

SZIKES TAVAINK KÜLÖNLEGES ÉLŐVILÁGA ÉS ÖKOLÓGIAI RENDSZERE

VÖRÖS LAJOS¹ – BOROS EMIL² – V.-BALOGH KATALIN¹ – NÉMETH BALÁZS¹
– SOMOGYI BOGLÁRKA¹

1 - MTA Balatoni Limnológiai Kutatóintézet, 2 - MHT Szikes Vízi Munkacsoport

Bevezetés

Szikes tavaink múltbeli jelentősége

Hazánk Európa szikes vizekben leggazdagabb területe. A szikes tavak emberi megítélése az elmúlt másfél évszázad során jelentősen megváltozott. Az alföldi rendszeresen kiszáradó szikes tavak és a vízjárta szikes területek az 1800-as években nagyon fontos ipari nyersanyagforrások voltak. A sziksó, ami nem más, mint a természetes szóda (nátriumkarbonát) a szikes vizek kiszáradása után fehér kéregként borítja a felszínt. Ezt korábban összeseperték és begyűjtötték, majd tovább tisztították a sziksógyárakban, azaz vízben oldották, szűrték és üstökben addig főzték, míg kásaszerű anyaggá alakult, végül kemencében kihevítették. Az országban több tucat sziksógyár működött, például Debrecen környékén Konyáron, a Fertőzugban Illmitzen, Kecskemét és Szeged környékén stb. Nagy sziksógyár működött a Palicsi-tó partján is. A sziksófőzésnek a szintetikus szódagyártás vetett véget és a 19. század közepén ez az iparág lassan elhalt (Szathmáry 1933).

A 19. század végén és a 20. század elején a szikes tavak ismét felértékelődtek, vizük és iszapjuk gyógyhatása miatt. Az 1911-ben kiadott „Magyar Fürdő Kalaluz” szerint híres volt a Szabadka melletti Palicsi-tó, melynek szikes vize és iszapja egyaránt gyógyhatású volt, valamint a Melence község melletti gyógyiszapfürdő a Ruszanda-tó partján. A Kiskundorozsma melletti sziksós tavak gyógyhatását már az 1800-as évek elején felismerték, 1861-ben pedig a dorozsmai sziksós tó körül deszkabodék épültek az odalátogató, gyógyulni kívánó közönség jobb kiszolgálása érdekében (Sztriha 1937). Eredetileg az Orosháza melletti Gyopárosfürdő és Kakasszékfürdő is a szikes víz és iszap gyógyhatására alapult. Ezeknek a sekély vizeknek a nyarankénti kiszáradása megnehezítette a fürdőélet kialakulását, amin, a legtöbb helyen vízpótlással segítettek, utóbbi viszont az eredeti szikes gyógyfürdő jelleg részbeni vagy teljes megszűnését eredményezte.

Szikes tavaink limnológiai kutatása

A szikes vizek limnológiai kutatása közel félévszázados múltra tekint vissza, ez elsősorban a különleges kemizmusra és annak az élővilágra gyakorolt hatására fókuszált (Tamásné Dvihally Zsuzsanna 1999, Schmidt 2003). Egészen a legutóbbi időig teljesen hiányzott a vízalatti fényviszonyok ismerete (Vörös et al. 2006), a több évtizedes algológiai kutatás is a minőségi jegyekre koncentrált és egyáltalán nem rendelkezünk mennyiségi adatokkal a fehér vizű szikes vizek planktonikus algaegyütteseiről (Fehér és Schmidt 2003). A víz színe szerint a szikes tavak egy részét fehér, más részét pedig fekete tónak nevezik, az előbbieket zavaros szürkésfehér színűek, utóbbiak fenéig átlátszóak, de sötét színűek. A fehér vizű tavak a lebegő agyagkolloidoktól zavarosak, Secchi-átlátszóságuk mindössze 1-5 cm (Megyeri 1959). Megyeri a két típus közötti számos átmenetről is említést tesz, sőt előfordulhat, hogy egyazon tómederben a víz egyik része zavaros piszkosfehér színű, a másik pedig fekete. Csak a

legutóbbi időben vált ismertté, hogy a Sárvíz völgyében kristálytisza, átlátszó vizű szikes tavak is vannak, amelyek fenekét csillárkamoszat gyepe fedti.

