

Zárójelentés

az „OTKA K83893: Az ázsiai pontyok élőhelye, állománya, szaporodása és genetikai változékonysága a Balatonban” című kutatási téma eredményeiről

A pályázat története

Az OTKA útmutatója kéri a pályázat történetének, a kutatási és költségtervben, illetve a résztvevők körében bekövetkezett változások és a pályázatot érintő lényegesebb problémák bemutatását is a zárójelentésben. Sajnos pályázatunknál e fejezet hosszúra és szomorúra sikeredett.

A pályázatot 2011 évi kezdéssel Tátrai István, akinek ez a téma szívügye volt, nyerte egy szűkebb csapattal. Sajnos István hamarosan megbetegedett és így a pályázat 2012-ben egy év halasztásra került. Tátrai István sajnálatos elhunytát követően, akkori igazgatónk, hogy a pályázatot intézetünk folytathassa, István tanítványát, Boros Gergelyt javasolta témavezetőnek, amit az OTKA tapasztalatlanságára hivatkozva nem támogatott. Így végül nekem kellett csatlakoznom a pályázathoz, mint kijelölt témavezetőnek. **Fontos kiemelnem, hogy ezen felül az OTKA mindenben támogatta a pályázatunk megvalósulását, és nagyfokú rugalmassággal segítette nem könnyű helyzetünk kezelését, amit ezúton is nagyon köszönünk.**

Tátrai István elvesztését nem tudtuk teljes mértékben pótolni, hiszen az eredeti pályázat erősen épített az ő szakmai sokoldalúságára. Így 2013-ban, amikor a pályázatot ismét aktiváltuk, jelentősen módosítanunk kellett a kutatási- és költségtervet, a pályázat futamidejét, illetve számos további kutatót kértünk fel együttműködésre. Ekkor csatlakoztak hozzánk Kériné Borsodi Andrea (ELTE TTK, mikrobiológia), Jáger Katalin (ELTE TTK, mikrobiológia), Battonyai Izabella (MTA ÖK, morfológia), Vitál Zoltán (MTA ÖK, halökológia) és László Kristóf (MSc hallgató; ELTE TTK, mikrobiológia). Nem sokkal később bekapcsolódott még Mozsár Attila (MTA ÖK, halökológia), Borics Gábor (MTA ÖK, algológia) és Vasas Gábor (DE TTK, algológia). **Ki kell emelnem, hogy a mindezek megszervezése és a pályázat koordinálása valójában főként Boros Gergely érdeme.**

A busa kutatásának már kezdetektől volt egy jelentős mintavételi kockázata, hiszen e nagytestű halak gyűjtésében az üzemi halászatra voltunk utalva. Rossz tapasztalatok miatt, én magam amúgy se szívesen dolgozom olyan anyagon, aminek a gyűjtését nem magam terveztem és végeztem. 2014-ben bekövetkezett, amire mi sem számítottunk, betiltották a balatoni busahalászatot, így további minták begyűjtésére sem volt módunk. Minthogy legtöbb kérdéskörhöz a 2011 és 2013 során gyűjtött minták megfelelő alapot jelentettek, a célkitűzések megvalósításában ugyan ez a tény kezelhetetlen hátránnyal már nem járt, de a 3d) és 3e) témákban (besorolást lásd lentebb) nem tudtunk az időközben felmerülő (tématervben nem szereplő) új ötleteinknek a végére járni.

Kezdetben még csak zavaró volt, majd egyre komolyabb feladatütemezési gondokat és motivációs konfliktusokat okozott csapatunknál és személy szerint nálam is, hogy az elnyert és az OTKA által intézetünkhöz rendben leutalt pályázati forráshoz 2013-tól, de főként 2014-től egyre korlátozottabban vagy egyáltalán nem férünk hozzá nagyjából 2015 őszéig, a kutatóközpontunk likviditási problémái miatt. E hatást jól mutatja, hogy 2014 évi részjelentésünkör (ekkor járt volna le a pályázat eredetileg) az elnyert 17.95 mFt támogatási összegből még 7.93 mFt (44%!) felhasználatlan volt.

A pályázat végéhez közeledbe újabb tragikus esemény következett be, Présing Mátyás kollégánk, aki a stabil izotópos anyagforgalmi méréseket végezte, váratlanul szintén elhunyt.

Különösen szerencsések voltunk ugyanakkor abban, hogy az eredeti tématerv részét képező, majd Tátrai István sajnálatos elvesztésével megghiúsulni látszó 5) hidroakusztikus állományfelmérés adatgyűjtés részét cseh kollegák önzetlen segítségével az OTKA keretében mégis elvégezhettük. Míg egy a Földművelésügyi Minisztérium által adott támogatásnak köszönhetően, ezen adatok költséges kiértékelésére is sor kerülhetett mostanra, még ha nem is a várt eredményre vezettek (lásd lentebb).

Elért eredmények

Bevezetés és problémafelvetés

A busák – fehér busa (*Hypophthalmichthys molitrix*), pettyes busa (*H. nobilis*) és ezek hibridjei – kelet Ázsiából származnak és napjainkban már a legelterjedtebb betelepített, invazív halak között vannak a világon (Jennings 1988, Kolar & mtsai 2007). A busák nagyarányú elterjesztése gazdasági okokra és az eutrofizáció elleni küzdelemben remélt szerepükre vezethető vissza. E halak ugyanis képesek jelentős arányban fogyasztani a fitoplankton, így egyfelől hatékonyan termelhetőek nagymennyiségben (Herodek 1979), másfelől e táplálkozási sajátosságuk alapján sokáig úgy vélték, hogy egyben képesek a fitoplankton produkció visszaszorítására is, azaz hatékony "biomanipulációs eszközök" lehetnek (Woynarovich 1971, Cremer & Smitherman, 1980, Xie & Liu 2001). Mindemellett feltételezték, hogy a busa meglehetősen meleg és erősen áramló vízhez kötött szaporodása nem fog bekövetkezni a hűvösebb mérsékeltövi tavakban (Verigin et al. 1978, Jennings 1988, Kolar et al. 2007, Deters et al. 2012).

