



SZENT ISTVÁN EGYETEM

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

LOKÁLIS ÉS TÁJLÉPTÉKŰ TÉNYEZŐK HATÁSA A
JÖVEVÉNY HALFAJOK ELTERJEDÉSÉRE A
BALATON VÍZGYŰJTŐJÉNEK
KISVÍZFOLYÁSAIBAN

Sály Péter

Gödöllő

2013

A doktori iskola

megnevezése: Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Dr. Heltai György DSc
tanszékvezető, egyetemi tanár
Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezettudományi Intézet
Kémia és Biokémia Tanszék

Témavezető: Dr. Kiss István PhD
egyetemi docens
Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Állattudományi Alapok Intézet
Állattani és Állatökológiai Tanszék

Társ konzulens: Dr. Erős Tibor PhD
tudományos főmunkatárs
MTA Ökológiai Kutatóközpont, Balatoni Limnológiai Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A társ konzulens jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A biológiai sokféleség drasztikus mértékű eltűnése figyelhető meg Földünkön. A sokféleség változásának alapvető oka az élőhelyek átalakulása és a jövevény fajok terjeszkedése. Jövevények¹ azok a fajok, melyek meghatározott idő léptékre vonatkoztatott természetes elterjedési területükön kívül fordulnak elő. Egy faj természetes elterjedési területén kívülre a természetes aktív és passzív szétterjedési mechanizmusok mellett, valamilyen emberi közreműködés eredményeként kerülhet: közvetlenül szándékos betelepítéssel, véletlen behurcolással vagy közvetetten az areáját korlátozó biogeográfiai barrier módosításával (pl. hajózási csatorna építése miatt). Terjeszkedésük során az új területeken tömegessé váló jövevény fajok az ún. inváziós vagy özön fajok, melyek jelentős gazdasági és ökológiai hatásokat okozhatnak. Az inváziós fajok által okozott gazdasági hatások egyrészt a növénykultúrákban, háziállatállományokban, természeti erőforrásokban, és ökoszisztéma-szolgáltatásokban bekövetkező károkozás miatti hozamcsökkenésben, másrészt az inváziós fajok elleni védekezés költségeiben jelentkeznek. A jövevény fajok ökológiai hatása kompetíción, predáción, hibridizáción és kórokozók, paraziták terjesztésén keresztül érvényesülhet, ami végső soron a biológiai sokféleség megváltozásához vezet.

A vízi élőlények közül az ember a halakat gazdasági (halászat, akvakultúra), sporthorgászati, biológiai védekezési céllal számos helyre betelepítette már. Ezek a tevékenységek mind magukban rejtik annak a lehetőségét, hogy jövevény halfajok kerüljenek a természetes vizekbe. Habár a jövevény halfajok nem kívánt gazdasági, ökológiai hatására eddig már sok példa akadt, a szocio-ökonómiai érdekekből kifolyólag a jövevény halak betelepítése globális szinten a jövőben is folytatódni fog. Azonban a jövevény fajok terjeszkedésének több ökológiai és evolúciós hatása jelenleg még nem ismert megfelelően, nehéz megjósolni, hogy egy konkrét faj adott területen való megjelenése milyen veszélyekkel járhat. Épp ezért, a terjeszkedés megakadályozásában különösen fontos a megelőzés, és az újonnan megjelent jövevényekkel szembeni elővigyázatosság elve. A már kialakult nem kívánt hatások mérsékléséhez, kiküszöböléséhez, pedig szükségszerű, hogy minél változatosabb téridő skálák mentén legyenek ismereteink a jövevény fajok ökológiai viselkedéséről. Ennek megismerési folyamata a populációökológiai vizsgálatok mellett nem nélkülözheti a közösségökológiai vizsgálatokat sem, hiszen a jövevény fajok interspecifikus kölcsönhatásokból eredő hatásai a közösség szerkezet változásában indikálódnak. A jövevények közösségek szintjén tapasztalható ökológiai hatásai összetettebbek – esetenként emergens jellegűek – lehetnek, mint a populációk szintjén

¹ Az ilyen fajok megnevezésére a magyar szaknyelvben szinonimaként az idegen honos, egzóta, egzotikus, adventív kifejezéseket is használják.

érezhető hatások, hiszen a hierarchikus biológiai szerveződés magasabb szintjein zajló folyamatok mindig komplexebbek az alacsonyabb szintre jellemző folyamatoknál. Különösen igaz lehet ez az ember által bolygatott területeken, illetve ott, ahol több jövevény faj található meg egyidejűleg. Ezek a magasabb szinten jelentkező hatások tehát csak a jövevény halfajok közösségalkotó szerepének kutatásával ismerhetők meg.

1.1. Célkitűzések

Az értekezésben hét kisebb vizsgálat eredményén keresztül mutatjuk be, hogy a Balaton vízgyűjtő vízfolyásaiban milyen a jövevény halfajok halegyüttesen belüli szünbiológiai jelentősége. A konkrét megoldandó feladatok, illetve megválaszolendő kérdések az alábbiak voltak:

1. A kisvízfolyások halállományainak tudományos vizsgálatához leggyakrabban alkalmazott mintavételi módszerrel, a gázolva, elektromos mintavételi eszközzel gyűjtött minta reprezentativitásának vizsgálata.
 - a) Mekkora az alapvető közösség szerkezeti jellemzők (fajszám, fajkészlet, relatív abundancia) becslésének megbízhatósága, pontossága, illetve a patakszakaszon belüli független minták közötti hasonlósága a mintázott patakszakasz-hossz függvényében, illetve adott hosszúságú patakszakasz kétszeri mintázása esetén?
2. A Balaton vízgyűjtő kisvízfolyásainak aktuális halfaunisztikai feltárása, a jelenleg előforduló jövevény halfajok számbavétele.
3. A Balaton vízgyűjtő kisvízfolyásaiban a halállomány általános szerkezetének regionális szintű feltárása.
 - a) Milyen a regionális halegyüttes előfordulási gyakorisági és tömegességi szempontú texturális szerkezetében a jövevény halfajok helyzete?
4. A patakszakasz szintű (lokális) halegyüttesek Balaton vízgyűjtőn belüli térbeli előfordulási mintázatát leíró környezeti változók azonosítása, a térbeli és környezeti változók relatív mintázatléíró erejének összehasonlítása.
 - a) Melyek a közösség szerkezetet leíró leglényegesebb környezeti tényezők?
 - b) Milyen a térbeli és környezeti változó csoportok relatív mintázatléíró hatékonysága?
 - c) Milyen a táji és a lokális térléptéken értelmezett környezeti tényezőcsoportok egymáshoz viszonyított mintázatléíró hatékonysága?