Szikes tavaink geológiai, hidrológiai, ökológiai és természetvédelmi szempontból egyaránt egyedülálló speciális élőhelyek, ezért valamennyi hazai szikes tavunk „ex lege” védett. A legújabb 2000-ben megindult kutatások rendkívül sajtószerű bakteriális méretű algák uralta algaegyüttesek jelenlétét mutatták ki az ún. fehér vizű szikes tavakban (Vörös és V.-Balogh 2003, Vörös et al. 2005), ennek kapcsán 2004-ben vizsgálatsorozatot indítottunk vizük komplex, az algaegyüttesek létfeltételei szempontjából releváns tulajdonságai feltárására. A jelen dolgozat ennek a komplex kutatómunkának az eredményeire épül, bemutatja a fehér vizű szikes tavak algaélet szempontjából legfontosabb fizikai és kémiai tulajdonságait (Vörös et al. 2006), a fitoplankton mennyiségi viszonyait, elsődleges termelését és végül a bakteriológiai és zoológiai kutatások eddigi eredményei alapján felvázoljuk élőlényegyütteseik és környezetük trofikus kapcsolatrendszerét (Vörös et al. 2008, Boros et al. 2008a, 2008b).

Eredmények és megbeszélésük

A fitoplankton tömege és összetétele fehér vizű szikes tavakban

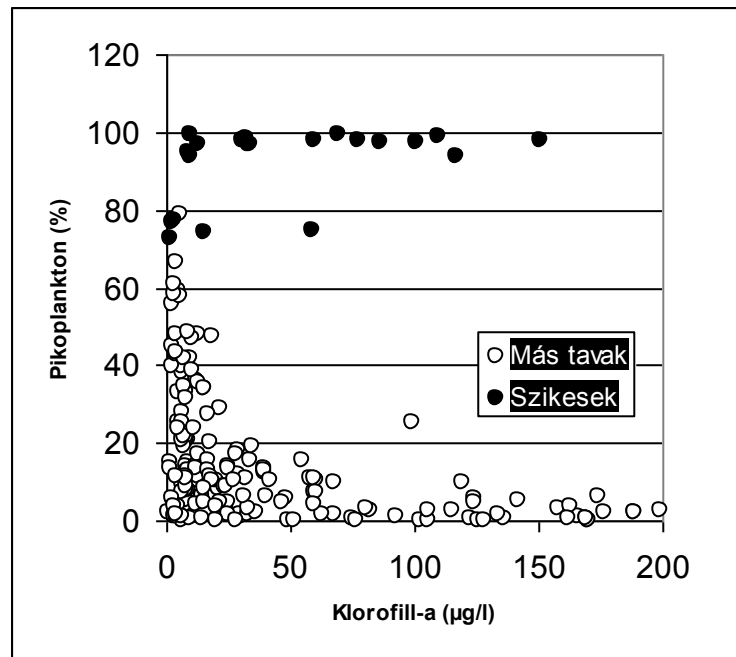
A 2001 és 2008 között végzett a-klorofill mérések alapján mindegyik vizsgált tó hipertrófnak minősült. A legismertebb és legkarakterisztikusabb fehér vizű tavakban, a Kelemen-székben az a-klorofill koncentráció meghaladta az 500 µg/l-t, a Zab székben megközelítette a 400 µg/l értéket, a Böddi-székben pedig meghaladta az 1000 mikrogrammot literenként (1. táblázat). Ezt a hatalmas algatömeget a Böddi-szék kivételével bakteriális méretű ún. pikoalgák hozták létre. Ezeknek a kisméretű eukarióta és prokarióta algáknak taxonómiai státuszát csak most kezdjük megismerni (Felföldi et al. 2008). A tavakban tömegesen előforduló 1-2 µm átmérőjű kokkoid zöldalgák és pikocianobaktériumok maximális egyedsűrűsége meghaladta a 100 milliót egy milliliter vízben. A pikoplanktonnak ilyen mértékű tömeges előfordulását eddig még sehol a világon nem közölték.

