

## OTKA - zárójelentés (2005-2008)

### 1. Bevezetés és célkitűzések

Az oligotrofizációs folyamatok stabilitása, a külső rehabilitációs beavatkozások eredményessége szempontjából döntő jelentőségű a tápanyagok, mindenek előtt a foszfor és a nitrogén, belső terhelésének a mértéke, és dinamikája. A külső terhelés optimalizálása mellett a belső tápanyagterhelést elsősorban a tápláléklánc szerkezetének és funkcionális csoportjai mennyiségi viszonyainak függvényében befolyásolhatjuk oly módon, hogy az alternatív tiszta vízű fázis a lehető leghosszabb ideig fennmaradjon. A hallal manipulált hipertróf ökoszisztémát és annak fizikai, kémiai és biológiai struktúráit és funkcióit négy évig, folyamatosan, mind a négy évszakot felölelően, vizsgáltuk. Különös hangsúlyt fektettünk a tápláléklánc elemeinek forrásoldalról (tápanyagok, fito- és zooplankton, makrozoobentosz) és a végső fogyasztóknak (halak), a felhasználói oldalról történő kutatására. Az egyik legfontosabb célkitűzésünk volt meghatározni azokat a tényezőket (abiotikus/biotikus), amelyek leginkább hozzájárulnak a manipulált ökoszisztémákban az un. zavaros/tiszta vízű periódusok kialakulásához.

Kutatásaink során arra kerestük a választ: a) a 2000-2001-ben végrehajtott halas manipuláció miként befolyásolja egy sekélyvízi ökoszisztémában a tápláléklánc szerkezetét, működését; b) az új struktúra miként befolyásolja a trofitást (algásodást); c) mennyire stabil a halas manipulációt követően kialakuló jó vízminőség sekély ökoszisztémában.

A fenti alapvető célkitűzések megválaszolásához 2005-2008. között egy sor vizsgálatot és *in situ* kísérletet végeztünk a Kis-Balaton Tározó (KBT) izolált, kísérleti célra használt, sekély (átlagos vízmélység 1.2 m), oválist közelítő alakú, 11 ha-os Major tóban. A KBT Major taván 1999-2002. között, az előző OTKA-témánk keretében, végzett manipulációs kísérleteket és azok eredményét részletesen ismertettük (Tátrai et al., 2003a,b, 2005, Jeppesen et al., 2007). A folyamatos, mind a négy évszakot felölelő halmanipulációs kísérlet kezdetekor a Major-tó teljes halállományát (> 330 kg/ha) 2000-ben lehalásztuk és csökkentett mértékben (150 kg/ha) újratelepítettük. A ragadozó halak biomassza arányát ugyanekkor 5- ről 14 %-ra növeltük. A beavatkozás hatására jelentősen csökkent a Major tó algásodása: a kísérlet végére a hipertróf rendszer mezotróffá változott. Megszűnt a tározó többi részére oly jellemző kékalga virágzás.

A kutatási program során, 2005-2008. évek között, monitoring jelleggel, megfelelő gyakorisággal mintavételekkel, illetve *in situ* mérésekkel, kísérletekkel vizsgáltuk:

### 2. Fizikai, kémiai és biológiai környezet a víztestben és az üledékben (2005-2008 között évente)

Az ökoszisztéma működésének jellemzéséhez a Major tó hat pontján műszerrel mértük a víztestben (három partközeli, három az un. nyíltvízi), március-október között kéthetente/havonta október-március között havonta: a pH-t, vezetőképességet, zavarosságot, oxigénkoncentrációt és hőmérsékletet. A belső tápanyagterhelés jellemzéséhez hat ponton mértük az üledék pH-t, és redox potenciált, mint a tápanyag felszabadítás legfontosabb környezeti tényezőit.

Vizsgáltuk a víz fito-és rákplanktonját, annak szerkezetét, meghatározzuk domináns funkcionális méretcsoportjait, valamint azok szezonális dinamikáját. Meghatároztuk a rákplankton domináns csoportjainak mennyiségi viszonyait, majd ennek alapján becsültük a *Copepoda/Cladocera* algaeltávolító hatását.