- d) Befolyásolják-e mindezt a jövevény halak, ha igen milyen változást okoznak?
5. A jövevény halak Balaton vízgyűjtőn levő térbeli eloszlási mintázata és a mintázatot magyarázó környezeti tényezők közötti összefüggések leírása.
- a) Milyen környezeti tényezőkkel és hogyan magyarázható közvetlenül a jövevény halak patakszakaszon belüli előfordulásának, relatív abundanciájának és fajszámának (ökológiai állapotváltozók) térbeli eloszlási mintázata?
6. A jövevény halak vízfolyáson belüli rövidtávú térbeli és időbeli dinamikai változatosságának összehasonlítása.
- a) Hogyan változik a jövevény halak relatív abundanciája halastavakkal terhelt vízfolyásokon a forrástól a torkolat felé ható térbeli grádiens mentén, egy kora tavasztól késő őszi tartó periódusban?
- b) Milyen mértékben köthető a relatív abundancia varianciája a mintavételi helyek (forrás-torkolat grádiens), illetve a felmérési időpontok különbségeihez?
7. A jövevény halfajok fajkészlet módosító hatásának vizsgálata.
- a) Végbemegetett-e a halegyüttesek taxonómiai összetételében biológiai homogenizáció / differenciáció egy kis kiterjedésű területen két évtized alatt?
- b) Mennyire megbízhatóak a két évtized alatt végbement biológiai homogenizációra / differenciációra vonatkozó, csupán két időpont összevetésén alapuló következtetések?

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A minta reprezentativitásának vizsgálata

2.1.1. Adatgyűjtés

A minta reprezentativitásának vizsgálatához hét kisvízfolyás középső és alsó szakaszán, összesen nyolc mintavételi helyszínen gyűjtöttünk adatokat, 2008 áprilisában.

Minden mintavételi helyen egy 200 m hosszúságú mintavételi szakaszt 10 db, egyenként 20 m hosszúságú alszakaszra (mintavételi egységre) osztottunk. A mintavételi egységeket apró szemű hálóval lerekesztettük, majd elektromos mintavételi eszközzel (Hans-Grassl IG200/2B, PDC, 50–100 Hz, 350–650 V, max. 10 kW) áramlással szemben gázolva, egy segédszákos jelenlétében mintáztuk. A kifogott halakat faji szinten azonosítottuk, és összeszámláltuk, majd a mintavételi egység alatt visszaengedtük őket a patakba. Ez eredményezte az *egyszeri mintavétellel* gyűjtött minta adatait. Kb. 15 perc elteltével, mikor a víz átlátszósága visszaállt a kiindulási állapotra, a mintavételi egységet az imént leírt módon újra mintáztuk. Ez az *ismételt mintavétel* adatait eredményezte. Ezt az eljárást (rekesztés, egyszeri és ismételt mintavétel) mind a tíz mintavételi egységgel elvégeztük. A mintavételi egységek *kétszeri mintavételi* adatai az egyszeri és az ismételt mintavétel adatainak kumulatív összevonásával álltak elő. A terepi adatgyűjtés jellegéből adódóan ebben a vizsgálatban a mintavételi ráfordítás a mintázott patakszakasz hosszával, vagy a mintavételi egységek számával (mintanagyság) történő kifejezése egyenértékű.

2.1.2. Adatelemzés

A minta reprezentativitásának vizsgálatához fajtelítődési görbéket, és két ökológiai hasonlóságon alapuló randomizációs megközelítést (becslés megbízhatósága és pontossága; autoszimilitás) alkalmaztunk. Az elemzéseket külön-külön végeztük az egyszeri és a kétszeri mintavétel adataival.

2.2. A Balaton vízgyűjtő vízfolyásainak halfaunája

2.2.1. Adatgyűjtés

A Balaton vízgyűjtő vízfolyásainak halfaunisztikai vizsgálatát 2006 és 2010 között 43 vízfolyáson, összesen 94 mintavételi helyen végeztük. A halállomány min-

tázásához mind a faunisztikai, mind az egyéb szempontú vizsgálatok felméréseihez elektromos mintavételi eszközt (Hans-Grassl IG200/2B, PDC, 50–100 Hz, 350–650 V, max. 10 kW) használtunk. Ha a mintázásra kijelölt vízfolyásszakasz gázolásra alkalmas volt, akkor a mintavétel a folyásiránnyal szemben gázolva történt, a gázolhatóságtól (növényzet és lágy üledék vastagsága) függően 150 m, de legalább 100 m hosszan. A halakat a mintavételi eszközt üzemeltető személy és egy, esetenként két segédszákos gyűjtötte össze. A túlzott mélység (> kb. 80 cm) miatt gázolásra alkalmatlan szakaszokon a mintavételt gumicsónakból végeztük. Ekkor a mintavétel a folyásirány szerint a víztükör szélességétől függően 200–300 m volt. Az előkerült halakat a helyszínen azonosítottuk, majd visszaengedtük őket a vízbe.

2.2.2. Adatértékelés

Vizsgálatainkban azokat a halfajokat tekintettük jövevénynek, melyek Balaton vízgyűjtőn való jelenléte szándékos vagy véletlen, közvetlen, illetve közvetett emberi közreműködéshez kapcsolható. A jövevény fajok mellett a hazai jogszabályi védelem alatt álló halfajokat is számba vettük.

2.3. Jövevény halfajok ichthyocönológiai helyzete a Balaton vízgyűjtő vízfolyásaiban

2.3.1. Adatgyűjtés – A hároméves adatsor

A 2006. és 2007. években felmért mintavételi helyek közül, 40 db monitorozásra alkalmasnak ítélt, egyenként 150 m hosszú mintavételi szakaszon a halállományt 2008–2010 között évenként háromszori gyakorisággal monitoroztunk (összesen kilenc felmérés). A mintavételi helyek környezeti adottságait 11 tájléptékű, és 20 lokális, vízfolyásszakasz szintű változóval jellemeztük. Erre az adatsorra a későbbiekben *hároméves adatsor* néven hivatkozunk.

2.3.2. Adatelemzés

Az egyes halfajok fajegyüttesen belüli gyakorisági viszonyait egyrészt a fajoknak az átlagolt és a legközelebbi felső egész számra kerekített hároméves adatsoron belüli térbeli előfordulási gyakoriságai és tömegességei szerinti elrendezésével vizsgáltuk, hogy általános betekintést nyerjünk a halegyüttes Balaton-vízgyűjtő szintű kompozíciós szerkezetébe. A továbbiakban az így készített adatsorra *átlagolt hároméves adatsor* néven hivatkozunk.