1 táblázat. Az a-klorofill koncentráció maximális értékei fehér vizű szikes tavakban 2001-2008 közötti mérések alapján

Víztér	a-klorofill (µg/l)	Jellemző planktonikus alga
Kelemen-szék	545	pikocianobaktérium és piko-eukarióta
Zab-szék	393	pikocianobaktérium és piko-eukarióta
Szabadszállási Búdös-szék	797	pikocianobaktérium és piko-eukarióta
Solti Bogárczó-szék	477	pikocianobaktérium és piko-eukarióta
Böddi-szék	1550	pikocianobaktérium és <i>Oocystis submarina</i>
Pusztaszeri Búdös-szék*	118	pikocianobaktérium és piko-eukarióta
Kardoskúti Fehér-tó*	116	pikocianobaktérium és piko-eukarióta

*Kévs adat

Ezek a nagyon sekély állóvizek (vízmélység <0,5m) nemcsak a pikoplankton nagy egyedszáma és tömege miatt különlegeseek, hanem azért is, mert úgy tengeri, mint édesvízi körülmények között a trofitás (összes algabiomassza) növekedésével a pikoplankton részaránya csökken, de ez a világszerte megfigyelt tendencia a fehér vizű szikes tavakban nem érvényesül (1. ábra). Ennek a kivételes viselkedésnek az okát egyelőre nem ismerjük.



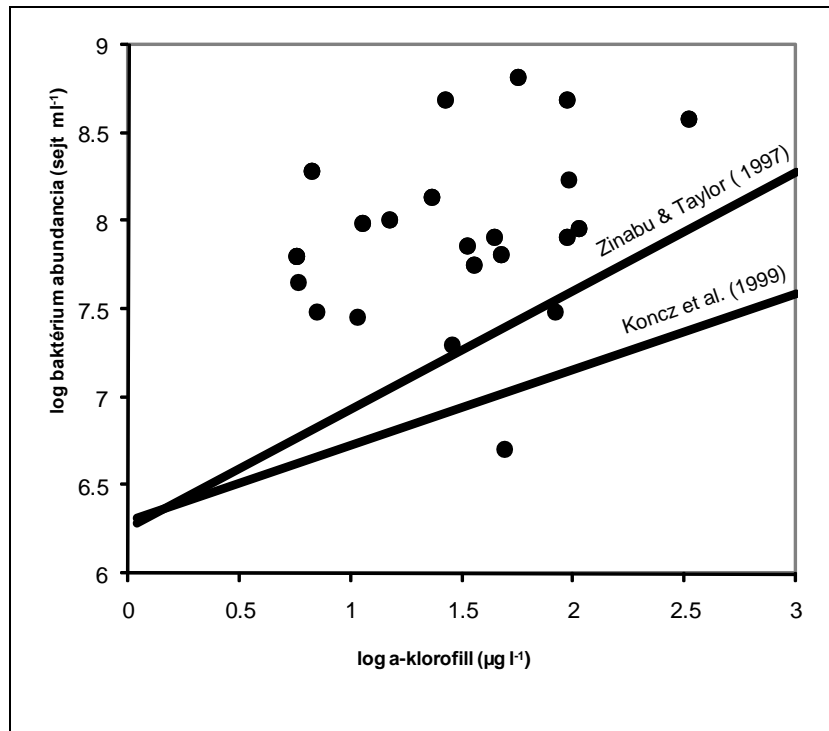
1. ábra. Összefüggés a fitoplankton összes tömege (a-klorofill) és a pikoplankton részesedése között édesvízi sekély tavakban és a fehér vízi szikesekben

A fitoplankton elsődleges termelése és a planktonegyüttesek légzése fehér vízi szikes tavakban

A fitoplankton elsődleges termelését 2002-ben mértük a Kelemen-székben és a Zab-székben sötét-világos palack módszerrel oxigén indikálással, márciustól a tavak augusztus havi kiszáradásáig. A szénben kifejezett bruttó elsődleges termelés értéke a Kelemen-székben $50 \text{ g C/m}^2/\text{év}$ nek, a Zab-székben $45 \text{ g C/m}^2/\text{év}$ nek adódott, ami igen alacsony oligotróf vizekre jellemző érték és ellentmond a tavak fentiekben megállapított hipertróf státuszának. Ennek a látszólagos ellentmondásnak magyarázata a tavak sekélységében és rendkívül kicsi, gyakran csak néhány centiméteres eufotikus mélységében rejlik.

