

A tavak életében a telet még a szakemberek jelentős része is egy nyugalmi, inaktív állapotnak tekinti, sekély tavaink algáit is korábban elsősorban a jégolvadás előtt és után tanulmányozták. Ezért a jelen munka során különös figyelmet fordítottunk a téli időszakra és egy korábban ismeretlen algavilágot tártunk fel.

A pályázat munkatervének megfelelően 2008 és 2009 között a Fertőn, 2009 és 2010 között a Kis-Balatonon, 2010 és 2011 között pedig a Balatonon végeztünk kétheti mintavételeket. Rendszeresen mértük a víz optikai tulajdonságait meghatározó paramétereket (a-klorofill koncentráció, a víz színe (Pt-egység) és a víz összes lebegő anyag tartalma), a helyszínen mértük a Secchi-átlátszóságot és a vízmélységet. A frissen vett vízmintákból meghatároztuk a pikocianobaktériumok és a pikoeukarióta algák mennyiségét. Emellett külön vizsgáltuk a nanoplankton legkisebb méretű tagjait, valamint meghatároztuk a heterotróf nanoflagelláták (HNF) és a fitoplankton parazita gombák (Chitridiales) mennyiségét is. A pikoalga közösség diverzitásának megismeréséhez pikocianobaktérium és pikoeukarióta algatörzseket izoláltunk és azonosítottunk molekuláris filogenetikai módszerekkel, valamint tenyésztéstől független molekuláris biológiai eljárásokat is alkalmaztunk. Meghatároztuk a fitoplankton elsődleges termelését és fotoszintézisének karakterisztikáit a téli időszakban, valamint a téli pikoalgák elsődleges termelésben betöltött szerepét frakcionált fotoszintézis-mérések segítségével. Mindemellett különleges élőhelyeken is végeztünk téli fitoplankton vizsgálatokat: így a Duna-Tisza közti szikes tavakban, valamint az Erdélyi-medencében található hipersós tavakban.

A kapott eredményeink azt mutatták, hogy a tél korántsem jelent egy inaktív időszakot tavaink életében. Az összes vizsgált víztér esetében elmondhatjuk, hogy a fitoplankton jelentős szezonális dinamikát mutat: télen olyan algák jelennek meg, amelyek nyáron nem találhatók meg, és ebben az időszakban a fotoautotróf pikoplankton különösen fontos szerepet tölt be.

A téli fitoplankton, különös tekintettel a pikoplanktonra

A téli időszakban a Fertő nyíltvizében a nano- és mikropilanktont elsősorban meroplanktonikus kovamoszatok, planktonikus kovamoszatok, Cryptophyta fajok, valamint zöldalgák alkották. A Ruster Poschen-tóban (Fertő, belső tó) Cryptophyta, Haptophyta, Euglenophyta és Chlorophyta fajok voltak az uralkodók. A nyíltvíz legtopegesebb algája

egy kolóniás pikoalga, amelyet *Aphonotheca pannonica* néven, mint új fajt írtunk le morfológiai alapon. Emellett a Fertőre nézve új eredmény az is, hogy megállapítottuk, hogy jelentős mennyiségben fordul elő vizében a *Cyanogranis ferruginea* kolóniás pikocianobaktérium és a Haptophyta *Chrysochromulina parva*. A Fertő belső tavában az autotróf pikoplankton jellegzetes szezonális dinamikát követett: a nyári időszakban pikocianobaktériumok ($0,9$ és $14,6 \times 10^5$ sejt ml^{-1} közötti abundancia értékekkel), míg télen pikoeukarióta algák domináltak (0 és $1,6 \times 10^5$ sejt ml^{-1} közötti abundancia értékekkel). A nyíltvízben ezzel szemben pikoeukarióta algákat egyáltalán nem találtunk, és a pikocianobaktériumok mennyisége a nyár végén nemhogy csökkenni kezdett volna, hanem nőtt, és márciusi abundancia maximumot ($14,6 \times 10^5$ sejt ml^{-1}) figyeltünk meg. Ezután mennyiségük a nyár közeledtével jelentősen csökkent.

