

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Az idegenhonos amurgéb (*Perccottus glenii*) hatása a hazai halközösségre

Somogyi Dóra

Témavezetők: Dr. Antal László egyetemi docens
Dr. Erős Tibor tudományos tanácsadó



DEBRECENI EGYETEM
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen
2024

1. Bevezetés

A biológiai invázió – mely során egy adott területen, adott tér- és időskálán egy nem őshonos faj elterjedési területe és populációmérete a számára megfelelő élőhelyen, adott tér- és időskálán monoton módon növekszik [1] – a felfedezések korát (15–18. század) és a globalizációt követően vált széleskörűvé, az idegenhonos fajok hatása pedig manapság egyre érzékelhetőbbé válik [2,3]. A Darwin idejében kuriózumnak számító jelenség mára már a biológiai sokféleséget veszélyeztető egyik fő tényezővé lépett elő [4]. Az egyre nagyobb mértéket öltő probléma a 20. század közepén életre hívta az *invázióbiológiát*, mely több tudományterület együttműködése révén vizsgálja a jövevény fajokat [5,6]. Az invázió jelentette probléma súlyosságát igazolja, hogy a témával foglalkozó kutatások száma exponenciálisan növekszik, az utóbbi 40 év során – 2020-szal bezárólag – több mint 27.000 publikáció jelent meg ebben a témakörében [7].

Édesvizeink a bolygó legdiverzebb élőhelyei közé tartoznak [8], az édesvízi halfajok több, mint 18 ezer képviselőjével pedig az egyik legdiverzebb, a kihalás tekintetében pedig az egyik legveszélyeztetettebb élőlényközösséget alkotják [9]. Napjainkra az édesvízi halfajok több, mint 30%-át fenyegeti a kihalás veszélye, 2020-szal bezárólag összesen 80 halfajt „kipusztultnak”, 10-et „vadon kihaltnak, további 115 fajt pedig „kritikusan veszélyeztetettnek” nyilvánított a Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) [9]. A kihalási események hátterében – mint fő tényező – szerepel az inváziós fajok terjedése is [10].

Magyarország a Duna révén részét képezi az egyik legkiemelkedőbb édesvízi migrációs útvonalnak [11]. 2016-tal bezárólag összesen 59 idegenhonos halfajt és azok hibridjeit regisztrálták a hazai vizekből, mely fajszám kiemelkedően magasnak tekinthető a közel 60 hazai őshonos halfaj számával összevetve [12]. A jövevények közül kiemelkedik az inváziós amurgéb (*Perccottus glenii* DYBOWSKI, 1877), melyet 1997-ben észleltek először a Kárpát-medencében, ezen belül is a Kiskörei víztározó (Tisza-tó) térségében [13], napjainkra pedig országszerte egyre több előfordulási adatát regisztrálják [14–17]. Mára az ország számos víztestében a halfauna domináns, veszélyt jelentő inváziós elemévé vált [12,18,19]. Az elmúlt évek faunisztikai felmérései alapján jelentősnek bizonyult egyes őshonos halfajok, kiváltképp a fokozottan védett lápi póc (*Umbra krameri* WALBAUM, 1792) Tisza menti állományainak visszaszorulása az amurgéb megjelenését követően [20–22]. Néhány nemzetközi publikáció beszámol más fajok, mint például a széles kárász [*Carassius carassius* (LINNAEUS, 1758)], a kurta baing [*Leucaspisus delineatus* (HECKEL, 1843)] vagy a szivárványos ökle [*Rhodeus amarus* (BLOCH, 1782)] állományainak visszaszorulásáról [23–25], azonban a folyamat hátterében álló okokról, illetve az amurgéb konkrét hatásáról csupán feltételezéseket közöltek, bizonyítékokkal nem szolgálnak az olvasók számára.

2. Célkitűzések

Munkám során az alábbi célkitűzéseim voltak:

- (i) *Az inváziós amurgéb biológiájával és ökológiájával kapcsolatos szakirodalom áttanulmányozása egy tudományos, átfogó jellegű kézirat elkészítése céljából.*
- (ii) *Az inváziós amurgéb állományának felmérése, különös tekintettel a Tisza mentén található víztestekre. A felmérés során megvizsgáljuk, hogy: (a) A vizsgált víztestekben mennyire előrehaladott az amurgéb terjedése, (b) A vizsgált közösségekben milyen arányú az amurgéb abundanciája az őshonos faunaelemekhez képest (c) Milyen hatással van az amurgéb megtelepedése a közösségek fajgazdagságára és diverzitására, valamint azok fajösszetételére.*
- (iii) *Az inváziós amurgéb táplálkozásökológiájának tanulmányozása, kiemelt figyelemmel annak ragadozó táplálkozásmódjára és közösségszintű hatására. Jelen témakörön belül a következő kérdésekre keresem választ: (a) Milyen szerepe van a haleredetű tápláléknak az amurgéb táplálkozásában, (b) Milyen halfajok vannak leginkább kitéve az amurgéb jelentette predációs nyomásnak, (c) Van-e különbség az amurgéb gyomortartalmának összetétele, illetve az egyes táplálékalkotók táplálkozásban betöltött szerepe között eltérő intenzitású mintavételi protokollok alkalmazása esetén, (d) Eltér-e egymástól az amurgéb egyes méretcsoportjainak táplálékpreferenciája az adott populáción belül.*

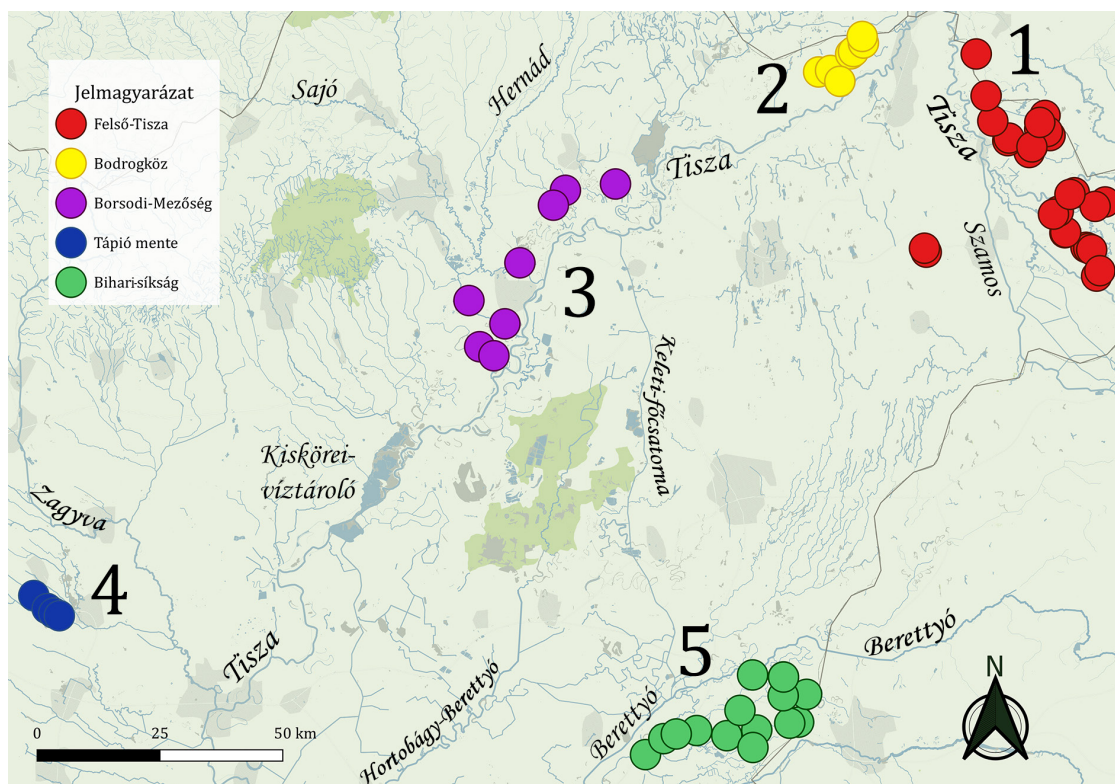
3. Anyag és módszer

3.1. A mintavételi helyek

3.1.1. A Tisza mentén kijelölt mintavételi helyek az amurgéb állományának, valamint halközösségre gyakorolt hatásának vizsgálata céljából

Több hazai forrás is beszámolt az amurgéb terjedéséről a Tisza hazai vízgyűjtője mentén [12–14,17,26], továbbá több angol nyelvű publikáció is említést tesz az amurgéb lápi pócra gyakorolt negatív hatásáról [20,21,27–30], azonban ezek a munkák nem értékelik az amurgéb lápipóc-állományokra kifejtett hatását. A forrásmunkák áttanulmányozása során olyan víztestek kiválasztására törekedtünk, melyekből korábbról már ismert volt a lápi póc előfordulása, ezáltal nem csak az amurgéb halközösségre gyakorolt hatását tanulmányozhattuk, de lehetőségünk volt vizsgálni a két faj állományának alakulását egy több éven átívelő adatsor révén. Emellett valamennyi régió esetén megvizsgáltunk olyan víztereket is, amelyek adottságukat tekintve alkalmasak lehetnek a faj számára.

Összesen 5 régió [20] 76 helyén végeztük el a halállomány felmérését 2019 és 2023 között (1. ábra). A mintavételi helyeket elsősorban hidrológiailag kevésbé változatos, gyakran mesterségesen létesített síkvidéki kisvízfolyások alkották, a további helyszíneket pedig holtmedreken és tőzegmohalápokon jelöltük ki. A mintavételi helyeket az 1. ábrán ábrázoltuk. A régiók, valamint a víztestek nevét illetően Magyarország Földrajzínév-tára volt mérvadó [31].

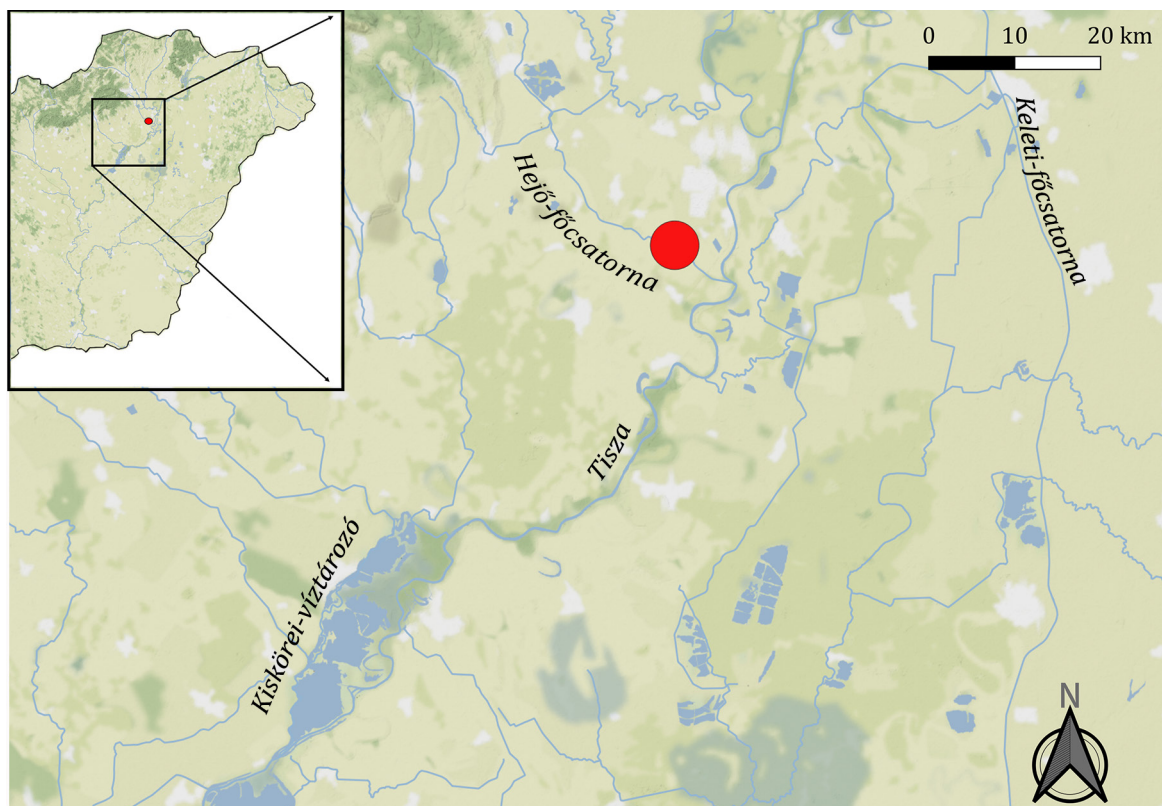


1. ábra: A Tisza magyarországi vízgyűjtő területén kijelölt mintavételi helyek
Régiók és színek kódok: 1 – Felső-Tisza-vidék (piros); 2 – Bodrogköz (sárga);
3 – Borsodi-Mezőség (lila); 4 – Tápó mente (kék); 5 – Bihar-síkság (zöld)

3.1.2. Az amurgéb táplálkozásökológiájának vizsgálatához kijelölt mintavételi terület jellemzése

Az amurgéb hazai faunaelemekre – kiváltképp a fokozottan védett lápi pócra – kifejtett interakciós hatásának vizsgálatára egy olyan élőhelynek a megválasztására volt szükségünk, ahol a két faj együttesen fordul elő, valamint a lápi póc egy stabil állománnyal képviselteti magát az adott vízterben. Az irodalmi adatok áttanulmányozását, valamint a korábbi terepi tapasztalatok átértékelését követően a Tisza vízgyűjtő területén a fent említett feltételeknek mindössze a Borsodi-Mezőségen található Hejő-főcsatorna hejőkürti szakasza felelt meg (EOV koordináták: Y796350, X282129) (2. ábra).

A Hejő-főcsatorna közepes méretű vízgyűjtőjének a területe mindössze 293 km², teljes hossza pedig a forrástól a torkolatig 44 km [32]. Hidrogeomorfológiai adottságait tekintve rendkívül változatos, a mintavétel helyszínél szolgáló alsó szakaszára inkább a pangóvízes állapotok és a stagnofil faunaelemek előfordulása jellemző [33]. A gyomortartalom-vizsgálat céljából begyűjtött halakat Hejőkürt térségében, a Hejő-főcsatorna Tiszába torkollása előtti szakaszán fogtuk be (2. ábra). Ezen a szakaszon a víz mélysége 0,8 métertől egészen 2 méterig változik, a fő mederalkotó anyag a finom üledék, növényborítottság tekintetében mind emerz, szubmerz és úszólevelű vízinövényzetben is bővelkedik.