### **3. Az üledék gerinctelen faunája és szerepe a tápanyagtranszportban (2005-2008. között évente)**

A tápanyag transzport becsléséhez vizsgáltuk az üledék tápanyag státusát és annak dinamikáját a makrozoobentossal egyidejűleg és az azzal azonos protokoll szerint. *In situ* kísérletekben mértük az üledékből a vízbe juttatott tápanyagok koncentrációját (SRP, TDP, TP). Meghatároztuk a makrozoobentosz potenciális szerepét a belső tápanyagterhelésben.

### **4. Tápanyagtranszport az alga-zooplankton- hal tápláléklánc mentén (2006. év)**

A rákplanktonnak a tápanyagtranszportban betöltött szerepét az alga-zooplankton-hal táplálékláncban fóliahengerekben (limnokorall) vizsgáltuk

**-alga-zooplankton** rendszerek, zárt fóliahengerek, halmentes rendszerek (3 limnokorall). Tóvizet, zooplankton magukba foglaló rendszerek az üledék kizárásával, **-alga-zooplankton-hal** rendszerek, zárt fóliahengerek (3 limnokorall), hallal (fiatal, zooplankton fogyasztó bodorkával, 10 g/m<sup>2</sup> mennyiségben) népesített rendszerek.

A limnokorallokban mértük a víz és az üledék N-és P koncentráció változását, a bióta (fitoplankton, zooplankton) populáció-dinamikájának időbeni lefutását.

### **5. A makrozoobentosz és a hal szerepe a tápanyagtranszportban (2007. év)**

A zoobentosz tápanyag kiválasztását, az üledékbe kiülepített tápanyagok formáit és mennyiségét a tápanyagtranszportban, az alga-zoobentosz-hal táplálékláncban betöltött szerepét fóliahengerekben (limnokorall) vizsgáltuk. A limnokorallokat (összesen 6-ot) a Major tó egyik széltől védett öblében helyezük ki.

### **5. Halállományok dinamikái és trofikus kapcsolatai**

A Major tó meglévő halállományainak struktúráját, populáció dinamikáját és trofikus kapcsolatait 2005- 2008. évek között évszakosan vizsgáltuk. Meghatároztuk a faji összetételt és becsültük a halászati hozamokat (CPUE). Mértük a domináns (3 faj) préda és ragadozó állományokba épült N és P mennyiségét. A kopoltyúhálós halászattal párhuzamosan évente és évszakosan hidroakusztikus mérést végeztünk a Major tó egész területén:

A különböző halfajok (ragadozók: csuka, harcsa, pontyfélék: bodorka, dévérkeszeg, ezüstkárász, ponty) halak napszakos mozgás-és táplálkozási aktivitását nyáron és ősszel rádiótelemetriás (ATS, Sonotronics Inc, USA) módszerrel mértük 2005-2006.

### **6. Eredmények**

Kutatási eredményeinket 12 IF-os angol nyelvű, illetve 17 magyar nyelvű, nem IF-os, tudományos folyóiratokban tettük illetve tesszük közzé 2009. első félévében. A témában összesen 21 előadást/poszter tartottunk, ebből 4-et nemzetközi konferenciákon.