A Kis-Balatonban a téli időszakban a nanoplanktont elsősorban Cryptophyta fajok (*Cryptomonas* sp., *Rhodomonas* sp.) alkották, mellettük azonban Chrysophyta fajok (*Dinobryon* spp.) is nagy számban előfordultak. Nyáron ezzel szemben a nanoplanktont elsősorban fonalas nitrogénköti cianobaktériumok képviselték. Az autotróf pikoplankton esetében csak fikocianin pigment-dominanciájú pikocianobaktériumok és pikoeukarióta algák voltak jelen, fikoeritrin pigment-dominanciájú pikocianobaktériumokat nem figyeltünk meg. A pikoalgák abundanciája a vizsgált időszakban $0,5$ és 6×10^5 sejt ml^{-1} érték között változott. A legalacsonyabb abundancia értékeket a téli időszakban kaptuk.

A Balatonban a fitoplankton rendszertani csoportok szerinti összetétele jelentős szezonális változásokat mutatott minkét tóterületen. A Keszthelyi-medencében júniusban megindult a fonalas nitrogénköti cianobaktériumok elszaporodása, amelyek egészen október végéig uralták a planktonképet. A kékalgák visszaszorulásával, és az összes biomassza csökkenésével a zöldalgák váltak dominánssá egészen a következő év áprilisáig. A téli időszakot egyértelműen a zöldalgák dominanciája jellemezte, mellettük a Cryptophyta divízió képviselői (*Cryptomonas* fajok, *Rhodomonas minuta*) voltak még jelentősek. A Siófoki-medencében a nyári magas biomasszájú időszakban a keszthelyinél jelentősen diverzebb volt a fitoplankton összetétele. Itt is megjelentek a fonalas nitrogénköti kékalgák, de nem kerültek túlsúlyba, mellettük jelentős volt a kovamoszatok és a páncélos ostorosok részesedése is. Ősszel egy feltűnő és a Balatonban ritka jelenséget tapasztaltunk, a Haptophyta divízióba tartozó *Chrysochromulina parva* nevű parányi, mintegy 5 mikrométer átmérőjű ostoros alga tömeges elszaporodását. A téli időszakra ezen a tóterületen is a zöldalgák túlsúlya volt a jellemző. Ez az egész tóra kiterjedő téli zöldalga dominancia eddig nem dokumentált jelenség volt a Balatonban, a jelen munkában került először leírásra.

Az eddigi, elsősorban tavasztól-őszig terjedő mérések eredményei szerint a Balatonban is a világátlag (0,4%) körüli a fitoplankton a-klorofill tartalma. A jelen munkában kapott eredmények rávilágítanak arra, hogy a téli fitoplankton klorofillban jelentősen gazdagabb, mint ahogy azt eddig megismertük. A téli időszakban a Keszthelyi-medencében a fitoplankton a-klorofill tartalma meghaladta a nedves tömeg 2%-át, a Siófoki-medencében pedig elérte a 1,5%-ot.

A Duna-Tisza közti szikes tavak esetében a Zab-széken 2012 telén egy alga tömegprodukciónak figyeltünk meg, annak ellenére, hogy a tavon 6 cm vastag jégtakaró alakult ki, melyet 11 cm hó borított. Az algák mennyisége (a-klorofill koncentráció) elérte sőt kissé meghaladta az $1000 \mu\text{g L}^{-1}$ értéket. A fitoplanktont kizárólag pikoeukarióta algák uralták, abundanciájuk meghaladta a 70 millió sejtet milliliterenként. Az Erdélyi-medence sós tavaiban télen só- és vele párhuzamosan hőmérsékleti rétegzettséget egyaránt megfigyeltünk: a tavak felszínén található 0°C alatti hőmérséklet mellett 4 méteres vízmélységben már 10°C feletti hőmérsékletet mértünk. Számos tó esetében – részben a magasabb vízhőmérsékletnek köszönhetően – mélységi klorofill maximumot tapasztaltunk, ahol pikoeukarióta algák és pikocianobaktériumok egyaránt megtalálhatóak voltak. A nanoplanktont elsősorban ostoros zöldalgák (*Dunaliella* spp.), a Cryptophyta divízió képviselői (*Cryptomonas* fajok) és páncélos ostorosok (Dinophyta) alkották.