2. ábra: A Borsodi-Mezőséget átszelő Hejő-főcsatorna
(Az interakciós vizsgálatához kijelölt mintavételi szakaszt a piros kör jelzi)

3.2. A vizsgálati módszerek leírása

3.2.1. Módszerek az amurgéb Tisza menti állományának, valamint halközösségre gyakorolt hatásának a felmérésére

A mintavételeket az érvényben lévő Európai Unió Víz Keretirányelve (EU VKI) halakra kidolgozott ajánlás alapján az adott vízfolyás típusának megfelelően végeztük el [34]. A halfauna felméréséhez gázlós és csónakos mintavételi módszert alkalmaztunk. A mintavételt folyásiránnyal szemben 150, folyásiránynak megfelelően pedig 500 méteren hajtottuk végre [34]. A halfauna felméréséhez akkumulátorról üzemelő, pulzáló egyenárammal működő elektromos halászgépet (Hans Grassl IG200/b, 75 – 100 Hz, max. 10 kW; SAMUS 725MP, 40 – 6 Hz, max. 10 kW), valamint egy aggregátorról üzemelő, egyenárammal működő halászgépet (Hans Grassl EL64 II GI, DC, 300/600V max. 7 kW, Hans Grassl GmbH, Germany) alkalmaztunk. Az egyes mintavételi szakaszok hosszát, valamint azok kezdő geokoordinátáit egy Garmin típusú GPS segítségével rögzítettük. A fogott halfajok határozásához [35], a FishBase adatbázisa [36], a halfajok tudományos nevét illetően pedig [37] munkássága volt irányadó. A fogott halak – határozásukat és egyedszámuk rögzítését követően – sértetlenül visszakerültek élőhelyükre.

3.2.2. Módszerek az amurgéb táplálkozásökológiájának vizsgálata témakörben

Annak érdekében, hogy feltárhassuk az amurgéb táplálkozásökológiáját és ezáltal tisztább képet kaphassunk a közösségben betöltött ökológiai szerepéről, megterveztük az amurgéb gyomortartalmának feltárását. A mintavételekre 2020 márciusa és 2021 augusztusa között került sor. A halak begyűjtése során egy aggregátorról üzemelő, egyenárammal működő német gyártmányú elektromos halászgépet alkalmaztunk (Hans Grassl EL64 II GI, DC, 300/600V max. 7 kW, Hans Grassl GmbH, Germany). A minták begyűjtése és feldolgozása az erre vonatkozó törvények és ajánlások alapján történt (engedélyszám: HaGF/134/2019 and HaGF/68/2021).

Az egyes táplálékalkotók, kiváltképp a haleredetű táplálék fontosságának és táplálkozásban betöltött szerepének a meghatározásához különböző mintavételi protokollokat dolgoztunk ki, melyek a mintavételek gyakoriságában tértek el egymástól. Más vizsgálatokhoz hasonlóan [38,39] egyik mintavételi protokollunkhoz egy hagyományos havi ismétlést alkalmaztunk, hogy pontos képet kaphassunk az egyes táplálékalkotókról. A másik protokoll esetében egy finomabb időbeli felbontást választottunk, hogy megismerjük a hagyományos mintavétel mennyire érzékeny az egyes táplálékalkotók, kiváltképp a haleredetű préda táplálkozásban betöltött szerepének igazolására. Ennek bizonyítására az amurgébek begyűjtését 10 naponta végeztük el. A havi mintavételekre összesen 12 alkalommal, 2020. március 23-tól kezdődően 4 hetente történő ismétléssel került sor, egészen 2021. február 23-ig. Minden egyes mintavétel alkalmával 30 egyedeket gyűjtöttünk ($n = 360$), amelyek standard testhossza (SL): 28 és 93 mm között változott. Az intenzívebb mintavételezésre 2021 májusától 2021 augusztusáig került sor, amikor is az egyes táplálékszervezetek – kiváltképp a lápi póc – juvenilis egyedei potenciális táplálékforrásként szolgálhatnak az amurgéb számára. A mintavételek során alkalmanként 20 db amurgébet gyűjtöttünk ($n = 240$), amelyek standard testhossza (SL): 45-től 90 mm-ig terjedt. A két mintavételi

gyakorlat során begyűjtött egyedek testhosszeloszlásának összehasonlításához a Kolmogorov–Smirnov-féle tesztet használtuk, mely nem mutatott szignifikáns eltérést a begyűjtött egyedek méreteloszlása között ($D = 0,286$; $p = 0,304$). Nem találtunk szignifikáns különbséget az átlagos testhosszok között sem, mivel a havi mintavételezés esetében az átlagos testhossz 58,8 mm, míg a 10 napos mintavételezés során 59,6 mm volt.

Mindkét mintavételi protokoll esetében a begyűjtött egyedeket szegfűszegolajjal túlaltattuk [30], majd digitális tolómérő segítségével 0,01 mm pontossággal lemértük a teljes (TL) és a standard (SL) testhosszt. Ezt követően az ivararányok és a gyomortelítettség meghatározása vizuálisan történt. A testparaméterek rögzítését követően a gyomortartalom jobb konzerválása érdekében az amurgebek gyomrát, azok gyomortartalmával együtt terepen kipreparáltuk [40] és további laboratóriumi vizsgálatokig Eppendorf-csőbe helyeztük és 96%-os etanol oldatban konzerváltuk. A gyomortartalom feltárása sztereomikroszkóp alatt (EduBlue – ED.1802-S) a lehető legkisebb taxonómiai szintig történt. A gyomortelítettséget (a táplálék térfogata alapján) 0 – 100%-os skálán (üres–tele) becsültük meg, az egyes táplálékalkotók százalékos hozzájárulását a teljes gyomortartalomhoz pedig úgy állapítottuk meg, hogy azok összege megegyezzen a teljes gyomortelítettséggel [30,41,42].

3.3. Az adatfeldolgozási módszerek

3.3.1. Adatfeldolgozási módszerek az amurgeb terjedésének és közösségre gyakorolt hatásának vizsgálata témakörben

A terepi mintavételeket követő további elemzésekhez a felmért halközösség alapján kiszámítottuk az adott mintavételi szakaszon előkerült halfajok relatív abundanciáját [43], valamint a közösségek összehasonlíthatósága érdekében adatainkat 100 méteres egységekre standardizáltuk (catch per unit effort, CPUE) [44,45]. Az adatok értékelése során figyelmen kívül hagytuk az ötnél kevesebb élőhelyen előforduló fajokat [43], elkerülve ezáltal az eredmények torzulását [46]. Így összességében 54 mintavételi hely 19 halfajának adatai állt rendelkezésünkre.

A 2019 és 2023 között gyűjtött eredményeinket kiegészítettük a szakirodalomban fellelhető adatokkal, valamint Sallai Zoltán, Dr. Halasi-Kovács Béla és a Balatoni Limnológiai Kutatóintézet nem publikált adataival is – létrehozva ezáltal egy adatbázist –, mely az elmúlt harminc év faunisztikai adatait foglalja magába. Az általunk felmért halközösségek fajösszetételében bekövetkezett változások tanulmányozására az adatainkat három különböző időperiódusra osztottuk (–2007, 2008–2017, 2018–), valamint kizárólag az őshonos fajok felhasználásával megadtuk az egyes szakaszokra jellemző eredeti halközösséget [47].

Az idegenhonos fajok megjelenése és közösségben való megtelepedésük gyakran vezet az őket befogadó élőlényközösségek fajösszetételének átalakulásához [48]. Ebből adódóan a vizsgált szakaszokon előforduló öt leggyakoribb idegenhonos halfaj CPUE abundanciáját oszlopdiagrammokon ábrázoltuk, az első (–2007) és a harmadik (2018–) időperiódusból származó adatok ábrázolásával az abundancia értékekben bekövetkezett változásokat szemléltettük. Az értékek közötti különbséget Kruskal–Wallis teszttel teszteltük.

A halközösségek fajösszetételében bekövetkezett változásokat a fentiekben említett időperiódusokat felhasználva tártuk fel. Összesen 4 régió (Felső-Tisza-vidék, Bodrogköz, Borsodi-Mezőség és Bihari-síkság) 15 mintavételi helye esetében rendelkezünk mind a három időperiódusra kiterjedő előfordulási adatokkal. A közösségek periódusonkénti hasonlóságát a nem-metrikus multidimenzionális skálázási (NMDS) módszerrel elemeztük, melyhez a Bray-Curtis távolsági indexet használtuk (stresszérték = 0,17) [49]. Eredményeink értékelése és vizualizálása során a szabadon hozzáférhető „R” statisztikai programot (4.2.2. verzió) használtuk [50].

A közösségek közötti hasonlóság értékeléséhez az ANOSIM hasonlósági indexet alkalmaztuk, mely szignifikáns különbséget mutatott a halfauna összetételében az egyes időperiódusok között [49]. Mind az NMDS, mind az ANOSIM elemzések kiértékelése az R program „vegan 2.5.7.” csomagjának segítségével történt [51].

Az amurgéb halközösségre kifejtett hatásának tanulmányozásához kiszámítottuk az egyes közösségek fajgazdagságát (S) és Shannon–Wiener diverzitását (H') az amurgéb jelenlétében (n = 34 közösség) és annak hiányában (n = 19 közösség) is. Az adatok normalitását a Shapiro–Wilk teszt segítségével ellenőriztük. Mivel sem a fajgazdagság (S), sem pedig a diverzitási mutató (H') értékei nem mutattak normál eloszlást, a közösségek mintázatának összehasonlításához a nem-parametrikus Kruskal–Wallis próbát alkalmaztuk.

Azon közösségek esetében, ahol igazoltuk az amurgéb jelenlétét (n = 34), Spearman-féle rangkorrelációt alkalmazva tártuk fel a közösségek fajgazdagsága (S), diverzitása (H') és az amurgéb relatív abundanciája közötti összefüggéseket, mely elemzéshez a relatív abundancia értékeket $\ln(x+1)$ transzformáltuk [43].

Spearman-féle rangkorrelációval összevetettük az amurgéb CPUE abundanciáját a fokozottan védett lápi póc, valamint a védett réticsík [*Misgurnus fossilis* (LINNAEUS, 1758)] és a vágócsík (*Cobitis elongatoides* BĂCESCU & MAYER, 1969) CPUE értékeivel, ugyanis a vizsgált közösségekben ezen fajok rendelkeznek hasonló ökológiai igényekkel (pl. táplálkozás, habitatpreferencia), mint az amurgéb, ezáltal jelentős hatást gyakorolhat állományuk méretére.

Ökológiai igényeiből, valamint táplálék- és habitatpreferenciájából adódóan számos szakirodalmi forrásmunka a lápi pócot tekinti az amurgéb által leginkább veszélyeztetett halfajnak a Kárpát-medencében, ezért külön figyelmet szenteltünk a két faj állományváltozásának tanulmányozására. A vizsgálatához Kornis és munkatársai 2013-as munkája volt irányadó, amiben a kerekfejű géb (*Neogobius melanostomus* PALLAS, 1814) hatását vizsgálták az őshonos halközösségre [44]. Ennek tanulmányozására egy aránypárt alkottak meg és tanulmányozták a fajok CPUE értékeiben történő változásokat. Esetünkben összesen 14 víztest esetében volt lehetőség az amurgéb és a lápi póc populációjában történt változásokat értékelni. Az összevetéshez megalkotott aránypárban a saját mintavételi eredményeinket (recens CPUE) és az irodalomban fellelhető adatokat (irodalmi CPUE) használtuk fel a változások feltárásához. Az aránypárokat mindkét faj esetében mind a 14 mintavételi helyre kiszámítottuk. Az így kapott pozitív értékek a CPUE értékekben bekövetkezett növekedést, míg a negatív értékek a csökkenést fejezik ki. Az aránypárokat az alábbiaknak megfelelően számoltuk ki:

$$+ \frac{\text{recens CPUE}}{\text{irodalmi CPUE}}$$

amikor a CPUE érték növekedett a szakirodalomban fellelhető értékhez képest, és

$$- \frac{\text{irodalmi CPUE}}{\text{recens CPUE}}$$

amikor a CPUE érték csökkent az irodalomban fellelhető értékkel összevetve. Amennyiben az aránypár nevezőjében szereplő szám értéke 0 lett volna, úgy ahhoz az értékhez 0,25-öt (1 egyed) rendeltünk hozzá, mely megfeleltethető a legkisebb CPUE értékkel egy 100 méteres mintavételi hosszon, biztosítva ezáltal az aránypár kiszámíthatóságát [44]. A Spearman-féle rangkorrelációt alkalmaztuk a két faj abundanciájának változása közötti összefüggések vizsgálatához.

A közösségek fajgazdagságának (S) és Shannon–Wiener diverzitásának (H') kiszámításához, továbbá a közösségek mintázatának összehasonlítására használt Kruskal–Wallis-próbához, valamint a halközösségek fajgazdagsága (S), diverzitása (H') és az amurgéb relatív abundanciája közötti összefüggések értékeléséhez használt Spearman-féle rangkorrelációhoz a Past 4.11 statisztikai szoftvert alkalmaztuk [52]. Az amurgéb halközösségre gyakorolt hatásának ábrázolásához készített boxplotokat, valamint az NMDS ábrázolásához a szabad felhasználású R 4.3.2. (R Core Team 2023) program „ggplot2”, és „vegan” csomagját [50,51,53], az oszlopdiagrammokhoz pedig a Microsoft Excel 2019 programját alkalmaztuk.

3.3.2. Adatfeldolgozási módszerek az amurgéb táplálkozásökológiájának vizsgálata témakörben

Az eredmények értékelése során a gyomortartalommal nem rendelkező amurgébekeket kizártuk a további vizsgálatokból [30,39]. Az egyes táplálékalkotók, kiváltképp a haleredetű táplálék, ezen belül is a lápi póc jelentőségének megállapításához kiszámítottuk az egyes táplálékcsoporthoz előfordulási gyakoriságát ($F_i\%$), valamint táplálék-specifikus térfogatarányát ($P_i\%$) [42]. Az előfordulási gyakoriságot, valamint a táplálék-specifikus térfogatarányt az alábbi képletek segítségével határoztuk meg:

$$F_i\% = N_i / N \times 100$$

$$P_i\% = (\Sigma P_i / \Sigma P_T i)$$

Ezekben $F_i\%$ az adott táplálékalkotó (i) előfordulási gyakorisága; N_i az adott táplálékalkotót (i) fogyasztó halak száma; N a gyomortartalommal rendelkező halak száma. $P_i\%$ az adott táplálékalkotó (i) táplálék-specifikus térfogataránya; ΣP_i az adott táplálékalkotó (i) százalékos hozzájárulása a gyomortartalomhoz; $\Sigma P_T i$ az adott táplálékalkotót (i) fogyasztó hal teljes gyomortelítettsége [41,54].

Az amurgébeke testhossza és a táplálékösszetétel közötti összefüggések tanulmányozása érdekében a 10 napos intenzív mintavételezés során gyűjtött egyedeket standard testhosszuk alapján 3 méretcsoportba soroltuk: kicsi, ≤ 49 mm SL ($n = 59$); közepes, 50 – 62 mm SL ($n = 96$); és nagy, ≥ 63 mm SL ($n = 53$).