Eredményeink szerint a halas manipuláció hatása a Major tóban az alacsonyabb trofikus szintekre és a víz minőségére nyilvánvaló volt. A hallal 2000-2001-ben manipulált Major tóban 2005-2006. évekre az alternatív stabil állapotok közül (op. cit. Scheffer, 1998) az un. tiszta vizű fázis (TVF) alakult ki, amely megfigyeléseink szerint (2003-2004-ben sajnos nem kaptunk a vizsgálatainkra OTKA-támogatást!) négy évig tartott. A nagy átlátszóság (a vízmélység 60-100 %) hatására, megjelentek, és nagy borítottságot (78-84 %) értek el az alámerülő magasabb rendű növények. Domináltak *Ceratophyllum demersi* (26 %) a *Myriophyllum spicatum* (34 %) és a *Potamogeton pectinatus* (20 %). A klorofill-a koncentráció nagyságrenddel csökkent ( $< 75 \mu\text{g/l}$ ) és mezo-eutróf tartományban volt egész évben. A fitoplanktonban ebben az időszakban domináltak kovaalgák és a *Chlorococcales* rendbe tartozó zöldalga fajok. A kékalgák biomassza részaránya általában 20 % alatt maradt. Ugyanebben az időszakban a KBT külső vízreületein inenzív kékalga virágzás alakult ki és a klorofill-a koncentrációja  $> 250 \mu\text{g/l}$  volt. tavasztól egészen kora nyárig (június) az alternatív stabil állapotok közül (op. cit. Scheffer, 1998) a tiszta vizű fázis dominált.

A TVF folytatódott 2007-ben is jellemzően ugyancsak nagy átlátszóság (a vízmélység 70-100 %) jellemezte a tavat. A maximális borítottság májusban volt (54 %). Domináltak *Ceratophyllum demersi* (28 %) a *Myriophyllum spicatum* (13 %) és a *Potamogeton pectinatus* (12 %). A víz minősége tovább javult és a klorofill-a koncentrációk alapján ( $< 25 \mu\text{g/l}$ ) mezotróf tartományban volt egészen júniusig. A fitoplanktonban ebben az időszakban domináltak kovaalgák és a *Chlorococcales* rendbe tartozó zöldalga fajok. A rákplanktonban domináltak a *Daphnia* sp. fajok. Júliusban váratlanul, a hirtelen fellépő nitrogénhiány miatt, előretörték a kékalgák (*Anabaena* sp. fajok) és domináltak egészen szeptemberig. A nyári algabiomassza a tavaszi értékeket egy nagyságrenddel haladta meg (klorofill-a, cca  $240 \mu\text{g/l}$ ). Ötödödére csökkent a víz átlátszósága és az algák nagymértékű árnyékoló hatására az alámerülő makrovegetáció borítottsága 28 %-ra csökkent. A *Potamogeton pectinatus* teljesen eltűnt a tóból a *Myriophyllum spicatum*-t pedig csak nyomokban (0.9 %) találtuk meg. Ezzel az ökoszisztéma az alternáló, zavaros vizű stabil fázisba jutott. Eltűntek a vízből a nagytestű *Daphnia*-k, felváltották azokat a kisebb méretű *Diaphanosoma*-k. A Secchi átlátszóságot szignifikánsan és döntő mértékben (92 %) az alga tömege és a lebegőanyag koncentrációja határozta meg. A nyári algabiomassza mindenképp a foszfor (SRP, TP) és az összes nitrogén (TN) koncentrációjával korrelált. A hőmérséklet és a mélység nem volt hatással az algásodásra. A nyári algavirágzást követően ősszel az elsődleges termelők közül az algák tömege a nyári maximumok felére (cca  $100 \mu\text{g/l}$ ) csökkent, és a tavaszi átlagérték négyszerese volt. A tóvíz bioelem koncentráció dinamikája alapján azt találtuk, hogy az algák tavasszal és ősszel P-(N:P>15), nyáron N- limitáltak-(N:P<15) voltak. A tavaszi-őszi nitrifikációs és a nyári denitrifikációs folyamatokat jelző nitrogénformák ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) koncentráció változása ezt alátámasztja. Sekély tavakban a tápanyagok elsősorban az üledékben raktározódnak. A Major tó üledéke is tápanyagokban igen gazdag. Az üledék intersticiális vizének N, P-koncentrációja nőtt a mélységgel és a pórusvíz foszforja 50-60 % volt felvehető (SRP) formában. A Major tóban az intersticiális víz SRP-je potenciálisan anaerob körülmények között és/vagy bioturbáció hatására juthat az üledékből a víztestbe, befolyásolva ezzel az ökoszisztéma trofitását és működését.

