. & J. G. STOCKNER (1993) Enumeration of phototrophic picoplankton by autofluorescence microscopy. In: Kemp et al. (eds.): *Handbook of methods in aquatic microbial ecology*. Lewis Publishers, pp. 167-197.
- MALINSKY-RUSHAANSKY, N., T. BERMAN & Z. DUBINSKY (1995) Seasonal dynamics of picophytoplankton in Lake Kinneret, Israel. *Freshwater Biol.*, 34: 241-254.
- MALINSKY-RUSHANSKY, N., BERMAN, T., BERNER, T., YACOBI, Y. Z. & DUBINSKY, Z. (2002) Physiological characteristics of picophytoplankton, isolated from Lake Kinneret: response to light and temperature. *J. Plankton. Res.* 24:1173-1183.
- MÓZES, A. & VÖRÖS, L. (2004) Különleges pikoplankton együttesek a befagyott Balatonban. *Hidrológiai Közlöny* 84: 180-182.

- MÓZES, A., PRÉSING, M. & VÖRÖS, L. (2006) Seasonal dynamics of picocyanobacteria and picoeukaryotes in a large shallow lake (Lake Balaton, Hungary). *Internat. Rev. Hydrobiol.* 91:38-50.
- NOT, F., SIMON, N., BIEGALA, I. C., VAULOT, D. (2002) Application of fluorescent in situ hybridization coupled with tyramide signal amplification (FISH-TSA) to assess eukaryotic picoplankton composition. *Aquat. Microb. Ecol.* 28: 157-166.
- PEARL, H. W. (1977) Ultraphytoplankton biomass and production in some New Zealand Lakes, N.Z. *J. Mar. Freshwater Res.* 11: 297-305.
- PICK, F. R. & D. M. AGBETI (1991) The seasonal dynamic and composition photosynthetic picoplankton communities in temperate lakes in Ontario, Canada. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 76: 565-580.
- PORTER, K. G., H. PEARL, R. HODSON, M. PACE, J. PRISCU, B. RIEMANN, D. SCAVIA & J. STOCKNER (1988) Microbial interactions in lake food webs. In: S.R. Carpenter (Ed.), *Complex interactions in lake communities*. Springer-Verlag, New York: 209-228.
- RODHE, W. (1955) Productivity: can plankton production proceed during winter darkness in subarctic lakes? *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh.* 12: 117-122.
- SCHMIDT, A. (1999) Két kiszáradt szikes tó: szappanosszék és Kondro-tó. *Acta. Biol. Debr. Oecol. Hung.* 9:183-187.
- SIEBURTH, J. M., V. SMETACEK & J. LENZ (1978) Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.* 23: 1256-1263.
- SIMON, N., CAMPBELL, L., ORNOLFSDOTTIR, E., GROBEN, R., GUILLOU, L., LANGE, M. AND MEDLIN, L. K. (2000). Oligonucleotide probes for the identification of three algal groups by dot blot and fluorescent whole-cell hybridization. *J. Eukaryot. Microbiol.* 47: 76-84.
- SOMOGYI, B. & VÖRÖS, L. (2006) A pikoplankton fotoszintézisének karakterisztikái sekély tavakban. *Hidrológiai Közlöny* 86:110-112.
- SØNDERGAARD, M. (1991) Phototrophic picoplankton in temperate lakes: seasonal abundance and importance along a trophic gradient: *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 76(4): 505-522.
- STOCKNER, J. G. & K. S. SHORTREED (1991) Autotrophic picoplankton: community composition, abundance and distribution across a gradient of oligotrophic British Columbia and Yukon territory lakes. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 76: 581-601.
- STOCKNER, J. G. & N. J. ANTIA (1986) Algal picoplankton from marine and freshwater ecosystems: a multidisciplinary perspective. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43:2472-2503.
- STOCKNER, J. G. (1988) Phototrophic picoplankton: An overview from marine and freshwater ecosystems. *Limnol. Oceanogr.* 33: 765-775
- ÜVEGES, V., KOVÁCS W. A., PADISÁK J., VÖRÖS L. (in press) Balatoni fitobentosz fotoszintézisének vizsgálata, módszertani megközelítés
- VERDUIN, J. (1956) Energy fixation and utilization by natural communities in western Lake Erie. *Ecology.* 37: 40-49.
- VÖRÖS, L. (1987-88) Bakteriális méretű fotoautotrófikus szervezetek néhány európai sekély tóban. *Bot. Közlem.* 74-75: 141-151.
- VÖRÖS, L. (1989) A pikoplankton jelentősége a Balatonban. *Hidrológiai Közlöny* 69:321-327.
- VÖRÖS, L., BOROS, E., SCHMIDT, A., V.-BALOGH, K., NÉMETH, B., SOMOGYI, B. & MÓZES, A. (2006) A fitoplankton fizikai és kémiai környezete fehér vizű szikes tavainkban. *Hidrológiai Közlöny* 86:139-141.
- VÖRÖS, L., V.-BALOGH, K. & BOROS, E. (2005) Pikoplankton dominancia szikes tavakban. *Hidrológiai Közlöny* 85:166-168.
- WATERBURY, J. B., S. W. WATSON, F. W. VALOIS & D. G. FRANKS (1986) Biological and ecological characterization of the marine unicellular cyanobacterium *Synechococcus*. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.*, 214: 71-120.
- WATERBURY, J. B., S. W. WATSON, R. R. GUILLARD & L. E. BRAND (1979) Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic cyanobacterium. *Nature* 277: 293-294.

- WETZEL, R. G. AND G. E. LIKENS (1991): Limnological analysis. Springer-Verlag. New York, 1-391.
- WORDEN, A. Z., CHISHOLM, S. W., BINDER, B. J. (2000) In situ hybridization of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* (marine cyanobacteria) spp. With rRNA-targeted peptide nucleic acid probes. *Appl. Environ. Microbiol.* 66: 284-289.
- WORDEN, A. Z., NOLAN, J. K., PALENIK, B. (2004) Assessing the dynamics and ecology of marine picophytoplankton: The importance of the eukaryotic component. *Limnol. Oceanogr.* 49: 168-179.