Másrészt, a fajok kompozíciós helyzetének időbeli változatosságát vizsgálandó, a fajok előfordulási gyakorisági és tömegességi rangjából egy egységes gyakorisági

indexet képeztünk (rang alapú gyakorisági index), és megvizsgáltuk, hogy az index mekkora ingadozást mutat a hároméves adatsor egyes felmérései között.

2.4. Lokális, tájléptékű és térbeli tényezők relatív mintázatlanleíró jelentősége

2.4.1. Adatgyűjtés

Ehhez a vizsgálathoz a hároméves adatsort, és az átlagolt hároméves adatsort használtuk.

2.4.2. Adatelemzés

A különböző térléptéken (táji vs. lokális) ható környezeti, és a mintavételi helyek patakhalozaton belüli topológiáját leíró térbeli magyarázóváltozó-csoportok relatív mintázatlanleíró hatékonyságát két közösségi szinten vizsgáltuk: teljes halegyüttes (természetesen honos [natív] és jövevény fajok) natív halegyüttes (csak a natív fajok).

Mindkét közösségi szinten először külön-külön elemeztük a hároméves haladat-sor kilenc felmérését, majd az átlagolt hároméves adatsort.

Az elemzésben a Moran-féle sajátvektor-térkép módszerrel (*Moran's Eigenvector Maps* – MEM) megszerkesztett sajátvektorokat használtuk térbeli változóknak.

A fő adatelemzésben a releváns térbeli és környezeti változók csoportjaival redundancia elemzés (RDA) alapú variancia-particionálást végeztünk. Ez két lépésben, hierarchikus elrendezésben történt. Az első partícionálásban a halegyüttesek teljes varianciáját bontottuk fel tisztán térbeli [T], tisztán környezeti (táji és lokális tényezők együtt) [K], térbeli és környezeti tényezőkkel közösen [TK] magyarázott, valamint reziduális [R] komponensekre. A második variancia-partícionálásban a tisztán környezeti tényezőkkel magyarázott frakciót ([K]-t) bontottuk tovább tisztán táji [Kt], tisztán lokális [Kl], és táji és lokális tényezőkkel közösen [Ktl] magyarázott komponensekre egy olyan modellel, melyben a térbeli változók csoportja kovariánsként szerepelt.

2.5. Jövevény halak térbeli elterjedésének leíró modellezése

2.5.1. Adatgyűjtés

Ezt az elemzést a térbeli eloszlási mintázat jellegzetes szerkezetét reprezentáló átlagolt hároméves haladatsorral végeztük, hogy az egyes felmérések közötti időbeli változatosságot kiszűrjük az elemzésből.

2.5.2. Adatelemzés

A jövevény halfajok lokális előfordulását (prezencia-abszencia), együttes relatív tömegességét és fajszámukat (ökológiai állapotváltozók) mint függő változókat, környezeti és térbeli változók függvényében klasszifikációs, illetve regressziós fa modellekkel (döntési fák [TREE], *Random Forests* [RF]) elemeztük. Mindhárom függőváltozó esetén külön modelleket készítettünk a táji és a lokális környezeti tényezőkkel.

2.6. Jövevény halak rövidtávú dinamikája két kisvízfolyásban

2.6.1. Adatgyűjtés

Ezt a vizsgálatot két vízfolyáson, a Balaton északi fő részvízgyűjtőjének legjelentősebb patakján, az Eger-vízen (hossza: 32 km, vízgyűjtőterülete: 365 km²), és a zalai fő részvízgyűjtő déli részén levő, erősen módosított Marót-völgyi-csatornán (hossza: 32,9 km, vízgyűjtőterülete: 178 km²) végeztük. A vízfolyások hossz-szelvénye mentén összesen 12 mintavételi helyen (Eger-vízen hét, Marót-völgyi-csatornán öt hely) végeztünk felmérést egy vegetációs perióduson belül, kilenc alkalommal 2009-ben. Mindkét vízfolyáson található halastavak: az Eger-vízen a Monostorapáti és Hegyesd között fekvő, völgyzárógátas Hegyesdi-tározó; a Marót-völgyi-csatorna felső részén Tapsony közelében.

2.6.2. Adatelemzés

Vizsgálatunkban a jövevény halak mintákon belüli együttes relatív abundanciája volt a függő változó. A relatív abundancia mintavételi helyek közti különbségekből (adott felméréskor a különböző helyek), illetve az időbeli különbségekből (adott helyen a különböző felmérések) adódó variabilitását (random hatások), általánosított lineáris kevert modellel (*Generalized Linear Mixed Model* – GLMM) vizsgáltuk

(logit linkfüggvény, *Restricted Maximum Likelihood* becslési módszer), melyben a patak változó szerepelt fix faktorként.

2.7. Jövevény halfajok fajegyüttes-összetételt módosító hatása – a biotikus (taxonómiai) homogenizáció vizsgálata

2.7.1. Adatgyűjtés

A biotikus homogenizáció vizsgálatához nyolc mintavételi helyről Przybylski *et al.* (1991)¹ által 1987. júliusában, és 2007., illetve 2008. júliusában általunk gyűjtött, saját adatainkat használtuk.

2.7.2. Adatelemzés

A taxonómiai homogenizációt az 1987-es évet a 2007-es és a 2008-as évvel is, illetve a 2007-es évet a 2008-as évvel összehasonlítva is megvizsgáltuk. A két időpont között végbement taxonómiai homogenizáció (TH) / differenciáció (TD) mértékét a mintavételi helyek adott időpontra számított átlagos páronkénti ökológiai hasonlóságának (Jaccard index) időpontok közötti különbségével becsültük meg. A becsült homogenizáció / differenciáció statisztikai szignifikanciáját nemparaméteres páros randomizációs tesztekkel vizsgáltuk.

¹ Przybylski, M., Bíró, P., Zalewski, M., Tátrai, I., Frankiewicz, P. (1991): The structure of fish communities in streams of the northern part of the catchment area of Lake Balaton (Hungary). *Acta Hydrobiologica* 33(1–2):135–148.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A minta reprezentativitásának vizsgálata

A nyolc mintavételi helyről összesen 27 halfaj került elő. Az egyes mintavételi helyekről a 200 m-es mintavételi szakasz kétszeri mintázásával (alkalmazott maximális ráfordítás) kimutatott fajok száma 6–17 között változott. A 200 m kétszeri mintavételéhez képest a 200 m egyszeri mintavételével a fajok 95,7%-át ($\pm 4,9$ SD), az egyedek 71,1%-át ($\pm 5,1$ SD) sikerült megfogni.