A kezdeti nagy remények csak részben (halhús termelés) teljesültek, ám mindeközben felszínre kerültek és egyre nagyobb gondot okoznak azok az ökológiai problémák, amelyeket az őshonos elterjedési területen kívül létrehozott busaállományok okoznak. Mik is ezek? Napjainkra már világossá vált, hogy a busák nem képesek csökkenteni az eutrofizációt, sőt. Kevésbé kedvezőtlen esetben a fitoplankton produkciója nem változik lényegesen a busák által birtokba vett vízterületen, csak az algaközösség szerkezete változik meg, jellemzően a kisebb méretű taxonok irányába tolódva. Kedvezőtlenebb esetben viszont a busák maguk képesek a planktonikus eutrofizáció felfutását kiváltani. További negatív hatásuk, hogy nem csak algát, hanem igen jelentős mennyiségben zooplankton is fogyasztanak, amely viszont tovább erősíti az algatermelést és egyben igen jelentős táplálékkonkurenciát jelent az őshonos plankton fogyasztó halakra nézve és szinte minden halfaj ivadékaival szemben (Spataru & Gophen 1985, Barthelmes & Brämick 2003, Cooke et al. 2009, Sampson et al. 2009, Lin et al. 2014). Sajnos a szaporodási feltételekről alkotott nézetek is megdőltek időközben, hiszen egyes telepített állományok idővel alkalmazkodásuk révén képessé váltak hűvösebb vizekben is szaporodni (Sehgal 1999).

Pályázatunk célja volt, hogy információkhoz jussunk a Balatonba telepített és jelenleg is megtalálható busaállomány szerkezetét és ökológiai sajátosságait illetően, mindeközben különös figyelmet fordítva a busákról rendelkezésre álló általános ökológiai tudásunkat jellemző nyitott kérdéseknek. Így például: vajon, a Balatonban ma található busák még mindig az 1980-as évek elejéig folytatott telepítés túlélő egyedei, vagy volt azóta állománypótlódás?; ha volt állománypótlódás, akkor az állóvízben nem várt természetes szaporodás eredménye lenne?; miként lehet képes a busa a Balaton jelenlegi szegényes planktonja mellett ilyen nagyra nőni, mi a tápláléka?; milyen hatással lehetnek a busák a tó anyagforgalmára és trofikus kapcsolatrendszerére?

A fenti gondolatmenetet követve az OTKA pályázat keretében folytatott kutatásaink az alábbi témaköröket ölelték fel:

- 1) a Balatonban élő busák populációgenetikája;
- 2) állományszerkezete és növekedése;
- 3) táplálkozása, azon belül:
 - 3a) a fogyasztott táplálék meghatározása,
 - 3b) az egyes táplálékalkotók hasznosulása,
 - 3c) a morfológiai variabilitás hatása a táplálékra,
 - 3d) környezeti tényezők befolyása a táplálékra,
 - 3e) az emésztő rendszerben előforduló mikroorganizmusok, illetve
 - 3f) a busa szerepe a fogyasztott algafajok terjedésében,
- 4) a busa reprodukciós ciklusa és az esetleges szaporodására utaló tényezők,
- 5) a balatoni állomány mérete és területi eloszlása.

Témakörönkénti eredményeink

1) Genetikai vizsgálatainknak két célja volt. Kíváncsiak voltunk, (a) milyen az állomány genetikai összetétele, a fehér, a pettyes és a hibrid busa egyedek aránya, amely eredményeket táplálkozás biológiai elemzéseinknél is figyelembe kívántunk venni. Illetve, (b) az alléleloszlás alapján igyekeztünk értékelni, hogy beszélhetünk-e egyáltalán valós populációról, szaporodási közösségről a balatoni busáknál.

(a) A genetikai elemzések során 28 pettyes busa, 25 fehér busa (tiszta fajok) és 116 balatoni busa egyedet vizsgáltunk, 10 mikroszatellit alapján. A Balatoni állománynál mikroszatellitenként 7-20 allélt figyeltünk meg. Első kérdésünk kapcsán megerősítésre került, hogy a balatoni állományt lényegében kizárólag hibrid egyedek alkotják, egyedenként jelentősen eltérő keveredési arány mutatva a közel fehér busa egyedektől egészen a közel pettyes busa egyedekig. A teljes állományról elmondható, hogy mintegy 90%-ban fehér és 10%-ban pettyes busa genetikai állományt hordoz.

(b) Második kérdésünk tekintetében megállapítottuk, hogy a balatoni állomány allél eloszlása nagyon távol esik a Hardy–Weinberg egyensúlytól, így feltételezhetően a jelenlegi állomány nem képez egy szaporodási közösséget, ami erősíti azt a feltételezést, hogy az állomány külső forrásokból (pl. halastavi kiszökések) került a tóba.

Az eredmények bővebben elérhetőek Boros (2015) Kovács és munkatársai (2015; egyelőre csak előadás absztrakt) és Lehoczky és Kovács (2015; egyelőre csak előadás absztrakt) közleményeiben.