Az egyes méretcsoportok táplálkozásában mutatkozó különbségek és átfedések vizsgálatához egy nem-metrikus multidimenzionális skálázási (NMDS) módszert, a skálázásához a Bray–Curtis-féle távolsági indexet alkalmaztuk (stresszérték = 0,13) [49]. Az eredmények értékeléséhez és vizualizálásához az „R” statisztikai programot (4.2.2. verzió) használtuk [50].

A méretcsoportok gyomortartalma közötti hasonlóság elemzéséhez egy hasonlósági indexet (ANOSIM) alkalmaztunk, mely nem mutatott különbséget az egyes méretcsoportok között [49]. Mind az NMDS, mind az ANOSIM elemzések kiértékelése az R program „vegan 2.5.7” csomagjának segítségével történt [51].

Az amurgéb-méretcsoportok táplálkozásának átfedését a Schoener-index (1970) segítségével értékeltük: $C_{xy} = 1 - 0.5\sum|p_{xi} - p_{yi}|$, ahol p_{xi} és p_{yi} az x és y méretcsoportok gyomortartalmában talált adott táplálékalkotó (i) mennyiségét jelöli (az adott táplálékalkotó relatív abundanciája alapján) [55–57].

4. Eredmények és értékelés

4.1. Az amurgéb terjedésének és halközösségre gyakorolt hatásának vizsgálata a Tisza mentén

Az idegenhonos halfajok – ezek közül is az amurgéb – elterjedése a Tisza mentén igen széleskörű. Az elmúlt harminc év során több területen is jelentős mértékben nőtt az állományuk nagysága. A Tisza mentén végzett felmérésünk eredményei igazolták, hogy az amurgéb terjedése a Tisza hazai vízgyűjtőjén igen előrehaladott, az 54 halfaunával rendelkező mintavételi szakaszból 34 esetében igazoltuk a faj jelenlétét. Elterjedésének mértéke a Felső-Tisza-vidéken bizonyult a legnagyobbnak a vizsgált régiók közül, a felmért víztestek 74%-ból került elő. A Tisza vízgyűjtője mentén ezen régió belül bizonyult a legmagasabbnak az amurgéb relatív abundanciája. Habár a térség vízfolyásaira, valamint tőzeglápjaira erőteljesen jellemző a szélsőséges vízjárás, valamint az élőhelyek degradálódása és az antropogén eredetű szennyezés [22], melyek markánsan átalakíthatják a halközösség összetételét [58], ugyanakkor ezeken az élőhelyeken – mivel jelentős részük összeköttetésben áll egymással – megfelelő vízellátottság mellett az amurgéb további terjedése várható.

Habár a Bodroghözben kevés vízfolyás felmérésére volt lehetőségünk, az amurgéb a felmért közösségek 100 százalékában jelen volt. A Felső-Tisza-vidékéhez hasonlóan ezen vízterekre is a változékony vízjárás jellemző, tapasztalataink szerint könnyen kiszáradhatnak. Hasonló előfordulási gyakoriságot tapasztaltunk a Borsodi-Mezőségen vizsgált víztesteknél is. A korábbi felmérésekkel [33,59] ellentétben az amurgéb kivétel nélkül megtalálható volt minden élőhelyen. Egy részükben már domináns faunaelemnek tekinthető, veszélyeztetve ezáltal a társalkotó fajok állományát. Jelen mintavételi sorozatunk alkalmával azonban nem került elő a Tápionak sem a felső, sem az alsó szakaszáról, bár már korábban igazolták jelenlétét a Zagyva, valamint az abba torkolló Tápíó újszászi szakaszáról [60,61].

Vizsgálataink eredményei közül talán a faj Bihari-síkságon való térnyerése a legmegrendítőbb, hiszen a régió Kelet-Magyarország legstabilabb pócállományainak nyújtott menedéket [62]. A halfaunisztikai felmérések a közelmúltban igazolták az amurgéb megjelenését a Berettyó hazai vízrendszeréből [63,64], valamint annak jobb

[65] és bal oldali [66] mellékveiből is. Jelen felmérés az amurgéb további terjedését bizonyítja, előkerült a Kis-Sárrét legjelentősebb lápi póc élőhelyeiről, például Komádi térségében a Kódombszigeti- és a Kutas-főcsatornából is. Utóbbinak korábban csupán a szeghalmi és csökmői alsó szakaszáról volt ismert [66].

Az inváziós fajok terjedése legsúlyosabb esetben a közösség fajösszetételének és szerkezetének megváltozását, valamint a biodiverzitás csökkenését eredményezheti, melyet tovább súlyosbítanak olyan természetes és antropogén hatások, mint például a kiszáradás vagy a hidrotechnikai beavatkozások [67]. Jelen vizsgálat során a hosszútávú, több időperiódust felölelő adatsor elemzése során kiderült, hogy számos víztestünk őshonos halközösségének fajösszetétele jelentősen megváltozott, kiváltképp az utóbbi két évtizedben, melyért jelentős részben az idegenhonos fajok, köztük is az amurgéb a felelős. A régiókra jellemző, rendszeres aszályok, valamint antropogén szennyezések és kotrási, valamint építési munkálatok tovább súlyosbítják az idegenhonos faunaelemek – közöttük is az amurgéb – közösségre gyakorolt hatását. Az általunk felmért recens halközösségek fajgazdagsága és diverzitása az amurgéb relatív abundanciájának függvényében csökkent. A fajgazdagság – s kiváltképp az őshonos fajok állományának – csökkenése a vizsgált víztestek esetében a közösségek külső behatásokkal szembeni ellenállóképessége is – vagyis biotikus rezilienciája – is várhatóan csökkenni fog [68]. Közösségszinten kifejtett hatásáról egy frissen megjelent tanulmány az ún. ATN (allometric trophic networks)-modell [69] segítségével kívánták megjósolni, hogy milyen hatással lenne az amurgéb megtelepedése egy modellként használt tó, a Vörtsjärv-tó (Észtország) élőlényközösségére [70]. A modell alapján az amurgéb megjelenése az adott közösségben jelentősen csökkentené a piscivor, és számottevően az invertivor halfajok biomasszáját; továbbá kedvezőtlenül hatna nemcsak az adott halközösségre, de az adott élőhely környezeti tényezőire is. Egy adott víztér csúcsragadozóinak hiánya számos kedvezőtlen változást eredményezhet, mint például az őshonos halfajok állományának csökkenése [58], az élőhelyek leromlása [71], a detritivor fajok elszaporodásából adódó nagyfokú bioturbáció, és ezáltal a belső tápanyagterhelés fokozódása, az eutrofizáció kialakulása [70,72], illetve a csökkent vízátlátszóságból adódó fényhiány révén a vízi növényzet akár teljes hiánya [73].

Az elemzéseinkhez használható élőhelyek közel 18%-ára volt jellemző az amurgéb alkotta monospecifikus fajszerkezet, mely közösségszerkezetről a korábbi forrásmunkák is beszámoltak. Egy litván tanulmányban az Ilgas Rezervátum Natura 2000-es lápvidékén vizsgálták az amurgéb monospecifikus közösségét [74], ahol az ezekre jellemző stratégiák, azaz a törpenövés és a kannibalizmus közötti átmenetet figyelték meg a populáción belül. Bár jelen vizsgálatunk nem terjedt ki az ilyen közösségekben kialakult stratégiák feltárására, a Felső-Tisza-vidéken található Báb-tava esetében már több esetben tapasztaltuk a kannibalizmus meglétét a populáción belül.

Az amurgéb – megjelenését követően – viszonylag hamar a közösség domináns tagjává válik [75], ami az őshonos fajok természetvédelmi besorolásának megváltozását is maga után vonhatja [70]. Eredményeink alapján a lápi pócot – mint az általunk vizsgált víztestek zömének csúcsragadozóját – drasztikus populációcsökkenés fenyegeti. E visszaszorulás korrelációt mutatott az amurgéb állományának növekedésével, mely tovább igazolja annak a halközösségre kifejtett negatív hatását. Természetvédelmi szempontból hazánkban a lápi póc „*fokozottan védett*” státusszal

rendelkezik, azonban a nemzetközi vöröskönyv, az IUCN besorolása szerint a fajt egyelőre mindössze a „sebezhető” (*Vulnerable*) kategóriába sorolják [76]. Mihamarabbi átsorolása legalább a „veszélyeztetett” (*Endangered*), vagy még inkább a „kritikusan veszélyeztetett” (*Critically Endangered*) kategóriába a hazai állománycsökkenés [22] és a nemzetközi szinten tapasztalt visszaszorulás [18] okán – teret adva ezáltal a szükséges konzervációbiológiai lépéseknek – sürgető lenne.

Összességében elmondható, hogy az amurgéb a közösség, valamint a táplálékhálózat szintjén egy kulcsszereppel bíró, top-down és bottom-up szabályozó szerepkörrel bíró halfaj [70,77], mely jelentős változásokat idézhet elő mind a halközösségben, mind pedig az élőhely abiotikus adottságaiban [70]. Az általunk vizsgált halközösségekben az amurgéb részben meghatározó szereppel bírhat a fajsám és a közösség diverzitásának csökkenésében, valamelyest egy olyan endemikus halfaj kipusztulásához is hozzájárulhat, mint a fokozottan védett lápi póc. Visszaszorítására több forrásmunka is érdemesnek tartja a ragadozó fajok (pl. sügér, csuka) adott víztestbe történő telepítését [78,79], azonban e módszereket egyrészt zárt, állóvízi környezetben tesztelték, másrészt nem vezettek az amurgéb teljes mértékű kiirtásához [79]. Emellett, a Kárpát-medencében gyakran olyan természetvédelmileg fontos lápos-mocsaras élőhelyeken (a lápi póc élettereinek a zömén) alkotnak stabil állományokat, melyek már az említett ragadozó fajoknak nem nyújtanak megfelelő körülményeket. Mindezek fényében az amurgéb közösségre gyakorolt hatását, illetve biológiáját tisztázó további tanulmányok elengedhetetlenek [70].

4.2. Az amurgéb táplálkozásökológiájának vizsgálata a Tisza mentén

A tanulmány során olyan – a mintavételek időbeli intenzitásában eltérő – mintavételi protokollokkal dolgoztunk, melyek révén sikerült bizonyítanunk az amurgéb őshonos fajainkra, kiváltképp a lápi pócra gyakorolt predációs hatását. Bár a hagyományos mintavételi protokoll révén igazoltuk, hogy a makrogerinctelen-szervezetek kiemelt szerepet foglalnak el a faj táplálkozásában, a gerincesek (halak és kétéltűek) fontos szerepéről ez a mintavételi protokoll nem szolgáltatott kellő információval. A finomabb időbeli felbontású, 10 naponta végzett protokoll révén azonban igazolást nyert az a feltételezésünk, mely szerint az amurgéb hatékony fogyasztója és ragadozója mind a halikrának, mind a zsenge halivadéknak, esetünkben főleg a lápi pócnak. Ez az interakció-típus a táplálékforrásokért folytatott versengéssel kiegészülve a táplálkozási guilden belüli ragadozáshoz (intraguild-predáció) vezethet [80,81]. Ez sajnos jelentős mértékben hozzájárulhat a lápi póc állományának csökkenéséhez az amurgéb által meghódított víztestekben.

Habár az amurgéb a jelen tanulmány és a forrásmunkák szerint is főleg makrogerinctelen-szervezeteket fogyaszt [30,39,82], a halfogyasztás mértéke az egyedfejlődés és az életkor előrehaladtával egyre kifejezettebbé válhat [82,83]. Mivel az amurgéb egy kevésbé szelektív, vizuális ingerekre érzékeny kisragadozó [39], a halak és a kétéltűek ivadékainak mozgása figyelemfelkeltő lehet a számára [25]. A havi mintavételi protokoll során azt tapasztaltuk, hogy a halakra és a kétéltűek lárvái csupán elhanyagolható mennyiségben vannak jelen a gyomortartalomban, a finomabb időintenzitású protokoll azonban rávilágított azok táplálkozásban betöltött kiemelkedő szerepére, amely főként a szaporodási és az azt követő időszakban jellemző. A havi

mintavételezések során a haleredetű táplálék előfordulási gyakorisága ($Fi\%$) az amurgéb gyomortartalmában a 12,5%-ot haladta meg, szemben a másik mintavételi protokollal, ahol ez a szám az ikra esetében meghaladta a 21%-ot, míg az ivadék esetében a 33%-ot. Az irodalmi adatokat nézve ezek a számok jelentősek. Marsh & Douglas, 1997-ben végzett vizsgálata során idegenhonos ragadozóhalak, köztük a pettyes harcsa [*Ictalurus punctatus* (RAFINESQUE, 1818)] hatását vizsgálták az őshonos *Gila cypha* MILLER, 1946 állományára [84]. Eredményként az őshonos faj számottevően alacsonyabb előfordulási gyakoriságát (2%) tapasztalták a pettyes harcsa gyomortartalmában, azonban számításaik szerint a predáció ezen mértéke egy stabil ragadozóállomány jelenlétében is erőteljes állománycsökkenéshez vezethet.

A gyomortartalomban azonosított halfajok közül a domináns zsákmány a lápi póc volt, melynek ökológiai igénye és habitatpreferenciája az amurgébével megegyezik [83,85]. Utóbbi ivadéka sokkal gyorsabban növekszik [86,87], mint a lápi pócé, ezáltal sokkal kevesebb ideig is van kitéve akár a más fajok által történő zsákmányolásnak, akár pedig idősebb fajtársai kannibál magatartásának. Predációs hatásának mértéke kifejezettebb lehet olyan populációkban, amelyekben idősebb és nagyobb szájmérettel rendelkező, nem ritkán már kizárólagosan csak halakat fogyasztó egyedek is előfordulnak [78].



3. ábra: A lápi póc ivadéka egy kifejlett nőstény amurgéb gyomrában

Az intraguild-predációt meghatározza a ragadozó, valamint zsákmányának mérete; minél nagyobb a ragadozó, annál nagyobb a gyomortartalomban megtalálható zsákmány mérettartománya [88,89]. Vizsgálatunkban a halfogyasztás mértékét ontogenetikus és évszakos mintázatok jellemezték. Mivel a hazai vizekben előforduló amurgéb-populációkra az idősebb, nagyobb szájmérettel rendelkező egyedek hiánya jellemző [87], haleredetű táplálékot csupán bizonyos időnként fogyasztanak [30,39]. A testméret növekedésével azonban a halzsákmány előfordulási gyakorisága és táplálék-specifikus térfogataránya a gyomortartalomban növekedni fog. A méretcsoportok esetében jelentős átfedések mutatkoztak a táplálékalkotók tekintetében, kiváltképp az amurgéb közép- és nagy méretcsoportjainál, ami vélhetően a vizsgált populáció testhossz-eloszlásával és a valódi piscivor egyedek hiányával magyarázható, melyet eredményeink is alátámasztottak.