Az eredményeinket összegezve megállapítottuk, hogy a tél sekély tavaink életében egy aktív időszak, amelyben a főszerepet sok esetben az autotróf pikoplankton játssza. Télen elsősorban nagy felszín/térfogat arányú sejtek (pl. pikoeukarióták) és aktív mozgásra képes apró ostorosok (pl. *Cryptomonas* sp.) fordulnak elő, amely tulajdonságok elősegítik a sejtek lebegését a vízoszlopban, és ez télen a turbulens áramlatok hiánya miatt alapvető fontosságú. Eredményeink alapján a vizsgált tavakban (a Fertő nyíltvizének kivételével) az autotróf pikoplankton jellegzetes szezonális dinamikát mutatott: amíg tavasszal és nyáron a pikocianobaktériumok domináltak (pikoeukariótákat nem találtunk), addig ősszel a pikoeukarióta algák vették át az uralmat. Ez a szezonális dinamika megfelelt a más mérsékelt égövi tavakban megfigyeltnek. A Fertő nyíltvizében ezzel szemben pikoeukarióta algákat egyáltalán nem találtunk. Jelen ismereteink szerint a Fertő nyíltvizéhez hasonló olyan kirívó példát még nem közöltek, amely a hidegebb periódusra is kiterjedően a pikoeukarióta algák teljes hiányáról számolt volna be.

Azért, hogy a pikoplankton dinamikáját befolyásoló környezeti tényezők hatását jobban megértsük, a vizsgálatainkat jelentősen kibővítettük: egy turbiditási gradiens mentén is vizsgáltuk a piko- nano- és mikrop plankton tömegének, összetételének és dinamikájának változásait. Három eltérő zavarosságú mintaterület (Fertő nyíltvíz, Ruster-Poschen, Unterer Stinkersee) eredményeinek összevetésével megállapítottuk, hogy a pikoplankton részesedése a teljes fitoplankton biomasszából jelentős mértékben függ a turbiditástól, jelen esetben a víz összes szerves lebegő anyag koncentrációjától.

A három víztér vizsgálata során kapott adatokat összevetve a legátlátszóbb belső tóban a pikoalgák abundanciája és részesedése szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a nyíltvízben és az Unterer Stinkersee-ben. A Secchi-átlátszóság csökkenésével, vagyis a zavarosság növekedésével a pikoalgák maximális abundanciája illetve a fitoplankton biomasszából való maximális részesedése megnőtt. A kapott eredmények alapján úgy tűnik, hogy a szél üledékfelkeverő hatása (vagyis a növekvő turbiditás) összefüggésben áll a zavarosabb vizek (Fertő nyíltvíz és Unterer Stinkersee) pikoalga gazdagságával. Ezt támasztja alá az is, hogy az igen kicsi átlátszósággal rendelkező, hipertróf Duna-Tisza közti szikes tavak esetében általában csaknem kizárólagos pikoalga dominanciát találunk.

A szél a fitoplankton összetételének struktúrájára gyakorolt hatását már más szerzők is leírták. Ezek a tanulmányok azonban elsősorban az üledékfelszínről az algák vízoszlopba keveredését hangsúlyozzák, amelyet a Fertő nyíltvizében is tapasztaltunk. A pikoalgák mennyiségi viszonyait azonban ez idáig még nem hozták összefüggésbe a turbiditás változásával. A szél általi felkeveredés nem csak direkt hatást gyakorol a fitoplankton összetételére, de a vízoszlopba felkevert szerves anyagok nagy tömege révén az algák fizikai környezetét is megváltoztatja. Emiatt a turbid vizek fényben szegényebbek és ez a pikoalgák számára előnyös lehet a nagyobb méretű algákkal szemben, hiszen fénylimitált körülményekhez való kiváló alkalmazkodóképességük jól ismert. A növekvő turbiditás ugyanakkor a zooplankton szaporodási rátájára illetve táplálkozására is negatív hatást fejt ki és egyes szerzők szerint a pikoalgák mennyiségi viszonyait a tápanyagok mellett elsősorban a kifalás (grazing) vagyis a „top down” kontroll szabályozza. Mindezek alapján a vízben lebegő szerves anyagok nagy tömege vagy az átlátszóság csökkentése (fényszegény körülmények) és/vagy a zooplankton gátlása (a grazing csökkentése) révén eredményezheti a pikoalgák sikerét ezekben a vizekben.