2) Növekedés vizsgálataink során több kérdésre kerestük a választ: (a) milyen a szelektív halászat során kifogott egyedek méret és koreloszlása; (b) miként viszonyul a balatoni busák növekedése és kondíciója a más vízterekben tapasztalt értékekhez; illetve (c) a busák éves növekedésében megfigyelhető eltérések milyen egyedi és környezeti tényezőkkel hozhatóak összefüggésbe?

(a) Tekintettel a halak méretére és egyenetlen eloszlására a tóban, a mintavétel nagyüzemi módszereket követel, így azokat a halászoktól szereztük be (2013-ig, a halászat betiltásáig volt erre módunk) a fogás helyszínén. Az általunk vizsgált busák teljes testhossza 92 és 134 cm, tömege 11 és 35 kg, míg koruk 9 és 17 év között változott. A halászattal hasznosítható állományt, amely feltételezhetően a balatoni állomány meghatározó részét teszi ki a biomasszát illetően, idősebb egyedek alkotják, azonban már a legidősebb egyedek sem származhatnak az utolsó, 1983-as telepítésből. Ugyan az elmúlt időszakban a Balatonban nem sikerült 9 évesnél fiatalabb példányt fognunk, a fiatalabb korcsoportok jelenléte mégis feltételezhető, hiszen a halászati hozamok évről-évre közel állandóak, a fogható állományrész megújul. A Balaton déli befolyóiban sikerült fiatal, 0-3 éves példányokat fognunk. Ám, hogy e

példányok milyen arányban származnak természetes ívásból vagy a befolyókon létesített tavakból az még kérdéses. A halas tavi szökés bizonyítható, de a szaporodás sem kizárható.

(b) Más területek állományaival összevetve, a balatoni állomány egyedeinek növekedése erőteljes és kondíciófaktoruk is kiemelkedő, amely különösen érdekes, hiszen a tó planktonikus produkciója jelenleg alacsony és a fogyasztott táplálék jelentős részét a tóra jellemző lebegő szerves törmelék alkotja. Az átlagos visszszámolt teljes testhossz az 1-10 éves korosztályok esetében rendre: 93, 210, 337, 456, 568, 673, 765, 835, 898 és 951 mm-nek adódott, amely jelenleg is hasonló növekedési ütemről tanúskodik, mint amelyet az 1990-es évek elején fennálló jóval nagyobb plankton produkciója mellett volt képes elérni a busa a Balatonban (Specziár 2010).

(c) A növekedés pontosabb jellemzésére összesen 377 busa 3390 db éves növekmény adatát (régebből meglévő mintákkal együtt) vetettük össze többszörös regressziós modellek segítségével olyan változókkal, mint a hal kora, a tó vizének éves különböző limit feletti hőösszege, vízállása, fitoplankton és zooplankton koncentrációja az 1985-2013 időszakban. Szignifikáns összefüggéseket azonban nem találtunk. Ez merőben szokatlan, hiszen minimálisan a hőösszeggel vártunk volna kapcsolatot, amely összefüggés minden más e tekintetben vizsgált balatoni halfaj és főként ivadékuk tekintetében rendkívül szorosnak bizonyult. Feltételezhetően, a balatoni állomány genetikailag kevert volta, az egyedek eltérő betelepülési kora és esetlegesen a pikkelyek finomabb mintázatának helytelen értelmezése (számos tényező eredményezheti álvéggyűrűk képződését) okozhatta az összefüggések hiányát.

Eredményeink bővebben elérhetőek Boros és munkatársai (2014) és Boros (2015) közleményeiben, de emellett az anyag több előadásunk részét képezte.

3) Legnagyobb hangsúlyt a busa táplálkozását érintő kérdésekre helyeztük és e témát így alfejezetekre tagoluk.

3a) Az elfogyasztott táplálék meghatározása rendszerint a béltartalom alapján történik, így azonban a megkezdődő emésztés torzíthatja eredményeinket, minél apróbb és könnyebben emészthető táplálékról van szó, annál inkább. Ezért amikor észrevettük, hogy a busák különleges szűrőkészülékén néha még találni le nem nyelt táplálékot elhatároztuk, hogy azt összevetjük a béltartalommal. Kimutattuk, hogy a szűrőszerv barázdáiból gyűjtött szűrlet elemzésével realisabb képet kaphatunk a táplálkozási szokásokról, mint a hagyományosan elfogadott béltartalom vizsgálattal. A szűrletmintákban szignifikánsan magasabb volt az azonosítható fitoplankton és zooplankton taxonok száma. A szűrlet mintákban található összes zooplanktonnak alig 20%-át alkották kerekférgek, míg az előbélben ez az arány már 60% körül alakult. Míg, az előbélben csak elvétve fordultak elő nagyméretű zooplankton fajok (pl. *Eudiaphthomus spp.*, *Daphnia spp.* és *Diaphanosoma spp.*), addig ezek gyakoriak voltak a szűrletben. A fitoplankton esetében, míg az előbélben a Centrales kovaalga dominált (~60%), addig a szűrletben a cianobaktériumok jelenléte volt magas (~50%). A béltartalomban biomassa szerinti arányt illetően évszakosan változóan a zooplankton (döntően a kistestű Rotatoria, Copepoda nauplius és Bosmina spp. csoportok) 12-75% részarányt, a fitoplankton (elsősorban a Centrales és Pennales csoportok) 0-39%-ot, míg a szerves felkeveredő üledékfrakció 25-54%-ot képviselt. A kedvező eredmények ellenére, sajnos kicsi a realitása annak, hogy a szűrőkészülékről tervezhetően kellő számú táplálék mintához juthassunk minden esetben.