Az intraguild-predáció szezonálisát a táplálékszervezetek évszakos elérhetősége is meghatározza [90]; hatását tekintve pedig az adott táplálékszervezetek juvenilis egyedei vannak a legnagyobb fenyegetésnek kitéve [91–93]. A finomabb időbeli skálájú mintavételi protokoll eredményei alapján a lápi póc ivadéka egy időszakosan elérhető, azonban annál fontosabb táplálékforrás az amurgéb étrendjében. Az ikra és a pócivadék a szaporodási időszakot követően jelent meg az amurgéb gyomortartalmában, azt követően pedig az előfordulási gyakorisága folyamatosan nőtt a felmérés során. Egyedfejlődési szempontból a 25 milliméternél nagyobb ivadék bizonyult a legsebezhetőbbnek, ugyanis az ezen mérettartományba tartozó egyedek kerültek elő a legnagyobb mennyiségben a gyomortartalomból. Az amurgéb általában makrogerinctelen-szervezeteket fogyaszt, és bár a haleredetű táplálék megszerzése sok energiát emészt fel [94], a zsenge halivadék fogyasztása kifizetődő a magas tápértéke miatt [95]. Az igazán nagyméretű, halevésre specializálódott példányok hiányában az amurgéb predációs hatása a lápi póc ontogenetikus fejlődésének előrehaladtával, az ivadék növekedésével fokozatosan csökken.

Számos szakirodalmi forrásmunka számol be az amurgéb ökoszisztémákra kifejtett hatásáról [24], valamint arról a fenyegetésről, melyet őshonos fajainkra jelenthet [25,30,39,84]. Eredményeink szerint az amurgéb az intraguild-predáció, azaz a táplálékért folytatott kompetíció, valamint a juvenilis egyedek zsákmányolásának együttese révén jelentősen hozzájárulhat a póc hazai állományának csökkenéséhez. Az interakció ezen típusa azon fajokat veszélyezteti leginkább, amelyek alacsony fekunditással, rövid élettartammal, valamint szűk elterjedési területtel rendelkeznek [96], akár csak a lápi póc, melynek a fekunditása nőstényenként 100 – 2000 ikra, élettartama pedig átlagosan 5 év [97,98]. Az amurgéb a táplálékforrások elérhetőségének megfelelően már akár viszonylag fiatalabb korban is elkezdhet fokozatosan áttérni a haleredetű táplálék fogyasztására [82], amikor testhossza eléri a 45 – 50 milliméteres teljes testhosszt. Ez hazánkban általában már az 1. vagy a 2. évben bekövetkezik [87]. A nagyobb egyedek számára a hal, mint táplálékforrás meghatározó szerepet fog betölteni [39,78,99,100].

Habár a szakirodalom alapján a lápi póc az amurgébhez hasonlóan kisragadozó, mely idősebb korában fogyaszt haleredetű táplálékot [98,101,102], így az amurgéb ivadékára kifejtett reciprok predációs hatása sem zárható ki, azonban jelen tanulmányban fokozottan védett természetvédelmi státusza, valamint drasztikus mértékben csökkenő állományára való tekintettel nem vizsgáltuk (a gyomortartalom-vizsgálat ugyanis a hal pusztulásával jár). Az amurgéb általi intraguild-predáció hatását tovább súlyosbítja annak hosszabb élettartama [87], magasabb fekunditása és a táplálékszerzés, valamint szaporodás során tapasztalható agresszívebb magatartása [83,103]. Mivel a lápi póc a Duna és a Dnyeszter vízrendszerének endemizmusa, szűk elterjedési területének jelentős részét a Kárpát-medence alkotja. Az amurgéb Kárpát-medencei megjelenése és elterjedése akár a lápi póc teljes eltűnéséhez is vezethet, ezért a továbbiakban fokozott figyelmet kell szentelni a faj terjedésének megakadályozására, valamint további lépéseket kell tenni a lápi póc fennmaradt állományainak megóvására.

5. Új tudományos eredmények összefoglalása

- Vizsgálatainkkal igazoltuk, hogy az amurgéb a Tisza menti vízterek számottevő részének domináns faunaeleme. A tanulmány során felmért halközösségek közel 70 százalékában megtalálható, így meghatározó szerepe lehet a közösségek fajösszetételének átalakításában.
- A több évtizedre kiterjedő adatsorunk alapján számos víztestünk esetében tapasztaltuk az őshonos közösség fajainak visszaszorulását és az idegenhonos faunaelemek előretörését, melyek közül kiemelkedő volt az amurgéb állományának növekedése.
- Az amurgéb táplálkozásökológiájának feltárása során igazoltuk, hogy effektív ragadozója a fokozottan védett lápi pócnak, kiváltképp a 25 milliméter testhosszt meghaladó ivadéknak. Ez a szezonálisan elérhető táplálékforrás a szaporodási időszakot követően kiemelkedően fontos szereppel bír a niche-szegregáció révén főként haleredetű táplálékot fogyasztó, közepes és nagyobb méretű egyedek számára.
- Az interakciós vizsgálat révén kimutattuk, hogy az amurgéb az ún. intraguild-predáció – vagyis a forrásokért folytatott kompetíció és predáció – révén meghatározó szerepet játszhat a lápipóc-állományok visszaszorulásában, elsősorban az ivadékutánpótlás ragadozásával.
- Bebizonyosodott, hogy az amurgéb táplálkozás-ökológiájának vizsgálata során kulcsfontosságú szerepe van a megfelelően megválasztott mintavételi metodikának. Esetünkben az időbeli intenzitásukban eltérő mintavételi protokollok különböző szemszögből tárták fel a táplálékalkotók érendben betöltött szerepét. A havi mintavételezés az amurgéb általános érendjére, míg az időben finomabb felbontású módszer az egyes táplálékalkotók fontosságára világított rá.

Értekezés alapjául szolgáló közlemények



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/307/2024.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Somogyi Dóra
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10068587

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Somogyi, D.**, Erős, T., Mozsár, A., Czeglédi, I., Szeles, J., Tóth, R., Zulkipli, N., Antal, L., Nyeste, K. J.: Intraguild predation as a potential explanation for the population decline of the threatened native fish, the European mudminnow (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) by the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877). *NeoBiota*. 83, 95-107, 2023. ISSN: 1619-0033.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3897/neobiota.83.95680>
IF: 5.1 (2022)
2. Bănăduc, D., Marić, S., Cianfaglione, K., Afanasyev, S., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L., Kosco, J., Čaleta, M., Wanzenböck, J., Curtean-Bănăduc, A.: Stepping Stone Wetlands, Last Sanctuaries for European Mudminnow: How Can the Human Impact, Climate Change, and Non-Native Species Drive a Fish to the Edge of Extinction? *Sustainability*. 14 (20), 1-39, 2022. ISSN: 2071-1050.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su142013493>
IF: 3.9

További közlemények

Magyar nyelvű könyvek (2)

3. Szerk. Antal, L., **Somogyi, D.**: A XIX. Magyar Haltani Konferencia programja és előadás-kivonatai. Magyar Haltani Társaság, Debrecen-Tiszafüred, 18 p., 2023. ISBN: 9786156159045
4. Szerk. Antal, L., **Somogyi, D.**: A XVIII. Magyar Haltani Konferencia programja és előadás-kivonatai. Magyar Haltani Társaság, Debrecen : Tiszafüred, 19 p., 2022. ISBN: 9786156159014(nyomtatott)





Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (8)

5. Tóth, R., Bodnár, B., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: A tiszai ingola (Eudontomyzon danfordi Regan, 1911) állományainak felmérése és élőhelyeinek ökológiai állapotértékelése a Tisza magyarországi vízgyűjtő területén.
Pisces Hung. 16, 21-32, 2022. ISSN: 1789-1329.
6. **Somogyi, D.**: Dr. Harka Ákos, társaságunk tiszteletbeli elnöke, túl a 80. évén.
Pisces Hung. 16, 5-10, 2022. ISSN: 1789-1329.
7. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Bereczki, C., Orcsik, T., Tatár, S., Antal, L.: Halfaunisztikai vizsgálatok a lápi póc (Umbra krameri) történeti és potenciális Szatmár-Beregi élőhelyein.
Halászatfejlesztés. 39, 82-86, 2022. ISSN: 1219-4816.
8. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Sallai, Z., Antal, L.: Adatok a tokfélék (Acipenseridae) Kárpát-medencei recens előfordulásairól.
Pisces Hung. 14, 107-114, 2020. ISSN: 1789-1329.
9. **Somogyi, D.**, Bodnár, B.: A Hernád mellékvízfolyásainak halfaunisztikai felmérése és halösszetételeen alapuló ökológiai állapotértékelése = Ecological assessment of the tributaries of River Hernád based on fish assemblage.
Pisces Hung. 14, 63-70, 2020. ISSN: 1789-1329.
10. Tóth, R., Bíró, Z., Farkas, G. B., Zulkipli, N., **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: A Rakamazi-Nagy-morotva halközösségének vizsgálata eltérő mintavételi protokollok alapján = Investigation of the fish fauna of Rakamazi-Nagy-morotva with different sampling protocols.
Pisces Hung. 14, 71-79, 2020. ISSN: 1789-1329.
11. **Somogyi, D.**, Farkas, G., Deák, S., Nagy, S. A., Nyeste, K. J., Antal, L.: A ponty (Cyprinus carpio) és az ezüstkárász (Carassius gibelio) kondíciójának vizsgálata egy termálvízzel ellátott állóvízi környezetben.
Pisces Hung. 13, 75-80, 2019. ISSN: 1789-1329.
12. Nagy, S. A., Nagy, J., **Somogyi, D.**: Melegedő klíma: kihívások a hal és halászatbiológiában = Warming climate: challenges in fishery biology and ichthyology.
Pisces Hung. 13, 5-14, 2019. ISSN: 1789-1329.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (5)

13. Nyeste, K. J., Zulkipli, N., Uzochukwu, I. E., **Somogyi, D.**, Nagy, L., Czeglédi, I., Harangi, S., Baranyai, E., Simon, E., Nagy, S. A., Velcheva, I., Yancheva, V., Antal, L.: Assessment of trace and macroelement accumulation in cyprinid juveniles as bioindicators of aquatic pollution: effects of diets and habitat preferences.
Sci. Rep. 14 (1), 1-14, 2024. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-61986-4>
IF: 4.6 (2022)





14. Lovas-Kiss, Á., Antal, L., Mozsár, A., Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Kiss, B., Tóth, R., Tóth, F., Fazekas, D., Vitál, Z., Halasi-Kovács, B., Tóth, P. J., Szabó, N., Löki, V., Vincze, O., Lukács, B. A.: Bird-mediated endozoochory as a potential dispersal mechanism of bony fishes. *Ecography. Epub.*, 1-4, 2024. ISSN: 0906-7590.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ecog.07124>
IF: 5.9 (2022)
15. Mozsár, A., Specziár, A., Pirger, Z., Czeglédi, I., Kati, S., Nagy, S. A., Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Antal, L.: Sexual trait may simultaneously indicate sperm production and nutritional fitness in uniparental nest-guarding fish: a case study on Amur sleeper. *J. Zool.* 314 (3), 227-233, 2021. ISSN: 0952-8369.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jzo.12874>
IF: 2.394
16. Yancheva, V., Georgieva, E., Stoyanova, S., Velcheva, I., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: A histopathological study on the Caucasian dwarf goby from an anthropogenically loaded site in Hungary using multiple tissues analyses. *Acta Zool.* 1, 1-16, 2020. ISSN: 0001-7272.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/azo.12310>
IF: 1.261
17. Sellyei, B., Cech, G., Varga, Á., Molnár, K., Székely, C., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: Infection of the Carpathian brook lamprey (Regan, 1911) with a dermocystid parasite in the Tisza River Basin, Hungary. *J. Fish Dis.* 43 (12), 1571-1577, 2020. ISSN: 0140-7775.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfd.13259>
IF: 2.767

Egyéb folyóiratközlemények (17)

18. Nyeste, K. J., Pádár, P., **Somogyi, D.**: Csupasztorkú géb (*Babka gymnotrachelus*) a Szamosból. *Halászat.* 117 (1), 21-21, 2024. ISSN: 0133-1922.
19. Nyeste, K. J., Antal, L., **Somogyi, D.**: Újabb lápi póccok (*Umbra krameri*) az Öreg-Túrból. *Halászat.* 115 (4), 20, 2023. ISSN: 0133-1922.
20. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Bereczki, C., Antal, L.: Halmentés a beregi Zsid-tónál. *Halászat.* 115 (1), 14-15, 2022. ISSN: 0133-1922.
21. Nyeste, K. J., Tatár, S., Uzochukwu, I. E., Antal, L., Tóth, B., **Somogyi, D.**: Lápi póccok (*Umbra krameri*) mentése a Hejő-főcsatornából. *Halászat.* 115 (4), 21, 2022. ISSN: 0133-1922.
22. Nyeste, K. J., Antal, L., Abonyi, T., **Somogyi, D.**: A lápi póc (*Umbra krameri*) újabb adata az Öreg-Túrból. *Halászat.* 114 (4), 141, 2021. ISSN: 0133-1922.

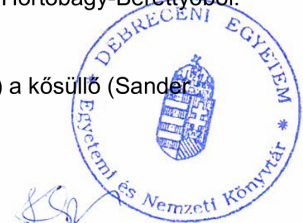




23. Nyeste, K. J., Molnár, L., Sallai, Z., **Somogyi, D.**: A lápi póc (*Umbra krameri*) újabb és a széles kárász (*Carassius carassius*) új adata a jászszentlászlói Tőzegesből.
Halászat. 114 (2), 65, 2021. ISSN: 0133-1922.
24. Harka, Á., **Somogyi, D.**: A tudomány jelen állása szerint csak egy pikófaj él Magyarországon, a tüskés pikó (*Gasterosteus aculeatus*).
Pisces Hung. 15, 131-132, 2021. ISSN: 1789-1329.
25. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**: Cifrarákot (*Orconectes limosus*) fogyasztó halak a Nagykunsági-főcsatornában.
Halászat. 114 (1), 13, 2021. ISSN: 0133-1922.
26. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J.: Lápi póc (*Umbra krameri*) újabb adata az Álom-zugi-csatornából.
Halászat. 114 (2), 64, 2021. ISSN: 0133-1922.
27. Nyeste, K. J., Harka, Á., **Somogyi, D.**, Antal, L.: Tiszai ingola (*Eudontomyzon danfordi*) a Középtiszából.
Halászat. 114 (1), 15, 2021. ISSN: 0133-1922.
28. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Sallai, Z., Antal, L.: A lápi póc (*Umbra krameri*) élőhelyei a Borsodisíkon.
Halászat. 113 (2), 15, 2020. ISSN: 0133-1922.
29. Polyák, L., **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: A lápi póc (*Umbra krameri*) utolsó ismert populációja a Felső-Tisza-vidéken.
Halászat. 124 (4), 124, 2020. ISSN: 0133-1922.
30. **Somogyi, D.**: A Tisza vízgyűjtőjén élő lápipóc-állományok felmérése, élőhelyük hal alapú ökológiai állapotértékelése.
Halászat. 113 (3), 92, 2020. ISSN: 0133-1922.
31. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J.: Első adatok a tiszai ingola (*Eudontomyzon danfordi*) tömeges éjszakai ivásáról.
Halászat. 113 (4), 122, 2020. ISSN: 0133-1922.
32. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**: Kecskerák (*Astacus leptodactylus*) a Nagykunsági-főcsatornából.
Halászat. 113 (1), 14-14, 2020. ISSN: 0133-1922.
33. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J.: Kerekfejű géb (*Neogobius melanostomus*) a Hortobágy-Berettyóból.
Halászat. 113 (1), 14-14, 2020. ISSN: 0133-1922.
34. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**: Feketeszájú géb (*Neogobius melanostomus*) a kősüllő (*Sander volgensis*) gyomrából.
Halászat. 112 (2), 51-51, 2019. ISSN: 0133-1922.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

35. **Somogyi, D.**, Sallai, Z., Erős, T., Mozsár, A., Czeglédi, I., Nagy, L., Antal, L., Nyeste, K. J.: Az idegenhonos amurgéb (*Perccottus glenii*) hatásának vizsgálata a hazai halközösségekre.
Halászatfejlesztés. 40, 32-33, 2023. ISSN: 1219-4816.