Ugyanerre az időszakra vonatkoztatva a planktonikus élőlényegyüttes szénben kifejezett légzése a Kelemen-székben $90 \text{ g C/m}^2/\text{év}$ nek, a Zab-székben $100 \text{ g C/m}^2/\text{év}$ nek adódott, ami egyben azt is jelenti, hogy ezek a tavak heterotróf rendszerek, ahol az algák elsődleges szervesanyag termelése mellett azzal megegyező méretű külső szervesanyag források is vannak. Ezt a megállapítást bizonyítja az a tény, hogy a tavak vizében a planktonikus baktériumok abundanciája nem korrelál a fitoplankton tömegének (a-klorofill) koncentrációjával, ami egyébként általános jelenség tavakban és tengerekben.

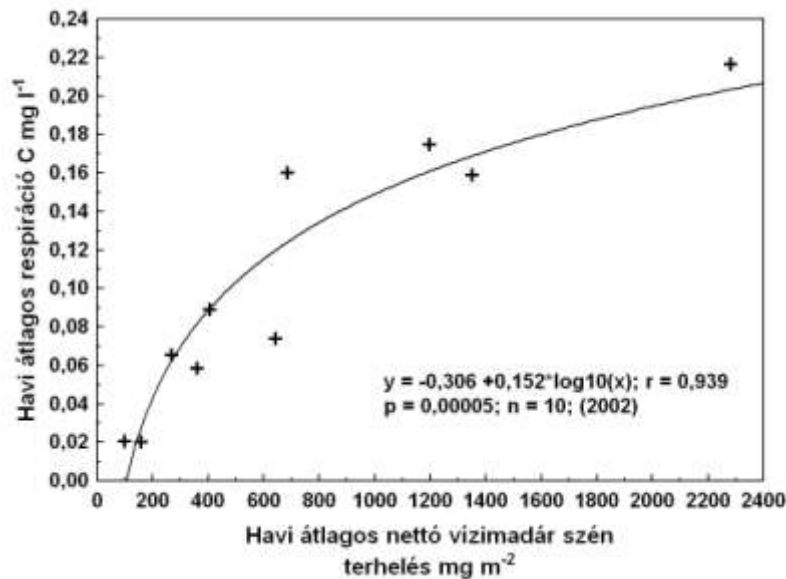
A vizsgált tavakban a bakterioplankton mennyisége legalább egy nagyságrenddel haladja meg az a-klorofill alapján sekély tavakban várható értéket, és ugyancsak meghaladja az etiópiai sekély szikes tavak várható értékeit is (2. ábra). Jelenlegi ismereteink szerint a hazai szikesekben mért heterotróf baktérium abundancia értékekhez hasonló nagyságút (maximum $659 \cdot 10^6$ sejt/ml) eddig még nem mértek természetes vizekben. Önként adódik a kérdés, hogy mi a forrása ennek a nagymértékű külső szervesanyag terhelésnek, a továbbiakban erre keressük a választ.



2. ábra. Összefüggés a fitoplankton biomassza (a-klorofill) és a bakterioplankton abundancia között sekély tavakban és a fehér vizű szikesekben

A vízimadarak anyagforgalmi szerepe fehér vizű szikes tavakban

A tavakat felkereső vízimadarak mennyisége évszakosan jelentősen változik, nyáron nagyon kevés madár keresi fel a tavakat, ezzel szemben ősszel (télen) és tavasszal a vonuló és az áttelelő madarak hatalmas tömege figyelhető meg a vizeken. Ennek következtében a madarak által okozott szervesanyag, valamint urea, ásványi nitrogén és foszfor terhelés mértéke is jelentősen változik évszakosan. Szoros és szignifikáns korrelációt kaptunk a planktonikus élőlényegyüttesek légzése és a vízimadarak (nettóimportőr gild) becsült nettó szerves C terhelése között, ami egyértelmű bizonyíték arra nézve, hogy ezen tavak külső szervesanyagterhelését, és következésképpen kiemelkedő bakterioplankton gazdagságát a vízimadarak okozzák (3. ábra). Mindemellett az sem elhanyagolható körülmény, hogy a tavak algásodásáért is a madarak a felelősek, hiszen azok külső P és N terhelése is a vízimadaraktól származik (Boros 2007).