Az eredményeket részletesebben Vitál és munkatársai (2015) munkája taglalja.

3b) Mértük a stabil szén és nitrogén izotópok arányait a halak testében a potenciális táplálékszervezetekhez viszonyítva és megállapítottuk, hogy a metabolizált táplálék 99%-a zooplankton eredetű. Mindez azt igazolja, hogy a Balatonban élő busa állomány nem csak hogy kevés algát fogyaszt, de az elfogyasztott algáknak is csak kisebb részét hasznosíthatja (lásd még 3f eredmények).

Az eredményeket Mozsár és munkatársai készülő kézírata fogja részleteiben taglalni.

3c) A pettyes és fehér busa szűrőkészüléke alapvetően eltér. Az előbbi a halakra általánosan jellemző, fésűs szerkezetet mutatja, igaz viszonylag szűk rácsmérettel és hatékonyan a zooplankton kiszűrésére alkalmas habár a rajta termelődő nyálka segítségével algákat is elkaphat. Ezzel szemben a fehér busa szűrőkészüléke egyedi, jelentősen módosult szivacsos szerkezetű, amely mikron méretű szervezetek kiszűrését is hatékonyan biztosítja. Lévén a Balatonban hibrid busaállomány él, így a szűrőszerv felépítése és szűrési hatékonysága is egyedenként rendkívül változatos, amely alapján egyedenként változó anyagforgalmi hatást is feltételezhetünk e halaknál. Vizsgáltuk tehát a hibridizáció hatását a szűrőszervek morfológiai felépítésére és a halak táplálékszűrésének hatékonyságára. A hibridizáció nyomán a szűrőszervek felépítésében a pettyes busára jellemző fésűs, és a fehér busára jellemző szivacsos struktúrák átmeneti jellegei jelennek meg, igen változatos formákban. A várakozásokkal ellentétben nem találtunk azonban kimutatható eltérést a különböző morfológiai és genetikai bélyegekkal rendelkező egyedek táplálékának összetételében. Minden egyed egyértelműen főként zooplanktonot fogyasztott, illetve jelentős volt a Balaton felkeveredő vízből származó szerves „balanszt” anyag jelenléte is a táplálékban.

Az eredményeket részletesen Battonyai és munkatársai (2015), Boros (2015) és Mozsár és munkatársai készülő kézírata tárgyalja.

3d) Kíváncsiak voltunk, hogy a busák genetikai és morfológiai variabilitása, az adott pillanatban megfigyelhető táplálékbázis viszonyok és a környezet fizikó-kémiai sajátosságai milyen hatással vannak az elfogyasztott táplálék összetételére. Kanonikus korrespondencia elemzéssel kimutattuk, hogy a Balatonban élő busák táplálkozási szokásait a környező vízben előforduló planktonikus szervezetek mennyiségi és minőségi viszonyai, a víz hőmérséklete és különösen a víz felkeveredettsége (szél hatása) határozzák meg. Ugyanakkor, itt is megerősítésre került, hogy a szűrőkészülék szerkezete és az egyes egyedek genetikai hovatartozása nincsen szignifikáns hatással a fogyasztott táplálék összetételére (legalábbis jelen esetben).

Az eredményeket részletesen Mozsár és munkatársai készülő kézírata fogja bemutatni.

3e) A bakteriológiai vizsgálatok bevonását kutatásainkba több lehetséges hipotézis is indokolta. Nem értettük (és még most se értjük minden tekintetben), hogy miként képesek a busák ilyen hatékonyan növekedni a Balatonban a szegényes plankton mellett, amikor más plankton fogyasztó fajoknál éppen az ellenkezőjét tapasztaljuk. A baktériumok e problémát illetően két lehetséges módon kerülhetnek szóba. Egyfelől, lehetségesnek tartottuk, hogy a baktériumok részét képezhetik a tápláléknak, hiszen a busa képes lehet e szervezetek kiszűrésére is a vízből, másfelől, baktériumok számottevő mennyiségben fordulhatnak elő egyes a busák által fogyasztott kocsonyásburkú algákhoz vagy éppenséggel a szintén nagy mennyiségben fogyasztott szerves szemcsék felszínéhez tapadva. Emellett, van egy ennél jobban ismert szerepe is a baktériumoknak; miszerint a faj és élőhely specifikus bélflóra, amely emésztő enzimeket és pro-biotikumokat termelhet, nagymértékben befolyásolhatja a halak táplálék hasznosítását és növekedését, kondícióját. Így tehát vizsgálatokat kezdtünk, annak érdekében, hogy kiderítsük, milyen baktériumok fordulnak elő a Balaton vizében, ezek közül melyek fordulnak elő a táplálékban is, illetve melyek a bélflóra specifikus baktérium taxonjai.

A busák tápcsatornájában található mikrobaközösségek filogenetikai diverzitását tenyésztésen alapuló módszerek és tenyésztéstől független molekuláris biológiai eljárás (Denaturáló Gél Elektroforézis – DGGE) segítségével vizsgáltuk. Tenyésztéssel a béltartalom mintákban grammonként átlagosan 10^7 – 10^8 csíraszámot határoztunk meg, az alkalmazott táptalajok típusától függetlenül. A kvalitatív vizsgálatok során a busák tápcsatornájából tenyésztéssel a Bacteria domén négy filogenetikai törzsének, a Proteobacteria (*Roseomonas*,