36. Nyeste, K. J., Zulkipli, N., Uzochukwu, I. E., **Somogyi, D.**, Nagy, L., Czeglédi, I., Harangi, S., Baranyai, E., Simon, E., Nagy, S. A., Velcheva, I., Yancheva, V., Antal, L.: Eltérő táplálkozású és habitatpreferenciájú halivadékok indikátorszerepe a fémszennyezés kimutatásában.
Halászatfejlesztés. 40, 30-31, 2023. ISSN: 1219-4816.

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (5)

37. **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: Az Év Hala, a fokozottan védett lápi póc.
Honismeret. 2023 (2), 153-155, 2023. ISSN: 0324-7627.
38. **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: Az Év Hala, a bodorka.
Honismeret. 50 (2), 88-90, 2022. ISSN: 0324-7627.
39. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: Az Év Hala, a jászkeszeg.
Honismeret. 49 (2), 108-110, 2021. ISSN: 0324-7627.
40. **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: Az Év Hala, a süllő.
Honismeret. 48 (2), 96-98, 2020. ISSN: 0324-7627.
41. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: Az Év Hala, a vörösszárnyú keszeg.
Honismeret. 47 (2), 93-95, 2019. ISSN: 0324-7627.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 25,922

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 9

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2024.05.28.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**The impact of the invasive Amur sleeper
(*Perccottus glenii*) on the native fish assemblage**

by Dóra Somogyi

Dissertation supervisors: Dr. László Antal associate professor
Dr. Tibor Erős scientific advisor



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Pál Juhász-Nagy Doctoral School

Debrecen

2024

1. Introduction

Biological invasion, defined as the expansion of a non-native species' range and population size in a suitable habitat on a given spatial and temporal scale in a monotonous manner [1], became widespread after the Age of Discovery (15th–18th centuries) and globalization. The impact of alien species is increasingly noticeable nowadays [2,3]. What was once considered a curiosity in Darwin's time has now emerged as one of the major threats to biological diversity [4]. The escalating problem led to the birth of invasion biology in the mid-20th century, which examines invasive species through the collaboration of multiple scientific disciplines [5,6]. The severity of the invasion problem is evidenced by the exponential increase in research on the topic, with over 27,000 publications in this field over the last 40 years up to 2020 [7].

Our freshwater ecosystems are among the most diverse habitats on the planet [8], hosting over 18,000 species of freshwater fish, making them one of the most diverse groups. However, they are also among the most endangered in terms of extinction [9]. As of 2020, more than 30% of freshwater fish species are at risk of extinction. By that year, the International Union for Conservation of Nature (IUCN) had declared 80 species as "extinct," 10 as "extinct in the wild," and an additional 115 species as "critically endangered" [9]. The spread of invasive species is a major contributing factor to these extinction events [10].

Hungary, through the Danube, is part of one of the most outstanding freshwater migration routes [11]. As of 2016, a total of 59 non-native fish species and their hybrids have been recorded in Hungarian waters, a notably high number compared to the approximately 60 native fish species [12]. Among the non-native species, the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii* DYBOWSKI, 1877) stands out [36], which was first detected in the Carpathian Basin, specifically in Lake Tisza, in 1997 [13]. Since then, its occurrence has been increasingly documented nationwide [14–17]. Over the years, the fish fauna in many of the country's water bodies has become dominated by this invasive species, posing a significant threat [12,18,19]. Based on recent faunal surveys, a decline has been observed in certain native fish species, especially the critically endangered European mudminnow (*Umbra krameri* WALBAUM, 1792), along the Tisza River following the appearance of the Amur sleeper [20–22]. Some international publications report the decline of other species such as the crucian carp [*Carassius carassius* (LINNAEUS, 1758)] or the European bitterling [*Leucaspis delineatus* (HECKEL, 1843)] [23–25], but they provide only speculative explanations about the underlying causes and the specific impacts of the Amur sleeper, lacking concrete evidence for readers.

2. Objectives

In our work, our aims were the following subjects:

- (i) *Studying the biology and ecology of the invasive Amur sleeper to prepare a comprehensive scientific manuscript.*
- (ii) *Investigation of the spread of Amur sleeper and its impact on the fish community along the Tisza River.* During the survey, we examined: (a) The extent of the Amur sleeper spread in the examined water bodies, (b) The proportion of the Amur sleeper abundance in the examined communities compared to native fauna elements, (c) The impact of the Amur sleeper colonization on community species richness and diversity, as well as on their species composition.
- (iii) *Studying the feeding ecology of the Amur sleeper along the Tisza River.* Within this topic, I am seeking answers to the following questions: (a) What role does fish-origin food play in the diet of the Amur sleeper? (b) Which fish species are most exposed to predation pressure from the Amur sleeper? (c) Is there a difference in the composition of the Amur sleeper's stomach contents, as well as the role of various food components in their diet, when different intensity sampling protocols are applied? (d) Do the food preferences of different size groups of the Amur sleeper differ within the population?

3. Material and methods

3.1. Sampling sites

3.1.1. Sampling sites of the subject entitled "Investigation of the spread of Amur sleeper and its impact on the fish community along the Tisza River"

Several Hungarian sources have reported on the spread of the Amur sleeper along the Hungarian Tisza watershed [12–14,17]. Additionally, several international publications mention the negative impact of the Amur sleeper on the European mudminnow [20,21,27–30]. However, these works do not evaluate the specific impact of the Amur sleeper on European mudminnow populations. During the review of literature sources, we aimed to select water bodies where the occurrence of European mudminnow was previously recorded, allowing us to study not only the impact of the Amur sleeper on the fish community but also to examine the population dynamics of both species over a multi-year dataset. Additionally, for each region, we examined water bodies that were suitable for these species based on their characteristics.

In total, across 76 sites in 5 regions [20], we conducted fish population surveys between 2019 and 2023 (*Fig. 1*). The sampling locations primarily consisted of hydrologically less variable, often artificially established lowland streams, and additional sampling sites were designated in backwaters, oxbow lakes, and peat bogs. The sampling sites are depicted in *Figure 1*. The names of the regions and water bodies were based on the Geographic Names Database of Hungary [31].

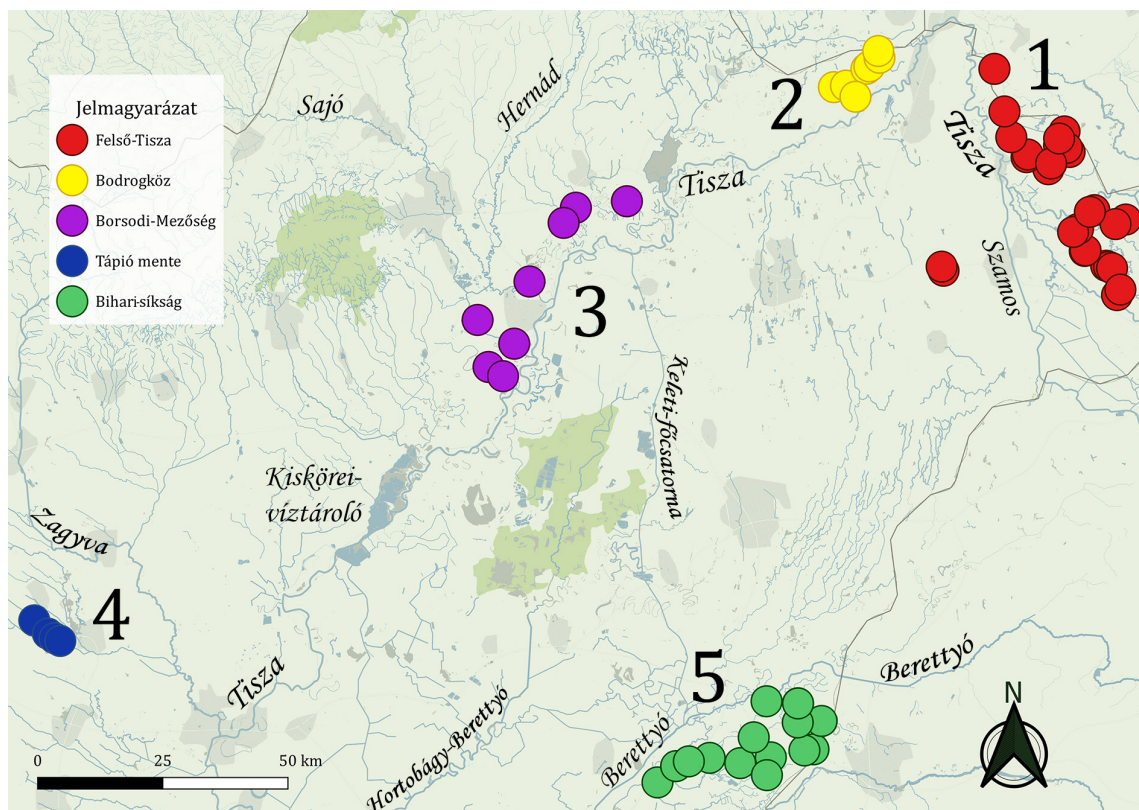


Figure 1. Sampling points designated along the Hungarian section of Tisza River basin
Regions and colour-code: 1 – Upper-Tisza region (red); 2 – Bodrogek (yellow);
3 – Borsodi-Mezőség plain (purple); 4 – Tápió mente (blue); 5 – Bihari plain (green).

3.1.2. Sampling sites of the subject entitled "Studying the feeding ecology of the Amur sleeper along the Tisza River"

To investigate the impact of the Amur sleeper on native fauna elements, especially the critically endangered European mudminnow, we needed to select a habitat where both species coexist and where the European mudminnow is represented by a stable population. Following a review of literature and reevaluation of previous field experiences, we identified the Hejő-main-channel at Hejőkürt in the Borsodi-Mezőség plain region within the Tisza watershed as the location meeting these criteria (coordinates: Y796350, X282129) (Fig. 2).

The Hejő-main-channel watershed covers a relatively small area of only 293 km², with a total length of 44 km from the source to the confluence [32]. Hydrogeomorphologically, it is highly various, with the lower section where sampling took place characterized by stagnant water conditions and the presence of stagnophilic fauna elements [33]. Fish collected for feeding ecology analysis were caught in the Hejőkürt region near the confluence of the Hejő-main-channel with the Tisza River (Fig. 2). In this section, water depth ranges from 0.8 meters to 2 meters, with fine sediment as the main riverbed material, and abundant emergent, submergent, and floating aquatic vegetation cover the area.

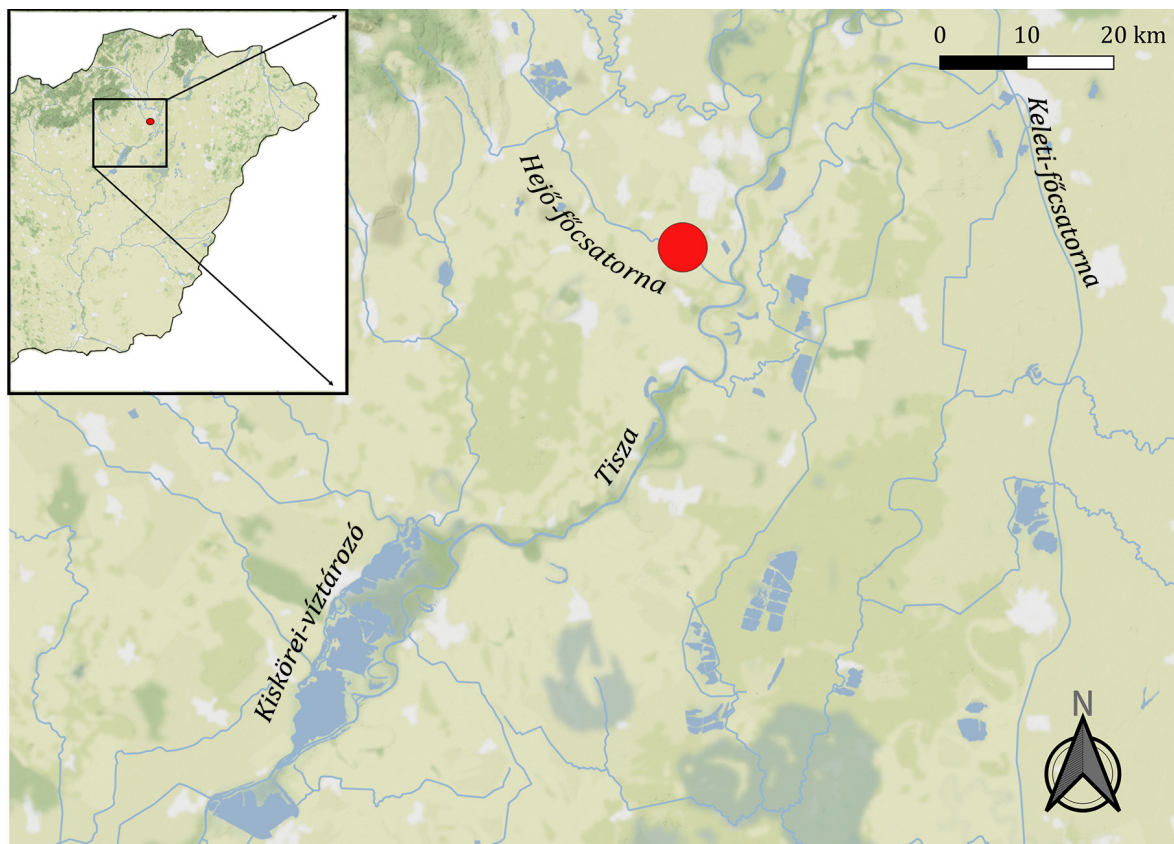


Fig.2. The Hejő-main-channel crossing the Borsodi-Mezőség plain
(The sampling point designed for the feeding ecology study is indicated by the red circle)

3.2. Sampling and sample processing

3.2.1. Methods of the subject entitled "Investigation of the spread of Amur sleeper and its impact on the fish community along the Tisza River"

The sampling protocols were conducted in accordance with the current European Union Water Framework Directive (EU WFD) recommendations specific to the type of watercourse [34]. For the fish fauna survey, we utilized wading and boat-based sampling methods. Sampling was carried out over distances of 150 meters against the flow direction and 500 meters along the flow direction [34]. We employed electric fishing devices (Hans Grassl IG200/b, 75 – 100 Hz, max. 10 kW; SAMUS 725MP, 40 – 60 Hz, max. 10 kW; Hans Grassl EL64 II GI, DC, 300/600V max. 7 kW, Hans Grassl GmbH, Germany) for the fish fauna survey. The length of each sampling section and their starting geocoordinates were recorded using a Garmin GPS device.