A fajtelődési görbék szerint a fajok várható száma a mintavételi szakasz hosszának növelésével határozott növekedést mutatott, azonban az egyszeri és kétszeri mintavétellel várható fajszámok között egy mintavételi hely kivételével gyakorlatilag nem volt különbség.

A közösségszerkezeti mutatók becslésének megbízhatósága és pontossága a fajszámra és a fajkészletre nézve azonos volt. Rövid mintavételi hossz ($< \approx 60$ m) esetén a relatív abundancia becslése enyhén megbízhatóbb és pontosabb volt, mint a fajszám / fajkészlet becslése. 100 m hosszú patakszakasz (az átlagos patakszélességeknek kb. a 28-szorosa) egyszeri mintavétele a 200 m kétszeri mintázáshoz viszonyítva a közösségszerkezeti mutatók több mint 80%-os becslési megbízhatóságát, és a becslések 9 CV% alatti pontosságát eredményezte a fajszám / fajkészlet és a relatív abundancia esetén is.

A három közösségszerkezeti jellemző egymáshoz viszonyított autoszimilitása kis mértékben, de nem szignifikánsan különbözött: az átlagos autoszimilitás bármely mintavételi hossz mellett a fajszámra volt a legmagasabb, a fajkészletre a legalacsonyabb, a relatív abundancia autoszimilitása pedig a kettő között volt. 100 m hosszú patakszakasz egyszeri mintavételével a minták fajszámra, fajkészletre és relatív abundanciára vonatkozó átlagos autoszimilitása rendre 85,2%, 70,9% és 80,7% volt.

A közösségszerkezeti mutatók egyszeri és kétszeri mintavételből származó becslései, és autoszimilitása között a számottevő különbséget nem találtunk.

3.2. A Balaton vízgyűjtő vízfolyásainak halfaunája

Halfaunisztikai vizsgálatunkban a 43 vizsgált vízfolyáson felmért 94 mintavételi hely közül 75 helyen (35 vízfolyás) tudtuk halak jelenlétét kimutatni.

Az azonosított halfajok száma összesen 43 volt. Közülük 15 volt a Balaton vízgyűjtőre nézve jövevény halfajok száma (1. táblázat). A védett halfajok közül nyolcat, a fokozottan védettek közül egy fajt mutattunk ki (2. táblázat).

1. táblázat. A Balaton vízgyűjtőjének vízfolyásaiból 2006–2010 között végzett halfaunisztikai vizsgálatok során kimutatott, a Balaton vízgyűjtőre nézve jövevény halfajok.

Magyar név	Tudományos név
Fekete törpeharcsa	<i>Ameiurus melas</i>
Barna törpeharcsa	<i>Ameiurus nebulosus</i>
Angolna	<i>Anguilla anguilla</i>
Ezüstkárász	<i>Carassius gibelio</i>
Amur	<i>Ctenopharyngodon idella</i>
Szúnyogírtó fogasponty	<i>Gambusia holbrooki</i>
Fehér busa	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>
Pettyes busa	<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>
Naphal	<i>Lepomis gibbosus</i>
Folyami géb	<i>Neogobius fluviatilis</i>
Szivárványos pisztráng	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Amurgéb	<i>Perccottus glenii</i>
Tarka géb	<i>Proterorhinus semilunaris</i>
Kínai razbóra	<i>Pseudorasbora parva</i>
Sebes pisztráng	<i>Salmo trutta fario</i>

2. táblázat. A Balaton vízgyűjtőjének vízfolyásaiból 2006–2010 között végzett halfaunisztikai vizsgálatok során kimutatott védett és fokozottan védett halfajok.

Magyar név	Tudományos név	Védettségi státusz
Kövicsík	<i>Barbatula barbatula</i>	védett
Vágócsík	<i>Cobitis elongatoides</i>	védett
Fenekjáró küllő	<i>Gobio obtusirostris</i>	védett
Kurta baing	<i>Leucaspis delineatus</i>	védett
Réticsík	<i>Misgurnus fossilis</i>	védett
Fürge cselle	<i>Phoxinus phoxinus</i>	védett
Halványfoltú küllő	<i>Romanogobio vladykovi</i>	védett
Szivárványos ökle	<i>Rhodeus sericeus</i>	védett
Lápi póc	<i>Umbra krameri</i>	fokozottan védett

3.3. Jövevény halfajok ichthyocönológiai helyzete a Balaton vízgyűjtő vízfolyásaiban

A 40 mintavételi hely kilenc alkalommal történt felmérésének adatait tartalmazó hároméves adatsorban az összes halegyed száma (összabundancia) 71 291, az összes halfaj száma 39 volt. Ebből a jövevény halfajok együttes egyedszáma 14 377-nek, fajszaámuk 12-nek adódott.

Az átlagolt hároméves adatsorban a halfajok térbeli előfordulási gyakorisága és tömegessége között pozitív volt az összefüggés.

A jövevény halfajok közül a leggyakoribb térbeli előfordulású (26 mintavételi hely) a naphal volt. Nem sokkal maradt el tőle az ezüstkárász (23 mintavételi hely). A kínai razbóra és a fekete törpeharcsa előfordulási gyakorisága is számottevő volt (19, illetve 18 mintavételi hely). A többi jövevény halfaj nyolc, vagy annál kevesebb mintavételi helyről került elő.

Tömegesség tekintetében a legdominánsabb jövevény halfaj a kínai razbóra (715 egyed), és az ezüstkárász (677 egyed) volt. E két fajhoz képest mérsékeltőbb, de még mindig számottevő tömegességű volt a naphal (151 egyed). Egy nagyságrenddel kisebb (< 100 egyed) tömegesség jellemezte a fekete törpeharcsát és a folyami gébet; a többi jövevény halfaj kevesebb, mint tízpéldányos tömegességet mutatott.

3.4. Lokális, tájleptékű és térbeli tényezők relatív mintázatléíró jelentősége

Az első variancia-particionálásban a kilenc felmérés egyedi elemzéseiben a térbeli és környezeti tényezők a teljes varianciának átlagosan a 38,98%-t ($\pm 3,46$ SD) magyarázták meg a teljes, és 41,03%-t ($\pm 5,93$ SD) a natív halegyüttes szintjén. A tisztán térbeli tényezőkkel magyarázott variancia [T] a teljes halegyüttes esetén 1,81–8,21% között (átlag \pm SD: $4,87 \pm 2,27\%$), a natív halegyüttesnél 0–7,68% között (átlag \pm SD: $4,76 \pm 2,44\%$) változott. Ettől szembeötlően magasabb volt a tisztán környezeti tényezőkkel magyarázott varianciafrakció [K], amely a teljes halegyüttesnél 21,41–31,90% között (átlag \pm SD: $25,01 \pm 3,38\%$), a natív halegyüttesnél pedig 16,46–37,75% között (átlag \pm SD: $27,79 \pm 5,86\%$) variált. A térbeli és környezeti tényezőkkel közösen magyarázott varianciafrakció [TK] a teljes halegyüttesnél 4,35–11,14% között (átlag \pm SD: $9,10 \pm 2,09\%$), a natív halegyüttesnél 5,03–11,49% között (átlag \pm SD: $8,48 \pm 2,42\%$) változott.