Paracoccus, *Brevundimonas*, *Aeromonas*, *Acetivibrio*, *Schewanella*, *Klebsella*), a Deinococcus-Thermus (*Deinococcus*), az Actinobacteria (*Streptomyces*, *Micrococcus*, *Kocuria*, *Rothia*) és a Firmicutes (*Bacillus*, *Lactococcus*) 14 nemzetségét mutattuk ki. A DGGE módszerrel kimutattuk továbbá a Cyanobacteria törzs három (*Planktothrix*, *Phormidium*, *Microcystis*) és a Fusobacteria törzs egy nemzetségének (*Cetobacterium*) képviselőit. A 16S rDNS bázissorrend elemzés alapján, faji szinten meghatározott törzsek között az előbbiben az *Aeromonas veronii*, a *Brevundimonas vesicularis*, a *Micrococcus endophyiticus* és a *Bacillus halmapalus* fajok képviselői fordultak elő. A középből az *Aeromonas veronii*, a *Micrococcus yunnanensis* és a *Roseomonas mucosa*, míg az utóból az *Acetivibrio lwoffii*, a *Paracoccus yeei* és a *Lactococcus garvieae* fajok képviselői kerültek elő. Mintavételi időponttól függetlenül a vízminták és a bétartalom-minták baktériumközösségei nagymértékben különböztek egymástól. A különböző busa egyedek azonos tápcsatorna szakaszainak bakteriális közösség szerkezete nagyobb hasonlóságot mutatott egymással, mint az ugyanazon egyed különböző tápcsatorna szakaszaiban előforduló baktériumközösségek. Megállapítható, hogy a Balatonban élő busák tápcsatornájában fajban gazdag mikrobaközösség található. Az egyes bélszakaszokban számos aerob és fakultatív anaerob, fakultatív patogén, de enzintermelésük révén akár pozitív hatást kifejteni képes baktériumfaj képviselői vannak jelen, melyek segíthetik a busák táplálékhasznosítását.

Az eredményeket részletesen Borsodi és munkatársai készülő kéziratában hivatott majd bemutatni, de az eredmények egyes részei magyar nyelven Borsodi és munkatársai (2015) és László és munkatársai (2015) közleményeiben már bemutatásra kerültek.

3f) Ugyan számos alga fajt találtunk a busák tápcsatornájában, izotópos vizsgálataink eredményei szerint az elfogyasztott algák alig kerültek be a busák anyagforgalmába. Feltételeztük tehát, hogy azok egy része akár emésztetlenül is távozik a bélrendszerből. Erre vonatkozóan korábbi megfigyelések is ismertek a szakirodalomban, még hazai vonatkozásban is (Vörös et al. 1997).

Kitenyésztéssel 149 olyan alga fajt sikerült izolálni az utóból, melyek élve haladtak át a tápcsatornán. Kilenc faj (*Aulacoseira ambigua*, *Cyclotella ocellata*, *Fragilaria construens*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis flos-aquae*, *Monoraphidium griffithii*, *Oocystis marssonii*, *Pediastrum boryanum* and *Scenedesmus denticulatus*) élő egyedei minden mintavétel alkalmával kitenyésztethetőek voltak az utóból. Különösen figyelemreméltó, hogy a tenyésztések során 60 olyan taxont sikerült kimutatni, amelyek mikroszkópos vizsgálataink során se a Balaton vizéből, se az előbél-tartalomban nem találtunk meg. Megállapítható tehát, hogy a busák, mint nagy területeket bejáró halak, jelentős szerepet tölthetnek be az emésztésnek ellenálló alga fajok terjesztésében és kedveznek elszaporodásuknak. További említésre méltó eredmény, hogy a busák által kiszűrt és elfogyasztott táplálékban jelentős számú olyan alga fajt találtunk, melyek átmérője nem éri el a 10 mikrométert, amely a szakirodalommal szemben bizonyítja, hogy a busák képesek a nannoplankton fogyasztására is.

Az eredményeket részletesen Görgényi és munkatársai (2016) munkája tárgyalja.

4) Alapvető kérdés, hogy honnan is származik a jelenleg a Balatonban nagy tömegben jelenlévő busaállomány. Azt tudjuk, hogy az 1970-es és 80-as évek telepítéseiből származó példányok már elpusztultak vagy kifogták őket (Specziár 2010). Két hipotézis maradt tehát: vagy az aktuális ismereteinkkel szemben mégis sikerült szaporodnia a busáknak a Balatonban, vagy a tó vízrendszerén működő halastavakból, amelyekben az utóbbi 3-4 évet leszámítva nagy mennyiségben termelték e halat, szöktek be. Mindenesetre nem kis utánpótlásról beszélhetünk, hiszen a halászat az elmúlt mintegy 15 év során, 2013-ig, amelyet követően e halászatot is betiltották, évi bőven 200 tonna feletti mennyiségben fogta e halat érdemi hozamcsökkenés nélkül (Weiperth et al. 2014). Megvizsgáltuk tehát, hogy vannak-e arra utaló jelek, netán bizonyítékok, hogy a busa szaporodna a Balatonban.

A vizsgált női ivarú egyedek petefészkeiben 820 000-3°700°000 ikra volt, míg a gonadoszomatikus-index (GSI; ikra tömeg/testtömeg) 6.2–27.8% értékek között változott szezonálisan, amely jóval magasabb a más vizekben élő busák hasonló értékeihez képest (4-14%). A GSI értékek évszakos alakulása azt jelzi, hogy a női ivarú busa egyedek felkészülnek a szaporodásra, azaz jelentősen növelik petefészük tömegét a tavasz és nyár eleji időszakban, ez után azonban a petefészkek tömegének jelentős csökkenése tapasztalható. Ugyanakkor, mivel az ikraszámban hasonló határozott változást nem tapasztaltunk, feltételezhető, hogy az egyedek nagy része nem szórja el az ikráit, hanem azok felszívódnak a szaporodási időszak elteltével. Ezt támogatják szövettani eredményeink is. E tényező, miszerint nincs jelentős, évente ismétlődő, ikrarakás általi energiavesztés, mindenképpen nagyon jelentősen hozzájárulhat a busák táplálékhoz viszonyított jobb növekedéséhez és kondíciójához.