A 2007. évi nyári - őszi zavaros vizű fázist 2008-ban ismét és ugyancsak hirtelen/váratlanul a szinte egész évben tartó az ún. alternáló tiszta vizű fázis váltotta fel. A tavaszi nagy átlátszóság (a vízmélység 70-90 %) hatására megjelentek és nagy borítottságot értek el az alámerülő magasabb rendű növények (cca 60 %). Domináltak *Ceratophyllum demersi* a *Myriophyllum spicatum* és a *Potamogeton pectinatus* fajok. A víz trofitása/minősége a klorofill-a koncentrációk alapján ( $< 20 \mu\text{g/l}$ ) mezotróf tartományban volt egészen júliusig és ez az érték az eddigi legalacsonyabb mért érték volt! A fitoplanktonban ebben az időszakban domináltak kovaalgák és a *Chlorococcales* rendbe tartozó zöldalga fajok. A rákplanktonban domináltak a nagytestű szűrő *Daphnia* sp. fajok. Augusztusban a 2007. évi folyamatok ismétlődésével, a nitrogénhiány miatt, előretörték a kékalgák (*Anabaena* sp. fajok) és domináltak egészen szeptemberig. A nyári algabiomassza csúcs jelentősen lecsökkent (cca  $100 \mu\text{g/l}$ ) kevesebb, mint a fele volt a 2007. évi maximumnak és mindössze harmada volt a KBT külső részének vizeitében mért értéknek. A klorofill-a koncentrációja mind a P-vel, mind a N-el korrelált. Az SRP átlagos éves koncentrációja a fele volt ( $19,5 \pm 9,6 \mu\text{g/l}$ ) az előző évben mért értéknek. A TP is jelentősen, az előző évi csaknem harmadára, csökkent ( $45,9 \pm 15,2 \mu\text{g/l}$  illetve  $116,2 \pm 35,7 \mu\text{g/l}$ ). Csökkent a TN is. Ezzel ellentétben a nitrát koncentrációja nőtt.

A tó trofitásának alternáló hatása gyorsan ütemben transzformálódott (kaszád-hatás) a másodlagos fogyasztók, a halak szintjéig. A halbiomassza csökkenése mellett a faji összetételben is jelentős változás állt be a trofitás változásával: a TVF idején nagyobb számban jelentek meg a tiszta vizet kedvelő fajok (pl. sügér), visszaszorult az ezüstkárász és dominált a bodorka (*Rutilus rutilus* L.). E mellett jelentős mennyiségben volt jelen a sügér (*Perca fluviatilis* L.) a vágódurbincs (*Gymnocephalus cernuus* L.) és a dévérkeszeg (*Abramis brama* L.)

Megállapítottuk, hogy a TVF/ZVF fázisok kialakulását és alternálását számos tényező befolyásolta. A ZVF szignifikánsan magasabb (z-teszt) vízhőmérséklettel, alacsonyabb Secchi-átlátszósággal, nagyobb zavarossággal (NTU), klorofill koncentrációval, SRP-vel, TP-vel, *Cladocera/Copepoda* biomassa aránnyal, makrogerinctelen biomasszával és hal CPUE-értékekkel volt jellemezhető. A multivariációs lineáris regresszió azt mutatta, hogy a modell, amelyben a makrovegetáció mint függő változó, a Secchi-átlátszóság, klorofill-a, hőmérséklet, TP és TN mint előrejelző változók szerepeltek, szignifikáns volt a TVF alatt, és a makrovegetáció változását 69 %-ban ezek a tényezők határozzák meg. A  $> 50$  %-os borítottság lehet a „vízváltó” a két fázis között. TVF idején a Secchi-átlátszóság, hőmérséklet és a TN koncentrációja voltak a legfontosabb tényezők, amelyek a makrovegetációval való borítottság mértékét meghatározták. Ugyanakkor a makrovegetáció borítottsága és a TP között nem volt összefüggés. A multivariációs lineáris regresszió adatai azt mutatták, hogy a modell, amelyben a makrovegetáció mint függő változó, a Secchi-átlátszóság, klorofill-a, hőmérséklet, TP és TN mint előrejelző változók szerepeltek, szignifikáns volt a ZVF alatt, és a makrovegetáció változását 93 %-ban ezek a tényezők határozzák meg. A ZVF alatt a TN korrelált leginkább a makrovegetáció kiterjedésével. A TVF-al ellentétben makrovegetáció borítottsága és a TP közötti regresszió szignifikáns volt.