3. ábra. Összefüggés a havi átlagos nettó vizimadár szénterhelés és a szénben kifejezett havi átlagos respiráció között a Kelemen-székben és a Zab-székben 2002-ben

A fehér vizű szikes tavak fitoplanktonjának fénylimitációja

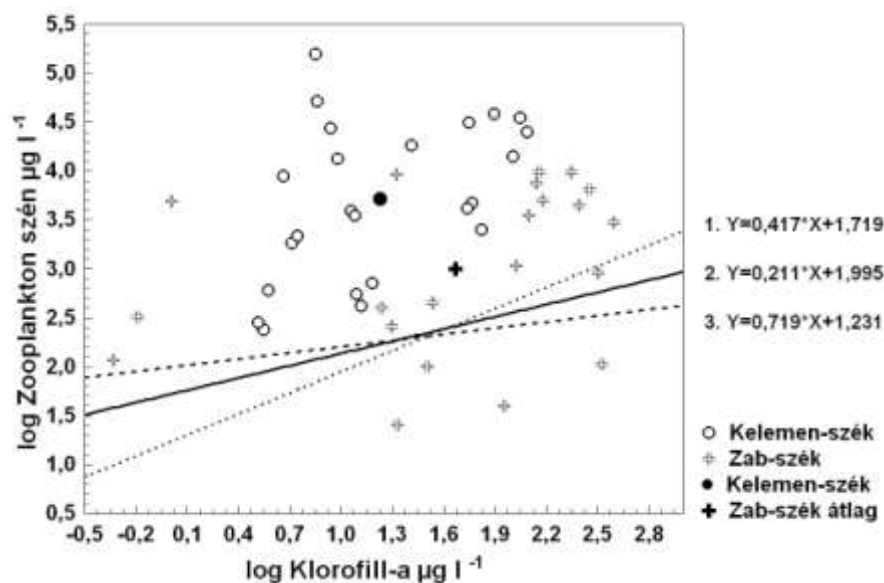
A világ tavainak többségében a fitoplankton szaporodását legtöbb esetben a növényi tápelemek, közülük is elsősorban a foszfor limitálja. A vizsgált szikes tavak esetében ez nincs így, itt óriási P, és mérsékelt N túlkínálat van. Az oldott reaktív P koncentráció rendszerint több ezer mikrogramm literenként. A NO₃-N koncentráció általában az ortofoszfát foszforénál is kisebb, azaz a biológiailag hozzáférhető P és N aránya 1 alatti, ami relatív nitrogénhiányt jelez, hiszen az algák számára optimális N/P arány 6 körüli (Redfield et al. 1934). Mindebből az is látszik, hogy a szikes tavakban a fitoplankton nem tápanyaglimitált. Ennek ellenére sokszor hosszú időn át nagyon kicsi a fitoplankton biomasszája, amiért a fénylimitáció okolható.

Az eufotikus mélység és a tavak teljes mélységének viszonya ($Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$ arány) a fitoplankton fotoszintézise és szaporodása szempontjából meghatározó tényező. Talling (1971) szerint a természetes fitoplankton együttesekben nettó fotoszintézis nem lehetséges akkor, ha a hányados értéke 5-nél nagyobb. Grobbelaar (1985) szerint a kritikus $Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$ érték 5,7. Az általunk vizsgált tavakban a $Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$ hányados értéke az esetek 40%-ában meghaladta az 5-öt, maximuma pedig 22 volt, azonban a fitoplankton biomasszáját a hányados növekvő értéke csak 12 felett korlátozta.