For species identification [35] and scientific nomenclature [37], we referred to FishBase database [36] and related publications. After identifying and recording the fish species and their numbers, the captured fish were returned unharmed to their habitats.

3.2.2. Methods of the subject entitled "Studying the feeding ecology of the Amur sleeper along the Tisza River"

To explore the feeding ecology of the Amur sleeper and provide a clearer understanding of its ecological role within the investigated community, we designed two sampling protocols to examine the stomach contents of the Amur sleeper. Sampling was conducted between March 2020 and August 2021. During fish collection, we used an electric fishing device (Hans Grassl EL64 II GI, DC, 300/600V max. 7 kW, Hans Grassl GmbH, Germany). The sampling and processing of samples were carried out in accordance with relevant laws and recommendations (permit numbers: HaGF/134/2019 and HaGF/68/2021).

To determine the importance and role of different prey items, especially fish-derived food, we developed various sampling protocols which differed in frequency over time. Similar to other studies [38,39], one of our sampling protocols involved traditional monthly sampling to provide a comprehensive picture of diet components. The other protocol utilized a more intensive temporal sampling design (e.g. 10-day collections) to test whether monthly samplings are representative for characterising the fish-eating behaviour of the Amur sleeper. Monthly sampling was conducted a total of 12 times, starting from March 23, 2020, at 4-week intervals until February 23, 2021, with 30 individuals collected per sampling ($n = 360$), ranging in standard length (SL) from 28 to 93 mm. The intensive sampling was conducted from May 2021 to August 2021, during which juvenile individuals of potential prey organisms could serve as food supplies for the Amur sleeper. During these samplings, 20 Amur sleepers were collected per occasion ($n = 240$), ranging in standard length (SL) from 45 to 90 mm.

For both sampling protocols, collected individuals were anesthetized with clove oil [30], and their total length (TL) and standard length (SL) were measured with digital calipers to the nearest 0.01 mm. Sex and stomach fullness were determined by visual examination. After recording the body parameters, exenterated guts of the Amur sleeper with their contents [40], and preserved in 96% ethanol solution until further dietary

analyses. In the laboratory, gut contents were determined under a stereomicroscope (EduBlue – ED.1802-S) and prey items were identified to the lowest practicable taxonomic level. The stomach fullness (in volume) was determined on a scale of 0–100% (empty – full) and the fullness contribution of each prey item category was estimated such that the sum of all prey categories equalled the total stomach fullness [30,41,42].

3.3. Statistical methods

3.3.1. Statistical methods of the subject entitled "Investigation of the spread of Amur sleeper and its impact on the fish community along the Tisza River"

After conducting field samplings, for further analyses, we calculated the relative abundance of fish species encountered in the sampled sections [43], and to standardize our data for community comparisons, we standardized our data into 100-meter units (catch per unit effort, CPUE) [44,45]. During data evaluation, we excluded species occurring in fewer than five sampling sections [43] to avoid bias in the results [46]. Consequently, we had data for 19 fish species across 54 sampling sections.

The results collected between 2019 and 2023 were supplemented with data found in the literature, as well as unpublished data from Zoltán Sallai, Dr. Béla Halasi-Kovács, and the Balaton Limnological Research Institute, creating a database encompassing faunistic data from the past thirty years. To study changes in the composition of the surveyed fish communities, our data were divided into three different time periods (-2007, 2008-2017, 2018-), and – using only native species –, we provided the original fish community characteristic of each sampling section [47].

The appearance of non-native species and their establishment in communities often leads to changes in the species composition of the host communities [48]. Therefore, we depicted the CPUE abundance of the five most common non-native fish species found in the surveyed sections using column charts, illustrating changes in abundance values between the first (-2007) and third (2018-) time periods. Differences between the values were tested using the Kruskal–Wallis test. We explored changes in fish community composition across the mentioned time periods. For a total of 15 sampling sections in 4 regions (Upper-Tisza Region, Bodrogeköz, Borsodi-Mezőség plain, and Bihari plain), we had occurrence data spanning all three time periods. The similarity of communities between periods was analyzed using non-metric multidimensional scaling (NMDS) with the Bray-Curtis dissimilarity index (stress value = 0.17) [49]. For evaluation and visualization of our results, we utilized the freely available statistical program "R" (version 4.2.2) [50]. To assess community similarity, we employed the ANOSIM similarity index, which revealed significant differences in fish fauna composition between the different time periods [49]. Both the NMDS and ANOSIM analyses were evaluated using the "vegan 2.5.7." package in the R program [51].

To study the impact of the Amur sleeper on fish communities, we calculated species richness (S) and Shannon-Wiener diversity (H') for communities both in the presence (n = 34 communities) and absence (n = 19 communities) of the Amur sleeper. The normality of the data was checked using the Shapiro-Wilk test. Since neither species richness (S) nor diversity index (H') exhibited a normal distribution, we applied the non-parametric Kruskal-Wallis test to compare community patterns.

For communities where the presence of the Amur sleeper was confirmed (n = 34), we used Spearman's rank correlation to explore relationships between species richness (S), diversity (H'), and the relative abundance of the Amur sleeper, transforming relative abundance values using $\ln(x+1)$ transformation [43].

We compared the CPUE abundance of the Amur sleeper with the CPUE values of the strictly protected European mudminnow, as well as the protected weather loach [*Misgurnus fossilis* (LINNAEUS, 1758)] and spinned loach (*Cobitis elongatoides* BĂCESCU & MAYER, 1969), since these species in the studied communities share similar ecological requirements (e.g., feeding, habitat preference) with the Amur sleeper, potentially influencing their population size significantly.

Based on its ecological requirements and food and habitat preferences, numerous literature sources consider the European mudminnow to be the most threatened species by the Amur sleeper in the Carpathian Basin, so we paid special attention to studying the changes in the populations of these two species. For this study, we referred to the work of Kornis and colleagues from 2013, where they examined the impact of the round goby (*Neogobius melanostomus* PALLAS, 1814) on native fish communities. In this study, we created a ratio pair and analyzed changes in species' CPUE values. In our case, we were able to evaluate changes in both the Amur sleeper and the European mudminnow populations in a total of 14 water bodies. For comparison, we used our own sampling results (recent CPUE) and literature data (literature CPUE) to uncover changes in the ratio pairs calculated for each species across all 14 sampling sites. Positive values obtained in this way indicate an increase in CPUE values, while negative values express a decrease. The ratio pairs were calculated according to the following formula:

$$+ \frac{\text{recent CPUE}}{\text{literature CPUE}}$$

when the CPUE value has increased compared to the value found in the literature, and

$$- \frac{\text{literature CPUE}}{\text{recent CPUE}}$$

when CPUE value has decreased comparing it with the value found in the literature. If the value in the denominator of the ratio pair was 0, we assigned it a value of 0.25 (1 individual), which corresponds to the smallest CPUE value over a 100-meter sampling

length, ensuring the predictability of the ratio pair [44]. We used Spearman's rank correlation to examine the relationships between changes in the abundance of the two species.

For calculating community species richness (S) and Shannon-Wiener diversity (H'), as well as for comparing community patterns using Kruskal-Wallis test, and evaluating the relationships between community species richness (S), diversity (H'), and relative abundance of the Amur sleeper using Spearman's rank correlation, we utilized the statistical software Past 4.11 [52]. To visualize the impact of the Amur sleeper on fish communities, and for NMDS plotting, we used the freely available R 4.3.2. software (R Core Team 2023) with the "ggplot2" and "vegan" packages [50,51,53], and for the column charts, we employed Microsoft Excel 2019.

3.3.2. *Statistical methods of the subject entitled "Studying the feeding ecology of the Amur sleeper along the Tisza River"*

Fish with empty stomachs were excluded from further analyses [30,39]. To estimate the importance of fish, especially the European mudminnow in the diet of the Amur sleeper, we calculated the frequency of occurrence ($F_i\%$) and the percentage of prey-specific volume ($P_i\%$) for each prey category [42]. The frequency of occurrence and the prey-specific volume were described by the following equations:

$$F_i\% = N_i / N \times 100$$

$$P_i\% = (\Sigma P_i / \Sigma P T_i)$$

where $F_i\%$ is the frequency of occurrence of the prey item i ; N_i is the number of fish with prey item i in their stomach; and N is the number of fish with food content in their stomach. $P_i\%$ is the prey-specific volume of the food item i ; ΣP_i is the stomach content (percentage) constituted by the prey item i ; $\Sigma P T_i$ is the total stomach fullness of the fish, which contained the prey item i [41,54]

To investigate the food composition related to the body size of the predator, we divided the collected specimens into three size groups, based on the length-frequency distribution of the Amur sleeper population collected during the 10-day sampling protocol. The following size groups were established: small, ≤ 49 mm SL ($n = 59$); intermediate, 50–62 mm SL ($n = 96$); and large, ≥ 63 mm SL ($n = 53$).

We used non-metric multidimensional scaling (NMDS) with Bray–Curtis distance to evaluate the diet overlap amongst the size groups (stress value = 0.13) [49]. The results were evaluated and visualized using the statistical software R (version 4.2.2) [50].

An analysis of similarity (ANOSIM) was also conducted to test the similarity between stomach contents of size groups. However, it did not show significant differences among the size groups [49]. Both NMDS and ANOSIM analyses were conducted using the "vegan 2.5.7" package in R [51].

Dietary overlap between the Amur sleeper size groups was assessed using Schoener's (1970) dietary overlap index: $C_{xy} = 1 - 0.5\sum|p_{xi} - p_{yi}|$, where p_{xi} and p_{yi} are the proportions of prey i (based on the relative abundance of prey items) found in the diet of groups x and y , respectively. This index ranges from 0 (no diet overlap) to 1 (complete overlap). Schoener's index values > 0.6 are usually considered to be biologically meaningful in terms of consumed prey items by groups x and y [55–57]).

4. Results and discussion

4.1. Investigation of the spread of Amur sleeper and its impact on the fish community along the Tisza River

The distribution of non-native fish species – especially the Amur sleeper – along the Tisza River is extensive. Over the past thirty years, their populations have significantly increased in several areas. The results of our survey along the Tisza River confirmed that the spread of the Amur sleeper within the Hungarian watershed of the Tisza is quite advanced, with the presence of the species confirmed in 34 out of 54 sampling sections with fish fauna. The extent of its distribution was highest in the Upper Tisza region among the surveyed regions, found in 74% of the surveyed water bodies. Within this region of the Tisza watershed, the relative abundance of the Amur sleeper was the highest. Despite the strong occurrence of extreme water fluctuations, habitat degradation, and anthropogenic pollution [22] which can significantly alter fish community composition [58], further spread of the Amur sleeper is expected in these habitats.

Although we had limited opportunities to survey watercourses in Bodrogeköz, the Amur sleeper was present in 100% of the surveyed communities. Similar to the Upper Tisza region, these waters are characterized by variable water levels and are prone to drying out based on our experience. We observed a similar frequency of occurrence in water bodies surveyed in the Borsodi-Mezőség. In contrast to previous surveys [33,59], the Amur sleeper was found without exception in all habitats. It is now considered a dominant species in some of these habitats, thereby endangering coexisting species. However, during our current sampling series, the Amur sleeper was not found in either the upper or lower reaches of the Tápió River, although its presence had been previously confirmed in the lower reaches of the Zagyva River and its tributary Tápió near Újszász [60,61].

Perhaps the most shocking result among our survey results is the spread of this species in the Bihar Plain, because this region is the last sanctuary for the most stable mudminnow populations in Eastern Hungary [62]. Recent fish faunistic surveys have confirmed the presence of the Amur sleeper in the Hungarian watershed of the Berettyó River system [63,64], as well as in its right [104] and left [66] tributaries. Our survey demonstrates further spread of the Amur sleeper, with specimens found in significant marshland habitats of the Kis-Sárrét, such as in the region of Komádi from the

Kódombszigeti and Kutas channels. Previously, it was known only from the lower section of the Szeghalom and Csökmő sections [66].

The spread of invasive species can result in significant changes in the species composition and structure of the community, as well as a decrease in biodiversity, further degraded by natural and anthropogenic factors such as drying out or hydrotechnical modifications [67]. Our analysis revealed that the species composition of native fish communities in many of the observed water bodies has significantly changed, particularly over the last two decades, largely influenced by non-native species, including the Amur sleeper. Periodic droughts in the regions, as well as anthropogenic pollution and dredging and construction works, exacerbate the impact of alien species, including the Amur sleeper on the native community. The species richness and diversity of our surveyed recent fish communities have decreased in relation to the relative abundance of the Amur sleeper. The decline in species richness, especially of native species, is expected to reduce the communities' resilience to external influences (biotic resilience) [68]. A recent study attempted to predict the community-level impact of the Amur sleeper's establishment using an allometric trophic networks (ATN) model on a model lake, Lake Võrtsjärv (Estonia) [69,70]. According to the model, the Amur sleeper's presence would significantly reduce the biomass of piscivorous and invertivorous fish species in that community; it would also have adverse effects not only on the fish community but also on the environmental factors of that habitat. The absence of apex predators in a given water body can lead to various adverse changes, such as a decrease in native fish populations [58], habitat degradation [71], extensive bioturbation resulting from the proliferation of detritivore species, and thus increased internal nutrient loading leading to eutrophication [70,72], as well as the potential absence of aquatic vegetation due to reduced water transparency [73].

Approximately 18% of the investigated habitats were characterized by a monospecific fish community dominated by the Amur sleeper, a community structure reported in previous literature. A Lithuanian study examined the monospecific community of the Amur sleepers in the Ilgas Reserve Natura 2000 marshland [74]. Although our current study did not extend to study the strategies like cannibalism in such communities, we have observed the presence of cannibalism within the population in Báb-tava in the Upper Tisza region.

The Amur sleeper relatively quickly becomes a dominant member of the community after its appearance [75], which could lead to changes in the conservation status of native species [70]. Based on our results, the decline in populations of the European mudminnow – a top predator in most of the water bodies we examined – poses a significant threat. This decline correlates with the increase in the Amur sleeper populations, confirming its negative impact on fish communities. From a conservation perspective, although the European mudminnow is "strictly protected" in Hungary, according to the international Red List, the species is currently categorized only as

"Vulnerable" [76]. Urgent reclassification to at least "Endangered" or even "Critically Endangered" in response to the population decline in Hungary [22] and the international decline observed [18] would be necessary to facilitate the required conservation measures.