A kilenc felmérés során a reziduális varianciafrakció [R] kismértékben alacsonyabb volt a natív közösségi szinten, mint a teljes halegyüttesnél (egyoldalú páros Wilcoxon-féle előjeles rangpróba, $V = 36$, $p = 0,004$). Ezzel együtt a tisztán környezetileg magyarázott varianciafrakció [K] kismértékben magasabb volt a natív halegyüttesnél, mint a teljes halegyüttesnél ($V = 36$, $p = 0,004$). A tisztán térbe-

li hatásokkal magyarázott varianciafrakciók eloszlásában nem látszott különbség a közösségi szintek között ($V = 26$, $p = 0,156$).

A második variancia-particionálásban a kilenc felmérés egyedi elemzéseiben a tisztán táji tényezőkkel magyarázott varianciafrakció [Kt] a teljes halegyüttesnél 2,02–9,55% között (átlag \pm SD: $5,93 \pm 2,11\%$), a natív halegyüttesnél 3,17–9,88% között (átlag \pm SD: $6,17 \pm 2,56\%$) változott. Ehhez képest magasabb volt a tisztán lokális környezeti tényezőkkel magyarázott varianciafrakció, amely a teljes halegyüttesnél 6,40–17,06% között (átlag \pm SD: $11,58 \pm 3,50\%$), a natív halegyüttesnél pedig 7,38–21,28% között (átlag \pm SD: $13,39 \pm 4,68\%$) variált. A táji és lokális környezeti tényezőkkel közösen magyarázott varianciafrakció a teljes halegyüttesben 2,46–11,33% között (átlag \pm SD: $7,50 \pm 2,98\%$), a natív halegyüttesben 2,41–14,11% között (átlag \pm SD: $8,22 \pm 3,86\%$) változott.

A kilenc felmérés során a tisztán táji tényezőkkel magyarázott varianciafrakció [Kt] nem különbözött szignifikánsan a teljes és a natív közösségi szintek között (egyoldalú páros Wilcoxon-féle előjeles rangpróba, $V = 19$, $p = 0,674$). A tisztán lokális tényezőkkel magyarázott varianciafrakció [Kl], azonban enyhén nagyobb volt a natív halegyüttes szintjén, mint a teljes halegyüttesnél ($V=37$, $p = 0,049$).

3.5. Jövevény halak térbeli elterjedésének leíró modellezése

A térbeli változóknak a jövevény halfajok előfordulási (klasszifikációs RF modell, osztályozási hibaráta = 17/39, Cohen-féle $\kappa = -0,28$, Hand-féle $H = 0$) és fajszám adataiban sem volt mintázatlan szerepe (regressziós RF modell, pseudo- $R^2 = -27,29\%$). A relatív abundancia mintázat kis része azonban magyarázható volt a térbeli hatásokkal (regressziós RF modell, pseudo- $R^2 = 21,75\%$), de a környezeti tényezők hatása mellett a térbeli hatásra utaló autokorreláció már nem volt kimutatható a modelltől (Moran-féle $I = 0,08$, $p = 0,29$).

Jövevény halak a 39 mintavételi hely közül 31 helyről kerültek elő. Térbeli előfordulásuk valószínűsége az átlagos vízmélységgel és víztükörszélességgel növekedett, míg a tengerszint feletti magassággal csökkent (RF modell, osztályozási hibaráta = 6/39, Cohen-féle $\kappa = 0,53$, Hand-féle $H = 0,29$) (3. táblázat).

Azokon a helyeken, ahol a jövevény halfajok előfordultak, az átlagos adatsorbéli lokális relatív abundanciájuk 0,32% és 68,87% között változott. A relatív tömegességre a vízfolyásszegmens vízgyűjtőjén levő tavak területe volt a legnagyobb hatással: a tavak területének növekedésével a jövevényfajok lokális tömegessége is növekedett (RF modell, pseudo- $R^2 = 46,39\%$) (3. táblázat).

Azokon a helyeken, ahol a jövevény halfajok előfordultak, az átlagos adatsorbéli lokális fajszámuk egy és hét között változott. A jövevényfajok száma csak a táji tényezőkkel mutatott összefüggést (RF modell, pseudo- $R^2 = 55,38\%$) (3. táblázat),

melyek közül a legmeghatározóbb a mintavételi helyek tengerszint feletti magassága volt. A tengerszint feletti magasság kis mérvű kezdeti növekedésével (a Balaton szintjétől, azaz 107 m-től kb. 125 m-ig) erősen csökkent a várható fajszám.

3. táblázat. A jövevényhalak előfordulásának, relatív abundanciájának és fajszámának térbeli eloszlását leíró környezeti változók. A számértékek a *Random Forests* (RF) modellel meghatározott változófontossági mutatók értékei. Ezek az értékek azt jelzik, hogy milyen mértékben nő meg a modell predikciós hibája (klasszifikációs modellnél: osztályozási hibaráta, regressziós modellnél: átlagos négyzetes hiba) ha az adott változó értékei random összekeverednek a mintavételi helyek között. Rövidített nevű változó: t.sz.m.: tengerszint feletti magasság.

Előfordulási adatok	Osztályozási hibaráta növekedése (%)
átlagos vízmélység	29,89
átlagos víztükörszélesség	28,11
t.sz.m.	11,90
Relatív abundancia adatok	Átlagos négyzetes hiba növekedése (%)
tavak területe	94,65
erdő (%)	91,07
t.sz.m.	90,31
átlagos vízáramlási sebesség	82,65
iszap (%)	79,44
Fajszám-adatok	Átlagos négyzetes hiba növekedése (%)
t.sz.m.	219,01
mesterséges felszín (%)	150,56
erdő (%)	133,25

3.6. Jövevény halak rövidtávú dinamikája két kisvízfolyásban

Mindkét vizsgált patakra jellemző volt, hogy a közvetlenül halastavak alatt levő mintavételi helyeken, a jövevény halak a vizsgálat minden felmérési időpontjában kimutathatóak voltak. A két patak között éles különbség volt viszont a jövevény halak becsült mennyiségében, ami az Eger-víz esetén 1,06%-nak, a Marót-völgyi-csatorna esetén 14.27%-nak adódott (GLMM modell).