Ez rendkívül jelentős eltérés az általános tapasztalathoz képest és minden bizonnyal a vizsgált vizek rendkívüli sekélységével magyarázható. Ismert, hogy a túlélés szempontjából a $Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$ hányados értékén kívül a fitoplankton cirkulációjának sebessége is fontos tényező, továbbá sekély vízben azonos áramlási sebesség esetén is gyakrabban jutnak fényhez az algák, a fluktuáló fényintenzitás pedig növeli a fotoszintézis hatékonyságát (Denman and Gargett 1983). Szikes tavaink esete tehát nagyon eltér az átlagostól, de nem egyedülálló. A kenyai sekély és turbid Baringo tóban a $Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$ hányados 19 volt, de még ekkor is mérték nettó fotoszintézist (Schagerl and Odour 2003). A fénylimitációval függ össze az a jelenség is, hogy a tavak rendkívüli sekélysege ellenére azokból rendszerint hiányzik a fitobentosz, csak planktonikus algák fordulnak elő bennük.

A fitoplankton és a bakterioplankton sorsa fehér vizű szikes tavakban

Az algákat és a baktériumokat a heterotróf nanoflagelláták, a ciliáták és a kerekcsigák mellett a rákplankton fogyasztja. Amíg a tavak heterotróf egysejtűjeinek és kerekcsigáinak mennyiségi viszonyairól nincsenek ismereteink, a *Cladocera* és *Copepoda* plankton mennyisége jelentősen, legalább egy nagyságrenddel meghaladja a fitoplankton tömege alapján várható mennyiséget (4. ábra, Boros 2007). Ez azt is jelenti, hogy ezekben a tavakban az állatvilág produkciója alapvetően nem a planktonikus elsődleges termelésre épül, hanem más külső- és amint azt a fentiek során bemutattuk- madarak által importált szénforrásokra. A mezozooplankton kivételes gazdagságát ezekben a tavakban magyarázza a nagyon gazdag tápanyagkínálat (algák és baktériumok), de az minden bizonnyal összefügg potenciális fogyasztóik, a halak hiányával is. A vízipoloska és tócsarák dominálta nekton fogyasztói sem a halak, mint a felszíni vizek túlnyomó többségében, hanem a vízimadarak egy fajokban igen gazdag csoportja, az úgynevezett nettóexportőrök.



4. ábra. A Klorofill-a koncentráció és a zooplankton biomassza összefüggése a vizsgált szikes tavakon a nem szikes vizekre megállapított referencia egyenletekkel
(1) – alapadatokra: Auer et al. (2004), (2) – tavi átlagokra: Auer et al. (2004); (3) alapadatokra: McCauley and Kalf (1981).

Összegzés

A hazai sekély szikes tavainknak három típusa van, (1) kristálytisza, átlátszó, lebegő és oldott szervesanyagokban szegény vizek aljukon gazdag csillárcamoszat gyeppel, (2) barna vagy feketevizű színes oldott szervesanyagokban gazdag, lebegőanyagban szegény vizek és (3) piszkosfehér színű lebegőanyagoktól zavaros vizek. Utóbbiakra az eukarióta vagy prokarióta pikoalgák (átmérő $<2 \mu\text{m}$) dominanciája a jellemző. A fehér vizű szikes tavak egyedülálló pikoalga gazdagsága különleges természeti érték.

A fitoplankton biomassza (a-klorofill koncentráció) alapján fehér vizű szikes tavaink hipertóf minőségűek. A fehér vizű tavakban a magas lebegőanyag koncentráció és az oldott színes szerves anyagok együttesen limitálják a fitoplankton produkcióját, ezért az eufotikus

mélység nagyon kicsi, ennek következtében a felületegységre vonatkoztatott elsődleges termelés alapján a tavak oligotrófnak minősülnek.

A fehér vizű szikes tavak növényi tápanyagainak túlnyomó részét a vízimadarak szállítják, azokban sem a nitrogén sem a foszfor nem limitálja az algaéletet. A nettó importőr vízimadár csoport szervesanyag transzportja is nagyon jelentős, ez a tavak nettó heterotrófiáját okozza. A jelentős külső szervesanyag terhelés miatt a tavak bakterioplanktonja és zooplanktonja lényegesen gazdagabb, mint amit a fitoplankton elsődleges termelése indokol.