A hetrotróf nanoflagellata grazing

Planktonikus közösségek anyag- és energiaforgalmában fontos szerepet tölt be az ún. mikrobiális hurok, melynek legfontosabb alkotóelemei az autotróf és heterotróf pikoplankton, valamint az ezeket fogyasztó heterotróf nanoflagelláták. Hazai víztestekben nem ismert a nanoflagelláták pikoplanktont érő fogyasztói nyomásának mértéke, ezért fontosnak tartottuk, hogy e szervezetek előfordulásáról, mennyiségéről és szerepéről további ismereteket szerezzünk. Ennek érdekében különböző trofitású víztestekben végeztünk terepi mintavételt, valamint *in situ* kísérleteket. A mintavételek során epifluoreszcens mikroszkópi technika alkalmazásával meghatároztuk mindhárom élőlénycsoport (pikofitoplankton, bakterioplankton, heterotróf nanoflagelláták) abundanciáját. Míg a pikofitoplankton esetében a sejtek detektálása autofluoreszcenciájuk alapján történt, addig a baktériumok és a nanoflagelláták azonosításához fluorokrómokat használtunk. Az ezt követő *in situ* kísérletek során dialízis zsákokban inkubált mintákban vizsgáltuk a fenti alkotóelemek abundanciájának változását, melyből meghatározható a nanoflagelláták táplálkozásának, ún. kifalásának mértéke.

A különböző víztestek pikofitoplankton és heterotróf nanoflagelláta abundancia értékei között pozitív szignifikáns korrelációt találtunk, mely azt sugallja, hogy a közöttük fennálló trofikus kapcsolat közvetetten a hazai víztestekben is kimutatható. Másik észrevételünk, hogy az oligotróf víztestektől a hipertrófok felé haladva a baktériumok és nanoflagelláták abundanciája egyaránt növekedést mutatott, melyből feltételezhető, hogy a trofitás növekedésével a mikrobiális hurokban zajló folyamatok intenzívebbé válnak. Szintén erre utalhat a mikrobiális hurok alapvető energiaforrását jelentő oldott szerves szén (DOC) mennyisége is, mely mindhárom élőlénycsoporttal szignifikáns korrelációt mutatott, nagyobb fitoplankton, bakterioplankton és nanoflagelláta biomassa mellett nagyobb DOC értékek voltak megfigyelhetők.

A Balatonban végzett *in situ* kísérletek eredményei alapján a pikofitoplanktonra nézve a heterotróf nanoflagelláták kifalási nyomása nem bizonyult jelentősnek, táplálkozásukra a baktériumok fogyasztása volt jellemző. Azokban a mintákban, amelyekből a nagyobb méretű zooplanktont kiszűrtük, azaz a nanoflagelláták voltak a domináns fogyasztók, nagyobb kifalást rátát találtunk, így a Balatonban fontos szerepük lehet a bakterioplankton mennyiségének szabályozásában. Ezen túlmenően a szabályozás minőségi hatást is kifejthet, ami kísérleteink során a kis méretű, gömb alakú coccusok teljes bakterioplanktonhoz viszonyított nagyobb kifalási rátájában mutatkozott meg. A mintavételek és az inkubációs kísérletek közötti eltérés feltételezhetően annak köszönhető, hogy a mikrobiális hurok jellege

a víz kémiai és fizikai tulajdonságaitól és az élőlénycsoportok aktivitásától függően víztestenként eltérő képet mutathat.

A pikocianobaktériumok molekuláris taxonómiai jellemzése

A pikocianobaktériumok DNS alapú taxonómiai vizsgálatát két régió alapján végeztük, a 16S riboszómális RNS génje (16S rDNS) és a fikocianin operon (*cpcBA*-IGS) összehasonlító bázissorrend elemzése segítségével. Jelenleg kontinentális vizek esetében ezek a legszéleskörűben vizsgált DNS szakaszok, így megfelelő referencia adatbázis áll rendelkezésre a taxonok azonosításához.

Összesen ötvenöt környezeti klón szekvencia vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy legalább tizenkettő taxonómiai csoport fordul elő a Balatonban, amelyek közül több, eddig irodalmi adatokból nem ismert genotípus volt. Mindezek mellett kidolgoztunk egy a fikocianin operon hosszheterogenitásán alapuló módszert (LH-PCR) nagyszámú minta pikocianobaktérium diverzitásának meghatározásához. Ennek alkalmazásával a Balatonban előforduló *Synechococcus* csoportok és környezeti változók között szignifikáns kapcsolatokat állapítottunk meg, amik az egyes (akár nehezen tenyésztethető) taxonok előfordulásához szolgáltatott újabb adatokat, pl. a „szubalpin I” csoport (más néven „B csoport”) tagjai a hidegebb időszakokat (hidegebb vizeket) kedvelik, míg a „C csoportra” melegkedvelő kolóniás formák jellemzőek.