A petefészkek szövettani vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a legtöbb példánynál az ikra érése egészen előrehaladott, közel ívásra kész állapotig eljut, sőt, néhány egyednél találtunk az ikra végső érésére és kilökődésére utaló nyomokat, ún. poszt-ovulációs sárgatesteket is. Ez ugyanakkor nem jelenti szükségszerűen azt, hogy a busa ténylegesen szaporodna, elképzelhető spontán ikraszórás is a túlélet ikrától való megszabadulás érdekében. Emellett, a petefészkek középső traktusában számottevő mennyiségű kötőszöveti lerakódást találtunk, amely az előző ívási időszak során az ikrafelszívódásban bekövetkező anomáliákra utal. A halaknál jellemző, hogy ha az ívás valamilyen okból elmarad és az ikrák még nem léptek át egy kritikus érési állapotot, akkor azok felszívódhatnak és a hal a bennük rejlő tápanyagokat újrahasznosítja.

További érv a sikeres szaporodás ellen, miszerint Tátrai és munkatársai (2009) megállapították, hogy bár a Balatonban a női ivarú busák jelentős tömegű ikrát termelnek és raktároznak petefészükben, ugyanakkor a hímek több mint 80 %-ának ivarszervei üresek vagy szemmel láthatóan csökevényesek voltak. Ez a hím egyedek szexuális inaktivitására utal szerintük, és csökkentti annak a valószínűségét, hogy az esetlegesen kilökődött ikrák megtermékenyülése sikeres lehet.

Két évtizedre visszanyúló folyamatos balatoni felméréseink során, amelyek kiterjedtek a befolyó vizekre is, ívó busát vagy lerakott ikrát sosem találtunk. Az alkalmi szaporodást mindezek ellenére még sem zárhatjuk ki. Megfigyelhető ugyanis ritkán, pl. 2004-ben és 2010-ben, amikor egy jelentős meleg nyári zápor után a déli befolyók nagyon megáradnak, hogy a szaporodásra kész busák nagy mennyiségben vándorolnak fel bennük, feltehetően ívási késztetéssel.

Ezzel szemben, az állomány utánpótlásának másik lehetséges alternatívája bizonyított, hiszen a halastavak eresztésekor busa ivadék és növendék rendszeresen megfigyelhető volt a kifolyó vizekben. Ezen utánpótlási mód esetében azonban felmerülhet egy olyan kétely, hogy ezek a szökések elérhettek-e egy olyan mértéket, amely önmagában képes magyarázni a jelenlegi állományt. A genetikai eredmények is arra utalnak, hogy a balatoni busaállomány nem alkot szaporodási közösséget, vagyis a halastavi szökés lehet (lehetett?) a domináns utánpótlási forrás.

Összegezve, bár az alkalomszerű sikeres szaporodás nem teljesen kizárható a Balatonban az ehhez szükséges környezeti feltételek (megfelelő sebességű és tartós vízáramlás, ideális hőmérséklet, stb.) optimális együttállása esetén, az eddigi eredmények mégis arra utalnak, hogy az állomány utánpótlása döntően külső forrásból, a Balaton befolyóival kapcsolatban álló halastavakból származik. Minthogy időközben a kritikus halastavak jelentős részében a busa tartását már megszüntették, 2012-től kezdődően fokozatosan, így amennyiben ténylegesen elsősorban innen pótlódott az állomány, folyamatos állománysűrűség csökkenésnek kell bekövetkeznie.

Az eredményeket részletesen Józsa és munkatársai (2014), Boros (2015) és Vitál és munkatársai készülő kéziratja tárgyalja.

5) Tátrai István pályázatának talán lehangsúlyosabb eleme volt a balatoni busa állomány méretének és térbeli eloszlásának becslése hidroakusztikus mérések alapján. E módszerhez hazánkban azonban csak ő értett. Ez a mérés és főként az adatok kiértékelése ugyanis sokkal komplikáltabb, mint elsőre gondolnánk. Főként a Balaton sekély és szélnek kitett vizében, nagyon nehéz ugyanis úgy kivitelezni a mérést, hogy valójában a halakat, sőt, lehetőleg a vízoszlopban található összes halat észleljük, majd a hozzájuk tartozó jelet biztosan elkülönítsük a zajtól, az aljzattól, hullámozás által bekevert légbuborékoktól és egyéb jelforrásoktól. Végül a mérést mégis sikerült elvégezni Európa talán legjobb sekélyvízi hidroakusztikus mérésekre specializálódott csapatának segítségével, a Cseh Tudományos Akadémia Hidrobiológiai Intézetének (Biology Centre, Institute of Hydrobiology, Ceske Budejovice, Csehország) munkatársaival.

Az egész tóra kiterjedő hidroakusztikus felmérést 2014 szeptemberében végeztünk el két ellenkező irányban sugárzó mérőfejjel. A kiértékelt transzsektek teljes hossza 200 km volt, amely a két párhuzamos mérőfej alkalmazásának köszönhetően 400 km-nyi mérésnek (32 millió m³ átvilágított víztérfogat!) felel meg. A Balaton sekélysege miatt csak a problematikusabb (a hagyományos és pontosabb függőleges irányú méréssel szemben), oldalirányú mérési mód jöhetett szóba.