A tavakból a halak hiányoznak, szerepüket vízimadarak látják el. Ezért összességében megállapítható, hogy a hazai fehér vizű szikes tavak olyan különleges ökológiai rendszerek, ahol kulcsszereplők a vízimadarak. A tavakban folyó energiaáramlás kezdeti és végpontján egyaránt madarak állnak, ami limnológiai tekintetben egyedülálló tulajdonság.

Köszönetnyilvánítás

A munka az OTKA (K73369) támogatásával készült.

IRODALOM

- Auer, B., Elzer, U., Arndt, H. (2004): Comparison of pelagic food webs in lakes along a trophic gradient and with seasonal aspects: influence of resource and predation. *J. Plankton Res.* 26: 697-709.
- Boros E. (2007) Vízimadarak és fontosabb háttérváltozók szerepe fehér szikes vizek trofikus kapcsolataiban. Doktori értekezés, Debrecen, TTK.
- Boros, E., L. Forró, G. Gere, O. Kiss, L. Vörös & S. Andrikovics (2008a) The role of aquatic birds in the regulation of trophic relationship of continental soda pans in Hungary. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54: 189-206.
- Boros, E., T. Nagy, Cs. Pigniczki, L. Kotymán, K. V.-Balogh & L. Vörös (2008b) The effect of aquatic birds on the nutrient load and water quality of soda pans in Hungary. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54: 207-224
- Denman, K. L. and A. E. Gargett (1983) Time and space scales of vertical mixing and advection of phytoplankton in the upper ocean. *Limnol. Oceanogr.* 28: 801-815.
- Fehér G. és Schmidt A. (2003) A kiskunsági szikes tavak (KNP II) algológiai vizsgálata. *Természetvédelmi Közlemények* 10: 163-176.
- Felföldi T., Somogyi B., Márialigeti K. & Vörös L. (2008) Duna-tisza közti szikes tavak pikoplanktonjának molekuláris biológiai jellemzése. *Hidrológiai Közöny* 88: 55-57.
- Grobbelaar, J. U. (1985) Phytoplankton productivity in turbid waters. *J. Plankton Research* 7: 653-663.
- McCauley, E. and Kalff, J. (1981) Empirical relationships between phytoplankton and zooplankton biomass in lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 458-463.
- Megyeri J. (1959) Az alföldi szikes vizek összehasonlító hidrobiológiai vizsgálata. *Acta Academiae Paedagogicae Szegediensis* II. 91-170.
- Redfield A.C., (1934) On the proportions of organic derivations in sea water and their relation to the composition of plankton. In James Johnstone Memorial Volume. (ed. R.J.Daniel). University Press of Liverpool, pp. 177-192.
- Schagerl M. and S. O. Odour. (2003) On the limnology of Lake Baringo (Kenya): II: Pelagic primary production and algal composition of Lake Baringo, Kenya. *Hydrobiologia* 506-509: 297-303.
- Schmidt A. (2003) A kiskunsági szikes tavak (KNP II) összehasonlító vízkémiai vizsgálata. *Természetvédelmi Közlemények* 10: 153-162.
- Szathmáry L. (1933) A sziksfőzés története hazánkban. *Természetudományi Közöny* 65: 553-559.
- Sztriha K. (1937) Kiskundorozsma története. *Kiskundorozsma község kiadása*. pp. 358.
- Talling, J. F. (1971) The underwater light climate as a controlling factor in the production ecology of freshwater phytoplankton. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 19: 214-243.
- Tamásné Dvihally Zs. (1999) Hazai Szikes vizeink kémiai jellege. *Acta Biol. Debr. Oecol. Hung.* 9: 281-292.
- Vörös L. & V.-Balogh K. (2003) Fotoautotróf pikoplankton Duna-Tisza-közi szikes tavakban. *Természetvédelmi Közlemények* 10: 185-189.
- Vörös L., V.-Balogh K. és Boros E. (2005) Pikoplankton dominancia szikes tavakban. *Hidrológiai Közöny* 85: 166-168.
- 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 Közöny* 86: 139-141.
- Vörös, L., Somogyi, B., Boros, E. (2008) Birds cause net heterotrophy in shallow lakes. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 54: 23-34.