Nyolc balatoni, két Fertő tóból származó és hat Böddi-székből izolált pikocianobaktérium törzs vizsgálatát végeztük el a 16S rDNS és a *cpcBA*-IGS régiók bázissorrend elemzése alapján. Az izolátumok öt különböző csoportba tartoztak. Az általunk végzett részletes filogenetikai elemzések rámutattak arra, hogy a korábban újként leírt vagy földrajzilag korlátozott előfordulással rendelkező csoportok jelentős része adatbázis keresési hibák és alulmintázottság eredményei. Az egyes pikocianobaktérium csoportok földrajzi előfordulására vonatkozó adatokat frissítettük és kiegészítettük, az egyes nem-tengeri *Synechococcus* csoportokhoz ökológiai jellemzőket igyekeztünk rendelni, pl. megállapítottuk, hogy az „LS II csoport” oligotróf vizekre jellemző.

Eredményeink alátámasztották, hogy a pikocianobaktériumok esetében az endemizmusok előfordulása kevésbé jelentős, mint ahogy az utóbbi néhány évben megjelent közlemények alapján gondolható lenne, az elterjedésüket vélhetőleg nem korlátozzák jelentősen a földrajzi barrierek, és az egyes taxonok előfordulásában az ökológiai és hidrológiai jellemzők a meghatározóak. Az Erdélyi-medence sós tavaiban élő *Synechococcus*

közösségek vizsgálata is ezt erősítette meg, hiszen itt a korábban csak tengerekből kimutatott „VIII csoport” előfordulását igazoltuk.

A pikoeukarióták molekuláris taxonómiai jellemzése

A téli algaközösség diverzitásának vizsgálatához három különböző típusú víztérből (Duna-Tisza közti szikes tavak, Fertő, Balaton) összesen 34 pikoeukarióta alगतörzset izoláltunk. A törzsek izolálása módosított BWM illetve BG11 táptalajon, 21°C-on, 40 µmol foton m⁻² sec⁻¹ fényintenzitáson 10: 14 órás sötét: világos ciklusban történt. A kis sejtméret (<2 µm) és a morfológiai karakterek hiánya miatt a törzsek azonosítása csak molekuláris filogenetikai módszerekkel volt lehetséges. A pikoeukarióta törzsek azonosítása 18S rRNS génjük összehasonlító bázissorozat elemzése alapján történt.

A Duna-Tisza közti szikes tavakból tizenhárom pikoeukarióta alगतörzset izoláltunk. Molekuláris filogenetikai alapon (18S rDNS szekvencia) a tizenhárom törzs három zöldalga (Chlorophyta) taxont képviselt: két törzs (ACT 0617 és ACT 0619) a *Mychonastes/ Korschpalmella/ Pseudodictyosphaerium* (Chlorophyceae) csoportba, nyolc alगतörzs (ACT 0604, ACT 0605, ACT 0606, ACT 0607, ACT 0610, ACT 0621, ACT 0901 és ACT 0902) törzs a *Choricystis* nemzetséghez (Trebouxiophyceae) tartozott, három alगतörzs (ACT 0608, ACT 0622 és ACT 0602) pedig egy új, 18S rDNS alapon jól elkülönülő nemzetség képviselőjének bizonyult. Az új algát az ACT 0608 törzs teljes 18S rDNS szekvenciája alapján *Chloroparva pannonica* néven írtuk le, részletes morfológiai (pásztázó és transzmissziós elektronmikroszkópos) jellemzést végezve.

A Duna-Tisza közti szikes tavakból leírt új algafajhoz (*Chloroparva pannonica*) leginkább közel álló csoport taxonómiai viszonyainak tisztázásához mindemellett három alगतörzs (*Nannochloris eucaryotum* UTEX 2502, *N. eucaryotum* SAG 55.87 és *Chlorella minutissima* SAG 1.80) morfológiai (transzmissziós elektronmikroszkóp) és molekuláris filogenetikai jellemzését is elvégeztük. A kapott eredmények alapján az érintett alगतörzseket egy új alganemzetségbe (javasolt név: *Pseudochloris wilhelmii*) soroltuk át, amelynek leírását a SAG 55.87 törzs morfológiai és biokémiai jellemzése alapján végeztük el.