Az eredmények feldolgozása nem várt, gyenge minőségű eredményeket hozott, feltehetően módszertani korlátok miatt. A Balaton nyíltvizének átpásztázott víztömegében a becsült átlagos teljes halsűrűség 25.7 kg/ha, illetve 742 egyed/ha értéknek adódott. Ez irreálisan alacsonyabb érték. Ugyanakkor a megfigyelt trend, miszerint a halsűrűség a Szigligeti medencétől a Siófoki medence irányában jelentősen csökken, teljesen egyezik minden korábbi megfigyelésünkkel. Feltételezve, hogy az észlelt 60 cm-nél nagyobb halak jelentős része busa lehet, a busa átlagos biomasszájára 5.5 kg/ha becsült érték adódik. Ezzel az értékkel azonban nyilvánvalóan szintén komoly probléma van, hiszen, ha az elmúlt évek átlagos busafogásait tekintjük, akkor kiderül, hogy évente stabilan átlagosan több mint 4 kg/ha busát fogtak ki a Balatonból egészen 2013-ig, amikor is a halászat be lett tiltva. Ilyen fogás stabil elérése pedig aligha képzelhető el 30-40 kg/ha-nál kisebb állománysűrűség mellett. Mi lehet az ellentmondás oka? A megfigyelt térbeli trend egyezik a kutató halászataink során tapasztaltakkal (Specziár 2010). Szintén nem tér el kiugróan (némi alacsonyabb, de abszolút hihető) a busa itt becsült halállományon belüli biomassza részaránya (21.5%) a korábbi közvetett becsléseinktől (Tátrai et al. 2009, Specziár 2010). A gond a becsült biomassza abszolút értékével van. Egy Balaton méretű víz esetében a halbiomassza becslésének tulajdonképpen egyetlen járhatónak tartott útja a hidroakusztikus mérés, ezért is örvend e módszer olyan kiváltságos tiszteletnek. Ugyanakkor, mindez mély vizekben és függőleges hangnyaláb használata esetén érvényesül legjobban. Sekély vizekben számos komoly nehézség lép fel, amelyek jelentőségét még ma is gyakran nagyon alábecsüljük (György et al. 2012). Összességében tanulságként levonható, hogy a Balaton túl sekély ahhoz, hogy a jelenleg rendelkezésre álló, legfejlettebb technikai és értékelési tudás mellett se lehessen megbízható hidroakusztikus méréseket végezni benne, legalábbis a halbiomassza meghatározását illetően.

A részletes eredményeket Boros (2015) összefoglaló munkájában érhetőek el.

Eredményeink közzététele

Munkánkból eddig négy impaktos és négy hazai folyóirat közlemény, egy könyv, valamint 10 nemzetközi és 13 hazai szóbeli és poszter előadás született, amelyek adatait feltöltöttük az OTKA adatbázisába. A konferencia részvételek egy részét egy Támop program kiegészítő támogatásának köszönhetjük, ezért ez néhány közlemény köszönetnyilvánítás rovatában is szerepel, de maguk a kutatások tisztán OTKA forrásból folytak. Az OTKA kutatások anyagát is magában foglaló könyv kiadását és az abban bemutatott kutatások közül a hidroakusztikus adatok kiértékelését és az itt nem tárgyalt drón teszteket a Földművelésügyi

Minisztérium támogatta. Emellett további három impaktos folyóiratba szánt kéziratunk van bírálattal vagy közel benyújtásra kész állapotban:

Borsodi AK, Szabó A, Krett G, Felföldi T, Specziár A, Boros G. The potential role of bacterioplankton in the nutrition of bigheaded carps (*Hypophthalmichthys* spp.) in an oligo-mesotrophic lake. *Hydrobiologia*, bírálattal.

Mozsár A, Specziár A, Battonyai I, Borics G, Görgényi J, Horváth H, Kovács B, Lehoczky I, Présing M, G.-Tóth L, Vitál Z, Boros G. Feeding ecology of introduced hybrid Bigheaded carps (*Hypophthalmichthys molitrix* × *H. nobilis*) in oligo-mesotrophic Lake Balaton, Hungary.

Vitál Z, Józsa V, Specziár A, Mozsár A, Lehoczky I, Kovács B, Hliwa P, Boros G. Pros and cons of natural bigheaded carp (*Hypophthalmichthys* spp.) reproduction under lacustrine conditions.

Idézett irodalom

Barthelmes D, Brämick U (2003): Variability of a cyprinid lake ecosystem with special emphasis on the native fish fauna under intensive fisheries management including common carp (*Cyprinus carpio*) and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*). *Limnologica* 33: 10–28.

Battonyai I, Specziár A, Vitál Z, Mozsár A, Görgényi J, Borics G, G-Tóth L, Boros G (2015): Relationship between gill raker morphology and feeding habits of hybrid bigheaded carps (*Hypophthalmichthys* spp.). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 416: Paper 36. 11 p.

Boros G, Mozsár A, Vitál Z, Nagy SA, Specziár A (2014): Growth and condition factor of hybrid (bighead *Hypophthalmichthys nobilis* Richardson, 1845 × silver carp *H. molitrix* Valenciennes, 1844) Asian carps in the shallow, oligo-mesotrophic Lake Balaton. *Journal of Applied Ichthyology* 30: 546–548.

Borsodi A, Krett G, László K, Jáger K, Mozsár A, Vitál Z, Specziár A, Boros G (2015): A balatoni busák beltartalmában és a tóvízben előforduló baktériumközösségek mennyiségi viszonyainak és szerkezetének összehasonlítása. *Hidrológiai Közlöny* 95(5–6): 12–15.