Overall, the Amur sleeper plays a key role at the community and food web levels, with both top-down and bottom-up regulatory roles [70,77], which could cause significant changes in fish communities and abiotic habitat conditions [70]. In the studied fish communities, the Amur sleeper may play a determining role in the decrease of species richness and community diversity contributing to the extinction and population decrease of an endemic species like the strictly protected European mudminnow. Several studies suggest that the use and introduction of native predatory species (e.g., perch, pike) can be effective for the controlling of the spread of Amur sleeper [78,79]; however, these methods were tested in closed, standing water environments and did not lead to the complete extirpation of the Amur sleeper [79]. Additionally, in the Carpathian Basin, nature-conservationally important marshland habitats (where the European mudminnow primarily lives) do not provide suitable conditions for the introduction of native predatory species. In light of all this, further studies clarifying the impact and biology of the Amur sleeper community are essential [70].

4.2. Studying the feeding ecology of the Amur sleeper along the Tisza River

During the study, we used sampling protocols that differed in temporal intensity, allowing us to demonstrate the predatory impact of the Amur sleeper on the native species, especially the European mudminnow. Conventional monthly samplings showed that the Amur sleeper is an effective predator of a variety of macroinvertebrates, but could not reveal the importance of fish and amphibians in the diet. However, the finer temporal resolution protocol conducted every 10 days confirmed our hypothesis that the Amur sleeper is feeding on fish eggs and is an effective predator of amphibians and fish juveniles, particularly the European mudminnow. This interaction, coupled with competition for food resources, can lead to intraguild predation within the feeding guild [80,81]. Unfortunately, this could significantly contribute to the decline of European mudminnow populations in water bodies dominated by the Amur sleeper.

Although the Amur sleeper predominantly consumes macroinvertebrates according to our study and previous research [30,39,82], the extent of fish consumption can become more pronounced with ontogenetic development and age [82,83]. As the Amur sleeper is a non-selective, visual predator [39], motile fish larvae and tadpoles are more attractive to them [25]. During monthly sampling, we found that fish fry and amphibian larvae were present in negligible amounts in the stomach contents. However, the finer temporal resolution protocol revealed their significant role in the diet, especially in the hatching and breeding seasons. The occurrence of fish fry and amphibians in the

stomach contents exceeded 21% and 33%, respectively, with the finer protocol compared to 12.5% with the monthly protocol. These differences are substantial. In a study by Marsh & Douglas (1997) examining the impact of non-native predatory fish, including the channel catfish (*Ictalurus punctatus*), on native humpback chub *Gila cypha* populations, they observed a significant decrease in the occurrence of native species (2%) in the stomach contents of channel catfish. They estimated that this level of predation could lead to a substantial population decline even in the presence of a stable predator population [84].

Among the identified prey items in the stomach contents, the dominant prey was the European mudminnow, whose ecological requirements and habitat preferences overlap with those of the Amur sleeper [83,85]. The Amur sleeper primarily preys on macroinvertebrates, but fish fry consumption can be energetically rewarding due to their high nutritional value [95]. Without truly large, piscivorous individuals in the studied population [87], fish consumption occurs periodically. However, as the body size increases, the frequency and volumetric proportion of fish prey in the stomach contents also increase.



Figure 3. *European mudminnow offspring within the digestive tract of an adult Amur sleeper female.*

There was considerable overlap in diet composition among size classes, particularly in the medium to large size classes of the Amur sleeper. This is likely explained by the length distribution of the population and the absence of true piscivores, as supported by our findings.

The seasonality patterns of IGP are driven by the availability of prey [90], and IGP exerts pressure mostly on juveniles [91–93]. Based on the finer temporal sampling protocol, juveniles of the European mudminnow were a periodically available resource. Feeding on fish eggs and mudminnow offspring were detected after the hatching season and consumption of juveniles increased during the survey. European mudminnow offspring over 25 mm in length has proved to be the most vulnerable ontogenetic

developmental stage by the Amur sleeper predation. [87], the predatory impact of the Amur sleeper decreases gradually with the ontogeny of the European mudminnow, especially as it transitions to fish consumption.

Numerous scientific studies highlight the ecological impact of the Amur sleeper on ecosystems [24] and its threat to native species [25,30,39,84]. Our results indicate that the Amur sleeper significantly contributes to the decline of the European mudminnow populations through intraguild predation, competition for food resources, and predation on juvenile organisms. This type of interaction poses the greatest threat to species with low fecundity, short lifespans, and narrow distributions range [96], similar to the European mudminnow, which lays 100-2000 eggs per female and has an average lifespan of 5 years [97,98]. However, the longer life span [87], higher fecundity and aggressive behaviour of the Amur sleeper [103] increase the negative effects of IGP on the European mudminnow population. Since the distribution area of this endemic species is restricted mainly to the Carpathian Basin, further spread of the Amur sleeper may result in the extermination of the European mudminnow. Therefore, conservation measures (e.g. preventing further spread and the selective removal of the Amur sleeper) are more urgent than ever.

5. New scientific findings

- Our study confirmed that the Amur sleeper is a dominant fish species in a significant part of the surveyed waterbodies of the Tisza watershed, found in nearly 70% of the fish communities surveyed. This result suggesting that the Amur sleeper can play a significant role in altering the species composition of these fish communities.
- Drawing from our extensive dataset spanning multiple decades, we have noted a reduction in the presence of native fish species alongside an increase in invasive species across various water habitats, particularly evident in the significant rise of Amur sleeper populations.
- According to the feeding ecology investigation of amur sleeper, we proved its predatory effect on the European mudminnow, especially on its offspring over 25 mm. This seasonally available food resource is essential in intermediate and large-sized Amur sleepers feeding mainly on fish after the niche segregation.
- Studying the interactions between the Amur sleeper and the threatened European mudminnow revealed the intraguild predation - a combination of competition for resources and predation - between the two species, which can play a potential role in the extermination of the mudminnow.
- During the feeding ecology investigation, it has been proved that selecting the appropriate sampling protocol has a key role. In our case, sampling protocols - differed in the intensity of time - unfolded the role of prey items in a different perspective in the Amur sleeper diet. With the monthly sampling, we described the general diet of the species, while with the finer temporal resolution, we specified the importance of prey items in the diet.

Irodalomjegyzék/ References

1. Botta-Dukát, Z.; Balogh, L.; Szigetvári, C.; Bagi, I.; Dancza, I.; Udvardy, L. A Növényi Invázióhoz Kapcsolódó Fogalmak Áttekintése, Egyben Javaslat a Jövőben Használandó Fogalmakra És Definíciókra. In *Biológiai inváziók Magyarországon: Özönnyövények*; Mihály, B., Botta-Dukát, Z., Eds.; A KvVM Természetvédelmi Hivatalának tanulmánykötetei, 2004; pp. 35–59.
2. Gozlan, R.E. Introduction of Non-Native Freshwater Fish: Is It All Bad? *Fish and Fisheries* 2008, 9, 106–115.
3. Hui, C.; Richardson, D.M. *Invasion Dynamics*; Oxford University Press., 2017;
4. Richardson, D. Biological Invasions & the Emergence of Invasion Science. *Quest* 2015, 11, 5–7.
5. Vaz, A.S.; Kueffer, C.; Kull, C.A.; Richardson, D.M.; Schindler, S.; Muñoz-Pajares, A.J.; Vicente, J.R.; Martins, J.; Hui, C.; Kühn, I.; et al. The Progress of Interdisciplinarity in Invasion Science. *Ambio* 2017, 46, 428–442, doi:10.1007/s13280-017-0897-7.
6. Morais, P.; Reichard, M. Cryptic Invasions: A Review. *Science of the Total Environment* 2018, 613–614.
7. Campbell, S.E.; Simberloff, D. Forty Years of Invasion Research: More Papers, More Collaboration...bigger Impact? *NeoBiota* 2022, 75, 57–77, doi:10.3897/NEOBIOTA.75.86949.
8. Häder, D.P.; Banaszak, A.T.; Villafañe, V.E.; Narvarte, M.A.; González, R.A.; Helbling, E.W. Anthropogenic Pollution of Aquatic Ecosystems: Emerging Problems with Global Implications. *Science of the Total Environment* 2020, 713, 136586.
9. Harrison, I.; Darwall, W.; Lee, R.R.; Muruven, D.; Revenga, C.; Claussen, J.; Lynch, A.; Pinder, A.; Abell, R.; Martinelli, P.; et al. The World's Forgotten Fishes. *World Wide Fund for Nature (WWF)* 2021.
10. Clavero, M.; García-Berthou, E. Invasive Species Are a Leading Cause of Animal Extinctions. *Trends Ecol Evol* 2005, 20(3), 110, doi:10.1016/J.TREE.2005.01.003.
11. Hewitt, G.M. Post-Glacial Re-Colonization of European Biota. *Biological Journal of the Linnean Society* 1999, 68, 87–112, doi:10.1006/bjpl.1999.0332.
12. Takács, P.; Czeglédi, I.; Ferincz, Á.; Sály, P.; Specziár, A.; Vitál, Z.; Weiperth, A.; Erős, T. Non-Native Fish Species in Hungarian Waters: Historical Overview, Potential Sources and Recent Trends in Their Distribution. *Hydrobiologia* 2017, 1–22, doi:10.1007/s10750-017-3147-x.
13. Harka, Á. Magyarország Faunájának Új Halfaja: Az Amurgéb (*Perccottus glehni* Dybowski, 1877). *Halászat* 1998, 91:1, 32–33.
14. Erős, T.; Takács, P.; Sály, P.; Specziár, A.; György, Á.I.; Bíró, P. Az Amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) Megjelenése a Balaton Vízugyűjtőjén. *Halászat* 2008, 101:2, 75–77.
15. Harka, Á.; Megyeri, C.; Bereczki, C. Amurgéb (*Perccottus glenii*) a Balatonnál. *Halászat* 2008, 101, 62.
16. Takács, P.; Vitál, Z.; Poller, Z.; Paulovics, G.; Ferincz, Á.; Erős, T. Az Amurgéb (*Perccottus glenii*) Új Lelőhelyei a Balaton Vízugyűjtőjén. *Halászat* 2012, 105/3, 16.
17. Takács, P.; Vitál, Z. Amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) a Duna Mentén. *Halászat* 2012, 105/14, 16.
18. Bănăduc, D.; Marić, S.; Cianfaglione, K.; Afanasyev, S.; Somogyi, D.; Nyeste, K.; Antal, L.; Koščo, J.; Čaleta, M.; Wanzenböck, J.; et al. Stepping Stone Wetlands, Last Sanctuaries for European Mudminnow: How Can the Human Impact, Climate Change, and Non-Native Species Drive a Fish to the Edge of Extinction? *Sustainability* 2022, 14, 13493, doi:10.3390/SU142013493.
19. Európai Bizottság Az Idegenhonos Inváziós Fajok Betelepítésének Vagy Behurcolásának És Terjedésének Megelőzéséről És Kezeléséről Szóló 1143/2014/EU Rendelet Available online: <https://eur-lex.europa.eu/HU/legal-content/summary/protecting-biodiversity-from-invasive-alien-species.html?fbclid=IwAR01VQ3gh8RZL1AP14ED0abl3N1uevyBVxw59LPirvYyLJTFomwG47exL9o>.
20. Takács, P.; Erős, T.; Specziár, A.; Sály, P.; Vitál, Z.; Ferincz, Á.; Molnár, T.; Szabolcsi, Z.; Bíró, P.; Csoma, E. Population Genetic Patterns of Threatened European Mudminnow (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) in a Fragmented Landscape: Implications for Conservation Management. *PLoS One* 2015, 10(9), 1–23, doi:10.1371/journal.pone.0138640.
21. Tatár, S.; Bajomi, B.; Specziár, A.; Tóth, B.; Trenovszki, M.M.; Urbányi, B.; Csányi, B.; Szekeres, J.; Müller, T. Habitat Establishment, Captive Breeding and Conservation Translocation to Save Threatened