A Fertő belső-tavából (Ruster Poschen) hat pikoeukarióta alगतörzset izoláltunk. A pikoeukarióta törzsek többsége 18S rDNS szekvenciájuk alapján a *Choricystis* nemzetségbe tartozónak bizonyult, egy törzs pedig a *Mychonastes/ Korschpalmella/ Pseudodictyosphaerium* csoportba tartozott.

A Balaton téli algaközösségének jellemzése céljából összesen 15 pikoeukarióta alगतörzset izoláltunk és azonosítottunk molekuláris filogenetikai módszerekkel. 18S rDNS szekvenciájuk alapján a törzsek többsége a Fertőhöz hasonlóan a *Choricystis* nemzetségbe tartozónak. A Szigligeti-medencéből izolált ACT 1016-os és ACT 1017-es számú törzs a *Mychonastes/ Korschpalmella/ Pseudodictyosphaerium* csoportba tartozott. Munkánk során két pálcika alakú, nagyobb méretű sejtekkel rendelkező zöldalgát is izoláltunk (ACT 1014 és ACT 1015) a Szigligeti-medencéből. Az ACT 1014-es törzs 18S rDNS szekvenciája alapján *Stichococcus bacillaris*-nak, az ACT 1015-ös törzs pedig *Nannochloris bacillaris*-nak bizonyult.

Jelen munka során elsőként vizsgáltuk sekély tavaink téli pikoalga közösségének diverzitását. A kapott eredmények alapján elmondhatjuk, hogy más tavakhoz hasonlóan sekély tavaink pikoeukarióta közösségének jellemző (vagy könnyebben tenyészthető) tagjai a *Choricystis* és a *Mychonastes/ Korschpalmella/ Pseudodictyosphaerium* csoportba tartoznak. A szélsőséges tulajdonságokkal rendelkező (magas pH, vezetőképesség, kicsiny átlátszóság) Duna-Tisza közti szikes tavakban ugyanakkor a *C. pannonica* képviselői is megtalálhatóak, amely alga előfordulását ez idáig máshonnan még nem közölték.

A fitoplankton elsődleges termelése télen és a pikoeukarióta algák szerepe

A Balaton Keszthelyi- és a Siófoki-medencéjéből vett vízzel fotoszintetronban végzett kísérletekkel meghatároztuk a teljes fitoplankton illetve a piko-frakció fotoszintézisének fényintenzitás függését ^{14}C módszerrel 2009, 2010 és 2012 telén, illetve összehasonlításképpen 2009 nyarán is. A Fertő nyíltvizében ugyanezeket a méréseket 2010 és 2011 telén, valamint 2010 nyarán végeztük el. A kapott eredményekből empirikus modell segítségével meghatároztuk az egyes frakciók (<3 μm és >3 μm) fotoszintézis-fényintenzitás görbéinek paramétereit. A Zab-székből 2012 telén észlelt alga tömegprodukciónak során a fitoplankton fotoszintézisének fényintenzitás függését is meghatároztuk az előzőekhez hasonlóan.

A téli minták fotoszintézis-fényintenzitás görbéinek összehasonlítása során igen jelentős eltéréseket figyeltünk meg az egységnyi a-klorofillra vonatkoztatott P_{max} értékek tekintetében a téli és a nyári adatok összehasonlításakor: a teljes fitoplankton a-klorofillra vonatkoztatott P_{max} értéke a nyári időszakban mintegy hatszor magasabb volt, mint a téli időszakban, amely valószínűleg az alacsony hőmérséklet limitáló hatásával állt összefüggésben. A fénytélítési paraméter (I_k) és az optimális fényintenzitás (I_{opt}) értéke a téli

időszakban szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a nyári időszakban, ami a fitoplankton (téli) fénylimitált körülményekhez való alkalmazkodását jelezte.