A jövevény halak relatív abundanciájának mintavételi helyek közötti különbségekből fakadó véletlen varianciája ($\hat{\sigma}^2 = 2,975$) kb. hatszor nagyobb volt, mint a felmérések közötti varianciája ($\hat{\sigma}^2 = 0,478$) (GLMM modell).

3.7. Jövevény halfajok fajegyüttes-összetételt módosító hatása – a biotikus (taxonómiai) homogenizáció vizsgálata

A három felmérési időpont (1987, 2007, 2008) egybevont adataiban a regionális (együttesen nyolc mintavételi hely) fajszám 30 volt, közöttük nyolc volt a Balaton vízgyűjtőre nézve jövevény halfajok száma. Az egyes felmérési időpontokra szétbontva a regionális fajszám 1987-ben, 2007-ben és 2008-ban rendre 22, 23 és 24; a jövevények fajszáma pedig rendre öt, hat és hat volt.

Két felmérési időpont között végbement TH / TD becsült mértéke 1987 vs. 2007 összehasonlításban 8,86% (TH; nemparaméteres páros randomizációs teszt, $p = 0,026$), 1987 vs. 2008 összehasonlításban 3,33% (TH; nemparaméteres páros randomizációs teszt, $p = 0,230$), illetve 2007 vs. 2008 összehasonlításban -5,53% (TD; nemparaméteres páros randomizációs teszt, $p = 0,130$) volt.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A reprezentativitás vizsgálatokban a különböző közösségszerkezeti jellemzők egymáshoz viszonyított reprezentativitását a fajok előfordulási és abundancia eloszlása mellett a kompozíciós hasonlóság mérésére alkalmazott indexek is befolyásolják.

Az egyszeri mintavételhez képest az ismételt mintavétel nem javítja számottevően a minta reprezentativitását. Ugyanakkor egy rövid mintavételi szakasz (< 60–80 m) még kétszeri mintavétel esetén is meglehetősen torzított mintát eredményez. Ezért a halegyüttesek tér- és időbeli változatosságának vizsgálatához szükséges monitorozásra az idő- és munkaigényesebb kétszeri mintavételhez képest egy kellően hosszú patakszakasz egyszeri mintavétele előnyösebb stratégia.

A Balaton vízgyűjtőjén a gázolható kisvízfolyások mintázásakor legalább 100–120 m hosszú patakszakasz mintázása már elfogadható reprezentativitású mintát eredményez, de a sok ritka fajt (élőhely-idegen és jövevény halfajok) tartalmazó halállományok reprezentatív mintázása ettől hosszabb mintavételi szakaszt igényel. Más vízgyűjtőn a regionális különbségek (élőhelyi komplexitás, halfauna, abundancia eloszlások stb.) miatt az optimális mintavételi hossz felmérése néhány helyszín helyben végzett intenzív mintázását teheti indokolttá, különösen nagy térléptékű vizsgálatok megkezdése előtt.

Kutatásunk révén a Balaton vízgyűjtő halfaunisztikai feltártsága számottevően javult, különösen a zalai fő részvízgyűjtő számos kisvízfolyásának első alkalommal végzett felmérése által.

A halfajok gyakoriságának időbeli változatossága fajonként eltérő. Az időbeli változatosság miatt egy vízfolyás, illetve vízfolyásrendszer ökológiai állapotminősítéséhez még térben intenzív mintavételi elrendezés mellett is esetenként (az alkalmazott minősítő eljárástól függően) több felmérésre lehet szükség a halfajok tényleges gyakorisági viszonyainak (kompozíciós szerkezet) feltárásához. Ezért az olyan, nem monitorozásból származó adatbázisok, amelyeket egy nagy vízgyűjtő terület halegyütteseinek egyszeri, de részvízgyűjtőnként eltérő időpontokban (pl. évek) végzett felméréseivel állítottak össze, a halegyüttesek kompozíciós viszonyának torzított képét mutathatják. Együttesen figyelembe véve a téridőbeli előfordulási gyakoriságot és tömegességet, a Balaton vízgyűjtő vízfolyásaiban előforduló jövevény halfajok közül a kínai razbóra, az ezüstkárász és a naphal a halegyüttes kompozíciós szerkezetének domináns részében helyezkedik el.

A halegyüttes-szerkezet leírásában az időbeli változatosságtól függően más-más egyedi térbeli és környezeti változóknak lehet szerepe egy vízgyűjtőn belül is. A térbeli, lokális és táji környezeti tényezők mintázatléíró hatékonysága időben változékony, a halegyüttes-szerkezet kialakításában való relatív jelentőségük reális megítélése egyetlen felmérés adatai alapján félrevezető lehet. Az egyetlen felmérésen alapuló vizsgálatok elsősorban nagy térbeli kiterjedés (pl. folyam vízgyűjtő) mel-

lett, illetve kis diszperziós képességű szervezetek (pl. erdei lágyszárú növények) vizsgálatakor lehetnek megfelelőek a térbeli és környezeti tényezők mintázatléíró jelentőségének vizsgálatához, a metaközösségi szerkezet feltárásához. Azonban az aktív diszperziós képességű élőlények esetén, mint a halak is, különösen olyan térbeli kiterjedésnél amely egybeesik az élőlények diszperziós képességével, az élőhely és a közösséget alkotó populációk demográfiai jellemzőinek időbeli változatossága miatt, csak a monitorizásból származó adatsorok adhatnak reális információt a térbeli és környezeti tényezők mintázatformáló hatásáról, a vizsgált élőlényegyüttes metaközösségi dinamikájáról.

A jövevény halak relatív abundancia eloszlásának mintavételi helyek közötti, illetve felmérések közötti különbségekből fakadó varianciafrakcióinak viszonya arra utal, hogy a patak hossz-szelvényén levő pozíciónak nagyobb hatása van a jövevények relatív tömegességére, mint a felmérés időpontjának. A hossz-szelvényen levő pozíció hatása elsősorban a halastavakra vezethető vissza. A relatív abundancia tavaktól való távolodással való csökkenéséből arra következtetünk, hogy a jövevény halak patakon belüli eloszlásának dinamikáját főleg a tavakból történő passzív diszperzió határozza meg, amihez képest a patakon belüli szaporodás kisebb jelentőségű.