Cooke SL, Hill WR, Meyer KP (2009): Feeding at different plankton densities alters invasive bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) growth and zooplankton species composition. *Hydrobiologia* 625: 185–193.

Cremer MC, Smitherman RO (1980): Food habits and growth of silver and bighead carp in cages and ponds. *Aquaculture* 20: 57–64.

Deters JE, Chapman DC, McElroy B (2012): Locating and timing of Asian carp spawning in the Lower Missouri River. *Environmental Biology of Fishes* 96: 617–629.

Görgényi J, Boros G, Vitál Z, Mozsár A, Várbíró G, Vasas G, Borics G (2016): The role of filter feeding Asian carps in algal dispersion. *Hydrobiologia* 764: 115–126.

György ÁI, Tátrai I, Specziár A (2012): Relationship between horizontal hydroacoustic stock estimates and gillnet catches of surface-oriented fish in shallow Lake Balaton (Hungary). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 405, article No 06, pp. 1-17.

Herodek S (1979): A fehér busa hatásának vizsgálata az eutrofizációra és a haltermelésre. Kutatási összefoglaló jelentés, MTA Biológiai Kutatóintézet, 40 p.

Jennings DP (1988): Bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*): A biological synopsis. U.S. Fish and Wildlife Service. Biological Report 88, 47 p.

Józsa V, Boros G, Mozsár A, Vitál Z, Györe K (2014): A balatoni busa (*Hypophthalmichthys* spp.) néhány szaporodásbiológiai jellemzőjének vizsgálata. *Pisces Hungarici* 8: 35-42.

- Kolar CS, Chapman DC, Courtenay WRJr, Housel CM, Williams JD, Jennings DP (2007): Bigheaded carps – a biological synopsis and environmental risk assessment. American Fisheries Society, Bethesda, 204 pp.
- Kovács B, Boros G, Specziár A, Mozsár A, Vitál Z, Urbányi B, Lehoczky I (2015): Előzetes eredmények a balatoni busaállomány genetikai változatosságáról., XXXIX. Halászati tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2015. május 20-21.
- László K, Jáger K, Krett G, Boros G, Specziár A, Borsodi A (2015): Adatok a Balatonban élő busa fajok béltartalmának baktériumközösségeiről. Hidrológiai Közöny 95(5–6): 105–108.
- Lehoczky I, Kovács B (2015): Hazai halpopulációk populációgenetikai vizsgálata molekuláris markerekkel, különös tekintettel a balatoni busaállományra, 57. Hidrobiológus Napok, Tihany, 2015. október 7-9. Absztrakt kötet, pp. 9-10.
- Lin Q, Jiang X, Han BP, Jeppesen E (2014): Does stocking of filter-feeding fish for production have a cascading effect on zooplankton and ecological state? A study of fourteen (sub)tropical Chinese reservoirs with contrasting nutrient concentrations. Hydrobiologia 736: 115–125.
- Sampson SJ, Chick JH, Pegg MA (2009): Diet overlap among two Asian carp and three native fishes in backwater lakes on the Illinois and Mississippi rivers. Biologia. Invasions 11: 483–496.
- Sehgal KL (1999): Coldwater fish and fisheries in the Indian Himalayas: rivers and streams. In Fish and fisheries at higher altitudes: Asia. In: Petr T (ed.): Food and Agriculture Organization of the United Nations, Technical Paper 385, Rome. pp. 41–63.
- Spataru P, Gophen M. (1985): Feeding behaviour of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* Val. and its impact on the food web in Lake Kinneret, Israel. Hydrobiologia 120: 53–61.
- Specziár A (2010): A Balaton halfaunája: a halállomány összetétele, az egyes halfajok életkörülményei és a halállomány korszerű hasznosításának feltételrendszere. Acta Biologica Debrecina–Supplementum Oecologica Hungarica 23., 185 p.
- Tátrai I, Paulovits G, Józsa V, Boros G, György ÁI, Héri J (2009): Halállományok eloszlása és a betelepített halfajok állománya a Balatonban. In: Bíró P, Banczerowsky J (szerk.) A Balaton-Kutatások Fontosabb Eredményei 1999–2009. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, pp. 129–141.
- Verigin BV, Shakha DN, Kamilov BG (1987): Correlation among reproductive indicators of the silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix*, and the bighead, *Aristichthys nobilis*. Journal of Ichthyology 30(8):80–92.
- Vitál Z, Specziár A, Mozsár A, Takács P, Borics G, Görgényi J, G-Tóth L, Nagy SA, Boros G (2015): Applicability of gill raker filtrates and foregut contents in the diet assessment of filter-feeding Asian carps. Fundamental and Applied Limnology 187: 79–86.
- Vörös L, Oldal I, Présing M, V-Balogh K (1997): Size-selective filtration and taxon-specific digestion of plankton algae by silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.). Hydrobiologia 342/343: 223–228.
- Weiperth A, Ferincz Á, Kovács N, Hufnagel L, Staszny Á, Keresztessy K, Szabó I, Tátrai I, Paulovits G (2014): Effect of water level fluctuations on fishery and anglers' catch data of economically utilized fish species of Lake Balaton between 1901–2011. Applied Ecology and Environmental Research 12: 221–249.
- Woynarovich E (1971): A balatoni halgazdálkodás jövője és a „Tó”. Halászat 17(6): 168–169.
- Xie P, Liu J (2001): Practical success of biomanipulation using filter-feeding fish to control cyanobacteria blooms – A synthesis of decades of research and application in a subtropical hypereutrophic lake. The Scientific World 1: 337–356.