A téli pikoalga közösség planktonikus elsődleges termelésben játszott szerepét elsőként határoztuk meg haza sekély tavainkban. A pikoalgák részesedése a Siófoki-medencében mind a téli, mind a nyári mérések során 27-30% volt. A Keszthelyi-medencében 2009 és 2012 telén és 2009 nyarán 41-44%, 2010 februárjában 15% részesedést kaptunk, amely alacsonyabb érték a *Cryptomonas* és *Rhodomonas* fajok elszaporodásának volt köszönhető. A Fertő nyíltvizében a pikoplankton részesedése télen a nyíltvízben 42-44%, a belső tóban 35-40% volt. A Zab-székben az elsődleges termelés 100%-át a pikoalga közösség adta. A téli időszakban végzett frakcionált fotoszintézis mérések eredményei megmutatták, hogy a pikoplankton jelentősége sekély tavainkban télen sem marad el a nyárhoz képest. A pikoalgák részesedése a fényintenzitás függvényében változott, alacsonyabb fényintenzitáson magasabb volt. A kapott eredmények bizonyították a pikoplankton frakció jobb fényhasznosítását, valamint a téli időszakra jellemző pikoeukarióta algák jelentős szerepét sekély tavainkban.

A pikoeukarióták téli dominanciájának okai

Terepi méréseink alapján megállapítottuk, hogy az autotróf pikoplankton szezonális dinamikájának szabályozásában a fény és a hőmérséklet meghatározó szerepet játszik. A Balatonban, a Kis-Balatonban, a Fertő belső tavában, valamint a Duna-Tisza közti szikes tavakban a pikocianobaktériumok és a pikoeukarióták részesedése a pikoplankton biomasszájából a hőmérséklettel jelentősen változott. Mindegyik vizsgált terület esetében a nyári időszakra jellemző magas hőmérsékleten pikocianobaktérium dominanciát, a téli időszakra jellemző alacsony hőmérsékleten pedig pikoeukarióta dominanciát figyeltünk meg. Ugyanakkor a hőmérséklet csökkenése mellett télen a vízszlopba jutó fény mennyisége is jelentősen kisebb volt, mint nyáron.

Izolált pikoeukarióta és pikocianobaktérium törzsekkel, kontrollált laboratóriumi körülmények között végzett fotoszintézis vizsgálatok segítségével igazoltuk a téli és a nyári algák eltérő hőmérséklet- és fény preferenciáját, amely magyarázatul szolgált a természetben megfigyelt viselkedésükre. A fotoszintézis-fényintenzitás görbék paraméterei alapján a pikoeukarióta törzs maximális fotoszintetikus rátája (P_{max}) és fényhasznosítási koefficiense (α) 15 °C alatt nagyobb volt, mint a pikocianobaktériumé, e felett pedig megfordult a helyzet. Az alacsony hőmérsékletre való jobb alkalmazkodóképesség a pikoeukariótáknak

kompetitív előnyt jelent a téli időszakban a pikocianobaktériumokkal szemben. A hőmérséklet mellett a fény is fontos szabályozó tényezőnek bizonyult: alacsonyabb hőmérsékleten a pikoeukarióta törzs jobban hasznosította a gyenge fényt, mint a pikocianobaktérium. Eredményeink alapján a pikoeukarióták téli dominanciája és a pikocianobaktériumok nyári dominanciája különböző hőmérséklet- és fénypreferenciájukkal áll összefüggésben.

A tél a tavak életében – konklúzió

Megállapítottuk, hogy a tél sekély tavaink életében nem nyugalmi, hanem egy aktív időszak, amelyben olyan algák (elsősorban piko-méretű zöldalgák) játsszák a fő szerepet, amelyek a nyári félévben nem találhatóak meg. Ezen algák anyagcseréje kevésbé intenzív, mint a nyáriaké, de hatékonyan alkalmazkodtak a téli körülményekhez. Elviselik a téli fényszegény körülményeket, sejtjeik a-klorofill tartalma magasabb, fotoszintézisük alacsonyabb fényintenzitásnál telítődik. Ökofiziológiai vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy fény- és hőigényük egyaránt alacsonyabb, mint a nyáriaké. Izolált törzseik eltérő hőmérséklet- és fénypreferenciája kielégítő magyarázatul szolgál a természetben megfigyelt viselkedésükre. A molekuláris filogenetikai módszerek lehetővé tették a téli algaközösségek eddig ismeretlen diverzitásának feltárását és egy új algafaj és egyben új nemzetség a *Chloroparva pannonica* leírásához vezettek.