A jövevény halak elsősorban a halastavakkal terhelt síkvidéki kisvízfolyások halegyütteseinek sokféleségét módosíthatják jelentős mértékben. Terjedésük és megtelepedési sikerük esélyét véleményünk szerint a tógazdasági haltelepítések sokkal szigorúbb ellenőrzésével, a halastavak lefolyó zsilipjének hatékonyabb halfogó berendezésével lehetne csökkenteni.

A patakok halfaunájában kis térbeli területen pár évtized alatt is történhet taxonómiai homogenizáció. Azonban a TH mértékére két felmérési időpont alapján nem lehet megbízható becslést adni, mert a kis térlépték miatt számottevő lehet a halállomány évek közötti változatossága. Az évek közötti nagyfokú változatosságból adódóan a hosszútávú változások észlelése csak hosszútávú monitorozó felmérések adatai alapján lehet kellően megalapozott.

4.1. Új tudományos eredmények

1.1. Magyarországon először alkalmaztuk a minta reprezentativitásának vizsgálatára az ismételt minták autoszimilitásán alapuló eljárást. Megállapítottuk, hogy síkvidéki kisvízfolyásokon gázolással történő elektromos mintavétel esetén az egyszeri mintavételhez képest a kétszeri mintavétel nem növeli jelentősen a minta reprezentativitását. Rövid patakszakas mintázása, még kétszeri mintavétel esetén is kis reprezentativitású mintát eredményez, ezért a halegyüttesek monitorozásához a mintavételi hossz növelése hatékonyabb stratégia a minta reprezentativitásának növelésére, mint egy rövidebb patakszakas időigényesebb kétszeri mintavétele.

1.2. Igazoltuk, hogy a hazai gázolható domb- és síkvidéki kisvízfolyások halegyütteseinek monitorozásához a Nemzeti Biodiverzitás-monitorozó Rendszer által jelen-

leg használt gyakorlat, vagyis 150 m hosszúságú patakszakaszk elektromos eszközzel való egyszeri mintázása, megfelelő mintavételi ráfordítást biztosít.

1.3. Rámutattunk arra, hogy a halegyüttesek közösségszerkezeti mutatóinak egymáshoz viszonyított relatív reprezentativitását az adatelemzésekhez használt hasonlósági indexek jelentősen befolyásolják. A minta reprezentativitásának intenzív mintázással nyert referencia mintához viszonyított hasonlóság elvén történő értékelésekor, a mintavételi egységek fajszámának a referencia fajszám százalékában kifejezett formája (Ruzicka indexszel mért hasonlóság) azonos a fajkészlet Jaccard indexszel mért reprezentativitásával. A Sørensen index alkalmazásával a minta fajkészletre vonatkozó reprezentativitása mindig magasabb, mint a fajszámra vonatkozó reprezentativitás, és egyúttal kisebb a fajkészlet és a relatív abundancia reprezentativitása közötti eltérés, mint a fajkészletbeli hasonlóság Jaccard indexszel való mérése esetén.

1.4. Megállapítottuk, hogy a minta reprezentativitásának a fajszám Ruzicka indexszel mért autoszimilitása alapján történő értékelése a fajok térbeli kicserélődése (*species turnover*) miatt félrevezető lehet, ha a vizsgált patakszakaszon belül a fajdenzitás homogén.

2.1. Először végeztük el a Balaton vízgyűjtő 20 kisvízfolyásának halfaunisztikai vizsgálatát. E kisvízfolyások többsége a Zala vízgyűjtőjén található, és faunisztikai vizsgálatukkal több védett halfaj új előfordulási helye vált ismertté.

2.2. Először mutattuk ki a jövevény amurgéb (*Percottus glenii*) előfordulását a Balaton vízgyűjtőjéről, ami egyben a faj első dunántúli észlelése is.

3.1. Először vizsgáltuk meg, hogy milyen a térbeli, a lokális környezeti és táji környezeti változók relatív jelentősége a halegyüttesek térbeli szerkezetének leírásában a Pannon Ökorégió domb- és síkvidéki kisvízfolyásaiban. Megállapítottuk, hogy a halegyüttesek térbeli szerkezetének leírásában a térbeli, lokális és táji környezeti tényezők mintázatléíró hatékonysága, illetve a halegyüttes-szerkezet kialakításában való relatív jelentősége időben változó. A főleg mezőgazdasági hasznosítású Balaton vízgyűjtő vízfolyásaiban a lokális halegyüttesek térbeli szerveződése erős környezeti kontroll alatt áll, amiben a lokális szintű környezeti változóknak nagyobb szerepe van, mint a táji változóknak.

3.2. Kimutattuk, hogy a jövevény halfajok csökkenthetik a halegyüttes-szerkezet térbeli változatosságának térbeli és környezeti tényezőkkel való megmagyarázhatóságát. Ez a csökkenés a lokális környezeti tényezők mintázatléíró hatékonyságának csökkenéséből ered.

4.1. Megállapítottuk, hogy a jövevény halak térbeli eloszlásának leírásában a térbeli, lokális és táji léptéken ható környezeti tényezők relatív mintázatléíró szerepe az ökológiai állapotváltozóktól (előfordulás, relatív abundancia, fajszám) függően változhat. A jövevény halak térbeli előfordulása elsősorban lokális szintű környe-

zeti, relatív abundanciája táji szintű környezeti és térbeli, fajszáma táji környezeti tényezőkkel van összefüggésben.

5.1. A halegyüttes térbeli szerkezetének leírásában és a jövevény halak térbeli eloszlásának leírásában is a tengerszint feletti magassághoz kapcsolódó táji és lokális élőhelyi grádienseknek és a vízgyűjtőn található tavak területének van kiemelkedő jelentősége. Bemutattuk, hogy a kisvízfolyások vízgyűjtőjén található halastavak jelentős módosító hatást gyakorolnak a pataki halegyüttesek összetételére.

6.1. Megvizsgáltuk és megállapítottuk, hogy a halastavakkal terhelt kisvízfolyásokban a jövevény halak állomány nagysága a halastó és a patak közötti forrás-nyelő dinamikát követhet. A halastavak folyamatos forrásterületei lehetnek a patakba jutó jövevény halaknak.

7.1. A biológiai homogenizáció számszerűsítésére a közelmúltban bevezetett (Olden 2006¹) megközelítést Magyarországon először alkalmazva megállapítottuk, hogy halegyüttesekben taxonómiai homogenizáció kis térbeli kiterjedésű területen, két évtized alatt is kimutatható, de annak csupán két időpont adatain alapuló becslése patakszakasz léptékű térbeli felbontás mellett nem megbízható. Kis téridő léptéken a véletlen és élőhely-történeti hatásoknak nagyobb jelentősége lehet a halegyüttes taxonómiai homogenizálódásában / differenciálódásában, mint a jövevény halfajoknak.