Jóllehet a szűrő rákplankton (*Cladocera*) biomasszája, elsősorban a kis méretű fajok (*Bosmina* sp) elterjedésének köszönhetően mintegy 60 %-kal nőtt a ZVF alatt, szűrési rátájuk a TVF-al összehasonlítva 35 %-kal csökkent. A *Crustacea* plankton szűrési kapacitása a kékalgák dominanciája miatt 48- ról 18 %-ra csökkent a ZVF idején.

Irodalmi és saját kutatási eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy a sekély tavakban két strukturális állapot figyelhető meg. Ezek az állapotok alternatív stabil állapotok, amelyeket biotikus/abiotikus visszacsatolási mechanizmusok stabilizálnak. Az egyik állapot, az ún. zavaros (algás) víz, kevés alámerülő makrovegetációval, a másik a tiszta víz (kevés alga), nagy makrovegetáció borítottsággal jellemezhető. A makrovegetáció kulcstényezőnek bizonyult a víz minőségének stabilizációjában. A víz átlátszósága kulcstényező a makrovegetáció térhódításának, válaszul a makrovegetáció stabilizálja a víz átlátszóságát. A sekély hipertróf Major tóban a halmanipuláció révén sikerült megnövelnünk a víz átlátszóságát mintegy 55 % -kal, amelynek eredményeképpen a fény az üledék felszínéig hatolt. Ennek hatására nyert teret a makrovegetáció, amely a tiszta vizű fázist fenntartotta, de csak maximum négy évig. Megállapíthatjuk, hogy a halas manipuláció megfelelő eszköz lehet sekély, hipertróf tavak helyreállításánál többek között a hipertróf, gyakori kékalga virágzásáról/halpusztulásáról „elhíresült” KBT területén. A „halas” beavatkozás azonban csak akkor lehet hosszantartó hatású, ha a beavatkozást 3-4 évenként megismételjük.

## 7. Irodalom

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Lauridsen, T. L., Kronvang, B., Beklioglu, M., Lammens, E., Köhler, J., Ventelä, A-M., Tarvainen, M., Tátrai I. (2007). Danish and some other European experiences in managing shallow lakes. *Lake and Reservoir Management* 23: 439-451.

Tátrai, I., Mátyás, K., Korponai, J., Paulovits, G., Pomogyi, P. and Héri, J. (2003a) Regulation by omnivore cyprinids on phytoplankton and zooplankton structure in an extremely shallow manipulated lake in the Kis-Balaton Reservoir System. *Hydrobiologia* 504, 241-250.

Tátrai, I., Mátyás, K., Korponai, J., Paulovits, G. and Pekár, F. (2003b) Management of fish communities and its impacts on the lower trophic levels in shallow ecosystems in Hungary. *Hydrobiologia* 506-509, 489-497.

Tátrai, I., Mátyás, K., Korponai, J., Szabó, G., Pomogyi, P. and Héri, J. (2005). Response of nutrients, plankton communities and macrophytes to fish manipulation in a small eutrophic wetland lake. *Int. Rev. Hydrobiol.*, 90, 511-522.

### **Indoklás személyi eltéréshez a hallgató körben:**

A vezető kutatók személye nem változott. A hallgatók közül Szabó Gitta (PhD) helyett csatlakoztak a téma kutatásához György Ágnes (PE) és Boros Gergely (DE) PhD-hallgatók, továbbá 2005-2006-tól Havasi Máté, Kucserka Tamás (PE) és Pintér Zoltán (SzIE) egyetemi hallgatók, akik ITDK, OTDK és diplomadolgozatukat is az OTKA-téma egy-egy résztemájából írták.