¹ Olden, J.D. (2006): Biotic homogenization: a new research agenda for conservation biogeography. *Journal of Biogeography* 33(12):2027–2039.

5. Az értekezés témakörében megjelent publikációk jegyzéke

A publikációk a Környezettudományi Doktori Iskola Minőségbiztosítási Szabályzatának 2. sz. melléklete szerinti vannak csoportosítva. A csoportokon belül a publikációs tételek évek szerint csökkenő rendben, éven belül növekvő betűrendben vannak felsorolva.

Folyóiratcikkek

IF-es folyóiratcikk

Erős, T., Sály, P., Takács, P., Specziár, A., Bíró, P. (2012): Temporal variability in the spatial and environmental determinants of functional metacommunity organization – stream fish in a human-modified landscape. *Freshwater Biology* 57(9):1914–1928. **IF: 3.290**

Takács, P., Sály, P., Specziár, A., Bíró, P., Erős, T. (2012): Within year representativity of fish assemblage surveys in two small lowland streams. *Folia Zoologica* 61(2):97–105. **IF: 0.554**

Sály, P., Takács, P., Kiss, I., Bíró, P., Erős, T. (2011): The relative influence of spatial context and catchment- and site-scale environmental factors on stream fish assemblages in a human-modified landscape. *Ecology of Freshwater Fish* 20(2):251–262. **IF: 1.573**

Sály, P., Erős, T., Takács, P., Kiss, I., Bíró, P. (2009): Assemblage level monitoring of stream fishes: The relative efficiency of single-pass vs. double-pass electro-fishing. *Fisheries Research* 99(3):226–233. **IF: 1.531**

Nem IF-es (lektorált) folyóiratcikk, magyar nyelvű

Sály P., Takács P., Kiss I., Bíró P., Erős T. (2012): Lokális és tájleptékű tényezők hatása a jövevény halfajok elterjedésére a Balaton vízgyűjtőjének kisvízfolyásaiban. *Állattani Közlemények* 97(2):181–199.

Sály P., Hódi B.K. (2011): A Tarna felső és középső vízgyűjtőjének pataki halegyüttese. *Pisces Hungarici* 5:83–94.

- Takács P., **Sály P.**, Erős T., Specziár A., Bíró P. (2011): Mennyit „ér” egy mintavétel? – Halfaunisztikai felmérések hatékonysága és reprezentativitása síkvidéki kisvízfolyásokon. *Hidrológiai Közlöny* 91(6):92–95.
- Takács P., Specziár A., Erős T., **Sály P.**, Bíró P. (2011): A balatoni vízgyűjtő halállományainak összetétele. *A Balaton ökológiája* 1(1):1–21.
- Dombai B., **Sály P.**, Kiss I., Tóth B. (2010): Gébfajok (*Neogobius* spp.) aljzatfüggő éjszakai eloszlásmintázata a Duna gödi és szentendrei szakaszán. *Pisces Hungarici* 4:17–25.
- Sály P.**, Erős T., Takács P., Kiss I., Bíró P. (2010): Tájléptékű, lokális és térbeli tényezők relatív jelentősége kisvízfolyások halegyütteseinek szerveződésében a Balaton vízgyűjtőjén. *Hidrológiai Közlöny* 90(6):123–124.
- Sály P.**, Erős T., Takács P., Kiss I., Bíró P. (2009): Kisvízfolyások halegyüttes-típusai és karakterfajai a Balaton vízgyűjtőjén: élőhelytípus-indikátorok és fajegyüttes-indikátorok. *Pisces Hungarici* 3:133–146.
- Sály P.**, Erős T., Takács P., Specziár A., Bíró P. (2009): A mintavételi ráfordítás hatása közösségszerkezeti mutatók becslésére - esettanulmány síkvidéki halegyüttesekkel. *Hidrológiai Közlöny* 89(6):53–56.
- Sály P.**, Takács P., Erős T. (2009): Halfaunisztikai vizsgálatok Borsod-Abaúj-Zemplén megye északi térségében. *Állattani Közlemények* 94(1):73–91.
- Sály P.**, Erős T., Takács P., Bereczki Cs., Bíró P. (2008): Biológiai homogenizáció vagy differenciáció? Halegyüttesek sokféleségének változása a Balaton három kisvízfolyásában. *Hidrológiai Közlöny* 88(6):162–164.
- Takács P., Erős T., **Sály P.**, Berecki Cs., Bíró P. (2008): A Zala vízrendszerének halfaunisztikai vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* 88(6):199–201.
- Weiperth A., Keresztessy K., **Sály P.** (2008): A Tapolcai-medence patakjainak halfaunisztikai vizsgálata. *Állattani Közlemények* 93(2):59–70.
- Sály P.** (2007): A faunakomponens-fogalomrendszer és alkalmazása a halfajegyüttesek természetességének minősítésére. *Agrártudományi Közlemények* 25. *Pisces Hungarici* 1: 93–101.
- Sály P.**, Erős T., Takács P., Bereczki Cs., Bíró P. (2007): Halegyüttesek szerkezetének változásai a Balaton három északi oldali befolyóvizében. *Pisces Hungarici* 2:101–116.
- Takács P., Bereczki Cs., **Sály P.**, Móra A., Bíró P. (2007): A Balatonba torkolló kisvízfolyások halfaunisztikai vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* 87(6):175–177.
- Sály P.** (2005) A faunakomponens fogalomrendszer. *Hidrológiai Közlöny* 85(6):116–118.

Egyéb szakmai (nem lektorált) folyóiratcikk

Erős T., Takács P., **Sály P.**, Specziár A., György Á.I., Bíró P. (2008): Az amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) megjelenése a Balaton vízgyűjtőjén. *Halászat* 101(2):75–77.

Könyv, könyvrészlet

Magyar nyelvű könyvrészlet

Specziár A., Erős T., Takács P., **Sály P.**, Bíró P. (2009): A Balaton és vízgyűjtőjének természetes halfaunája. 113–128 p. In: Bíró P., Banczerowski J. (szerk.): *A Balaton-kutatás fontosabb eredményei 1999–2009*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia. 194 p.

Specziár A., Takács P., **Sály P.**, György Á.I., Erős T. (2009): A Balaton és befolyói halállományának monitorozása az EU VKI irányelveinek figyelembe vételével. 73–83 p. In: Bíró P., Banczerowski J. (szerk.): *A Balaton kutatásának 2008. évi eredményei*. Budapest: Magyar Tudományos Akadémia. 100 p.