- Populations of the Vulnerable European Mudminnow *Umbra krameri*. *Oryx* **2017**, *51*(4), 718–729, doi:10.1017/S0030605316000533.
22. Nyeste, K.; Somogyi, D.; Bereczki, C.; Orcsik, T.; Tatár, S.; Antal, L. Halfaunisztikai Vizsgálatok a Lápi Póc (*Umbra krameri*) Történeti És Potenciális Szatmár-Beregi Élőhelyein. *Halászatfejlesztés* **2022**, *39*, 83–86.
 23. Reshetnikov, A.N.; Manteifel, Y.B. Newt–Fish Interactions in Moscow Province: A New Predatory Colonizer, *Perccottus glenii*, Transforms Metapopulations of Newts, *Triturus Vulgaris* and *T. Cristatus*. *Advances in Amphibian Research in the Former Soviet Union* **1997**, *2*, 1–12.
 24. Reshetnikov, A.N. The Introduced Fish, Rotan (*Perccottus glenii*), Depresses Populations of Aquatic Animals (Macroinvertebrates, Amphibians, and a Fish). *Hydrobiologia* **2003**, *510*(1), 83–90.
 25. Reshetnikov, A.N. Does Rotan *Perccottus glenii* (Perciformes: Odontobutidae) Eat the Eggs of Fish and Amphibians? *J Ichthyol* **2008**, *48*(4), 336–344, doi:10.1134/S0032945208040061.
 26. Erős, T.; Tóth, B.; Sevcsik, A.; Schmera, D. Comparison of Fish Assemblage Diversity in Natural and Artificial Rip-Rap Habitats in the Littoral Zone of a Large River (River Danube, Hungary). *Int Rev Hydrobiol* **2008**, *93*, doi:10.1002/iroh.200710976.
 27. Sallai, Z. A Lápi Póc (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) Magyarországi Elterjedése Élőhelyi Körülményeinek És Növekedési Ütemének Vizsgálata a Kiskunsági Kolon-Tóban. In *A Pusztá; “NIMFEA” Természetvédelmi Egyesület: Szarvas, 2005; Vol. 1, pp. 113-172.*, 60 p.
 28. Specziár, A. Fish Fauna of Lake Balaton: Stock Composition, Living Conditions of Fish and Directives of the Modern Utilization of the Fish Stock. *Acta Biologica Debrecina, Supplementum Oecologica Hungarica* **2010**, *23*, 7–185.
 29. Müller, T.; Balován, B.; Tatár, S.; Müllerné Trenovszki, M.; Urbányi, B.; Demény, F. A Lápi Póc (*Umbra krameri*) Szaporítása És Nevelése a Természetes Vízi Állományok Fenntartása És Megerősítése Érdekében. *Pisces Hungarici* **2011**, *5*, 15–20.
 30. Kati, S.; Mozsár, A.; Árva, D.; Cozma, N.J.; Czeglédi, I.; Antal, L.; Nagy, S.A.; Erős, T. Feeding Ecology of the Invasive Amur Sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) in Central Europe. *Int Rev Hydrobiol* **2015**, *100*(3-4), 116–128, doi:10.1002/iroh.201401784.
 31. Földi, E. *Magyarország Földrajzinév-Tára, II. Budapest; Kartográfiai Vállalat: Budapest, Hungary, 1981;*
 32. Marosi, S.; Szilárd, J. *Magyarország Tájföldrajza II. A Tiszai Alföld; Budapest, Hungary, 1969;*
 33. Harka, Á.; Szepesi, Z. A Hejő Patak Vízrendszerének Halfaunisztikai Vizsgálata. *Pisces Hungarici* **2007**, *1*, 113–117.
 34. Sály, P.; Erős, T. Vízfolyások Ökológiai Állapotminősítése Halakkal: Minősítési Indexek Kidolgozása. *Pisces Hungarici* **2016**, *10*, 15–45.
 35. Harka, Á.; Sallai, Z. *Magyarország Halfaunája; Nimfea Természetvédelmi Egyesület Kiadó, Szarvas: Szarvas, 2004;*
 36. Froese, R.; Pauly, D. *Www.Fishbase.Org Available online: https://fishbase.de/summary/4696.*
 37. Harka, Á. Tudományos Halnevek a Magyar Szakirodalomban. *Halászat* **2011**, *104*, 99–103.
 38. Carman, S.M.; Janssen, J.; Jude, D.J.; Berg, M.B. Diel Interactions between Prey Behaviour and Feeding in an Invasive Fish, the Round Goby, in a North American River. *Freshw Biol* **2006**, *51*, 742–755, doi:10.1111/j.1365-2427.2006.01527.x.
 39. Grabowska, J.; Grabowski, M.; Pietraszewski, D.; Gmur, J. Non-Selective Predator - the Versatile Diet of Amur Sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) in the Vistula River (Poland), a Newly Invaded Ecosystem. *Journal of Applied Ichthyology* **2009**, *25*(4), 451–459, doi:10.1111/j.1439-0426.2009.01240.x.
 40. Martinez-Palacios, C.A.; Ross, L.G. The Feeding Ecology of the Central American Cichlid *Cichlasoma Urophthalmus* (Gunther). *J Fish Biol* **1988**, *33*, 655–670, doi:10.1111/j.1095-8649.1988.tb05512.x.
 41. Hyslop, E.J. Stomach Contents Analysis—a Review of Methods and Their Application. *J Fish Biol* **1980**, *17*, 411–429, doi:10.1111/J.1095-8649.1980.TB02775.X.
 42. Amundsen, P.A.; Gabler, H.M.; Staldvik, F.J. A New Approach to Graphical Analysis of Feeding Strategy from Stomach Contents Data - Modification of the Costello (1990) Method. *J Fish Biol* **1996**, *48*(4), 607–614., doi:10.1111/j.1095-8649.1996.tb01455.x.

43. Matthews, W.J.; Marsh-Matthews, E. An Invasive Fish Species within Its Native Range: Community Effects and Population Dynamics of *Gambusia affinis* in the Central United States. *Freshw Biol* **2011**, *56*, 2609–2619, doi:10.1111/j.1365-2427.2011.02691.x.
44. Kornis, M.S.; Sharma, S.; Jake Vander Zanden, M. Invasion Success and Impact of an Invasive Fish, Round Goby, in Great Lakes Tributaries. *Divers Distrib* **2013**, *19*, 184–198, doi:10.1111/ddi.12001.
45. Mueller, M.; Pander, J.; Geist, J. Comprehensive Analysis of >30 years of Data on Stream Fish Population Trends and Conservation Status in Bavaria, Germany. *Biol Conserv* **2018**, *226*, 311–320, doi:10.1016/j.biocon.2018.08.006.
46. Jackson, D.A.; Harvey, H.H. Biogeographic Associations in Fish Assemblages: Local versus Regional Processes. *Ecology* **1989**, *70*, 1472–1484.
47. Clavero, M.; García-Berthou, E. Homogenization Dynamics and Introduction Routes of Invasive Freshwater Fish in the Iberian Peninsula. *Ecological Applications* **2006**, *16*, 2313–2324, doi:10.1890/1051-0761(2006)016[2313:HDAIRO]2.0.CO;2.
48. Vargas, P. V.; Arismendi, I.; Gomez-Uchida, D. Evaluating Taxonomic Homogenization of Freshwater Fish Assemblages in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* **2015**, *88*, 1–10, doi:10.1186/s40693-015-0046-2.
49. Clarke, K., R. Non-Parametric Multivariate Analyses of Changes in Community Structure. *Austral Ecol* **1993**, *18*, 117–143.
50. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing 2022.
51. Oksanen, J.; Blanchet, F.G.; Michael, F.; Roeland, K.; Legendre, P.; McGlenn, D.; Minchin, P.R.; O'Hara, R.B.; Simpson, G.L.; Solymos, P.; et al. Vegan: Community Ecology Package. R Package Version 2.5-7. 2020.
52. Hammer, Ø.; Harper, D.A.T.; Ryan, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* **2001**, *4(1)*, 1–9.
53. Wickham, H. *Ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis.*; Springer-Verlag: New York, 2016; ISBN 978-3-319-24277-4.
54. Labropoulou, M.; Eleftheriou, A. The Foraging Ecology of Two Pairs of Congeneric Demersal Fish Species: Importance of Morphological Characteristics in Prey Selection. *J Fish Biol* **1997**, *50(2)*, 324–340, doi:10.1111/J.1095-8649.1997.TB01361.X.
55. Schoener, T.W. Nonsynchronous Spatial Overlap of Lizards in Patchy Habitats. *Ecology* **1970**, *51*, 408–418, doi:10.2307/1935376.
56. Clarke, L.R.; Videgar, D.T.; Bennett, D.H. Stable Isotopes and Gut Content Show Diet Overlap among Native and Introduced Piscivores in a Large Oligotrophic Lake. *Ecol Freshw Fish* **2005**, *14*, 267–277.
57. Wallace, R.K. An Assessment of Diet-Overlap Indexes. *Trans Am Fish Soc* **1981**, *110*, 72–76.
58. Gallardo, B.; Clavero, M.; Sánchez, M.I.; Vilà, M. Global Ecological Impacts of Invasive Species in Aquatic Ecosystems. *Glob Chang Biol* **2016**, *22*, 151–163.
59. Harka, Á.; Huber, A. Amurgébek (*Perccottus glenii*) a Takta Vízrendszerében. *Halászat* **2014**, *107*, 14–15.
60. Kovács, N. A Zagyva Folyó És Vízrendszerének Halfaunisztikai Vizsgálata. In Proceedings of the 28. Halászati Tudományos Tanácskozás; Szarvas, 2004; pp. 137–140.
61. Szepesi, Z.; Harka, Á. Amurgébek (*Perccottus glenii*) a Zagyva Vízrendszerében. *Halászat* **2014**, *107*, 16.
62. Somogyi, D. A Tisza Vízgyűjtőjén Élő Lápi Pócok (*Umbra krameri*) Állományainak Felmérése, Élőhelyük Halalapuró Ökológiai Állapotértékelése. *Halászat* **2020**, *113*, 92.
63. Antal, L.; Czeglédi, I.; Mozsár, A.; Halasi-Kovács, B. Terjed Az Amurgéb (*Perccottus glenii*) a Berettyó Hazai Vízgyűjtőjén. *Halászat* **2011**, *3–4*, 84.
64. Halasi-Kovács, B.; Sallai, Z.; Antal, L. A Berettyó Hazai Vízgyűjtőjének Halfaunája És Halközösségeinek Változása Az Elmúlt Évtizedben. *Pisces Hungarici* **2011**, *5*, 43–60.
65. Sallai, Z.; Juhász, P. Adatok a Berettyó-Körös-Vidék Középtáj Kisvízeinek Halfaunájához Data to the Fish Fauna of Water Bodies of the Berettyó-Körös Region. *Pisces Hungarici* **2020**, *14*, 45–62.

66. Nyeste, K.; Sallai, Z.; Halasi-Kovács, B. Az Amurgéb (*Perccottus glenii*) Megjelenése a Berettyó Bal Oldali Mellékvizeiben. *Halászat* **2020**, *113*, 14.
67. Simberloff, D. *Invasive Species: What Everyone Needs to Know.*; Oxford University Press., 2013
68. Dunne, J.A.; Williams, R.J.; Martinez, N.D. Network Structure and Biodiversity Loss in Food Webs: Robustness Increases with Connectance. *Ecol Lett* **2002**, *5*, 558–567, doi:10.1046/J.1461-0248.2002.00354.X.
69. Boit, A.; Martinez, N.D.; Williams, R.J.; Gaedke, U. Mechanistic Theory and Modelling of Complex Food-Web Dynamics in Lake Constance. *Ecol Lett* **2012**, *15*, doi:10.1111/j.1461-0248.2012.01777.x.
70. Kuparinen, A.; Uusi-Heikkilä, S.; Perälä, T.; Ercoli, F.; Eloranta, A.P.; Cremona, F.; Nöges, P.; Laas, A.; Nöges, T. Generalist Invasion in a Complex Lake Food Web. *Conserv Sci Pract* **2023**, *5*, doi:10.1111/csp2.12931.
71. Rahel, F.J. Homogenization of Freshwater Faunas. *Annu Rev Ecol Syst* **2002**, *33*.
72. Cremona, F.; Järvalt, A.; Bhele, U.; Timm, H.; Seller, S.; Haberman, J.; Zingel, P.; Agasild, H.; Nöges, P.; Nöges, T. Relationships between Fisheries, Foodweb Structure, and Detrital Pathway in a Large Shallow Lake. *Hydrobiologia* **2018**, *820*, doi:10.1007/s10750-018-3648-2.
73. Jeppesen, E.; Søndergaard, M.; Søndergaard, M.; Christoffersen, K. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*; Springer, 1998;
74. Kutsokon, I.; Tkachenko, M.; Bondarenko, O.; Pupins, M.; Snigirova, A.; Berezovska, V.; Čeirāns, A.; Kvach, Y. The Role of Invasive Chinese Sleeper *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 in the Ilgas Nature Reserve Ecosystem: An Example of a Monospecific Fish Community. *Bioinvasions Rec* **2021**, *10*, 396–410, doi:10.3391/bir.2021.10.2.18.
75. Koščo, J.; Lusk, S.; Halačka, K.; Lusková, V. The Expansion and Occurrence of the Amur Sleeper (*Perccottus glenii*) in Eastern Slovakia. *Folia Zool Brno* **2003**, *52*, 329–336.
76. Freyhof, J. *Umbra krameri*. *The IUCN Red List of Threatened Species*; e. T22730A9380477., 2013;
77. Reshetnikov, A.N.; Schliwen, U.K. First Record of the Invasive Alien Fish Rotan *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 (Odontobutidae) in the Upper Danube Drainage (Bavaria, Germany). *Journal of Applied Ichthyology* **2013**, *29*, doi:10.1111/jai.12256.
78. Litvinov, A.G.; O’Gorman, R. Biology of Amur Sleeper (*Perccottus glehni*) in the Delta of the Selenga River, Buryatia, Russia. *J Great Lakes Res* **1996**, *22*, 370–378, doi:10.1016/S0380-1330(96)70962-0.
79. Rakauskas, V.; Virbickas, T.; Stakenas, S.; Steponenas, A. The Use of Native Piscivorous Fishes for the Eradication of the Invasive Chinese Sleeper, *Perccottus glenii*. *Knowl Manag Aquat Ecosyst* **2019**, *21*, doi:10.1051/kmae/2019013.
80. Polis, G.A.; Myers, C.A.; Holt, R.D. The Ecology and Evolution of Intraguild Predation: Potential Competitors That Eat Each Other. *Annu Rev Ecol Syst* **1989**, *20*, 297–330, doi:10.1146/annurev.es.20.110189.001501.
81. Polis, G.A.; Holt, R.D. Intraguild Predation: The Dynamics of Complex Trophic Interactions. *Trends Ecol Evol* **1992**, *7*, 151–154.
82. Koščo, J.; Manko, P.; Miklisová, D.; Košuthová, L. Feeding Ecology of Invasive *Perccottus glenii* (Perciformes, Odontobutidae) in Slovakia. *Czech Journal of Animal Science* **2008**, *53(11)*, 479–486, doi:10.17221/340-cjas.
83. Grabowska, J.; Błońska, D.; Kati, S.; Nagy, S.A.; Kakareko, T.; Kobak, J.; Antal, L. Competitive Interactions for Food Resources between the Invasive Amur Sleeper (*Perccottus glenii*) and Threatened European Mudminnow (*Umbra krameri*). *Aquat Conserv* **2019**, *29(12)*, 2231–2239, doi:10.1002/aqc.3219.
84. Marsh, P.C.; Douglas, M.E. Predation by Introduced Fishes on Endangered Humpback Chub and Other Native Species in the Little Colorado River, Arizona. *Trans Am Fish Soc* **1997**, *126*, 343–346, doi:10.1577/1548-8659(1997)126<0343:pbifoe>2.3.co;2.
85. Pekárik, L.; Hajdú, J.; Koščo, J. Identifying the Key Habitat Characteristics of Threatened European Mudminnow (*Umbra krameri*, Walbaum 1792). *Fundamental and Applied Limnology* **2014**, *184*, 151–159, doi:10.1127/1863-9135/2014/0477.
86. Wanzenböck, J. Current Knowledge on the European Mudminnow, *Umbra krameri* Walbaum, 1792 (Pisces: Umbridae). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie B* **1995**, *97*, 439–449.

87. Nyeste, K.; Kati, S.; Nagy, S.A.; Antal, L. Growth Features of the Amur Sleeper, *Perccottus glenii* (Actinopterygii: Perciformes: Odontobutidae), in the Invaded Carpathian Basin, Hungary. *Acta Ichthyol Piscat* **2017**, *47*, 33–40, doi:10.3750/AIEP/01977.
88. Scharf, F.S.; Juanes, F.; Rountree, R.A. Predator Size - Prey Size Relationships of Marine Fish Predators: Interspecific Variation and Effects of Ontogeny and Body Size on Trophic-Niche Breadth. *Mar Ecol Prog Ser* **2000**, *208*, 229–248, doi:10.3354/meps208229.
89. Dörner, H.; Wagner, A. Size-Dependent Predator–Prey Relationships between Perch and Their Fish Prey. *J Fish Biol* **2003**, *62*(5), 1021–1032, doi:10.1046/J.1095-8649.2003.00092.X.
90. Yurkowski, D.J.; Hussey, N.E.; Fisk, A.T.; Imrie, K.L.; Tallman, R.F.; Ferguson, S.H. Temporal Shifts in Intraguild Predation Pressure between Beluga Whales and Greenland Halibut in a Changing Arctic. *Biol Lett* **2017**, *13*(11), 20170433, doi:10.1098/rsbl.2017.0433.
91. Mehner, T.; Schultz, H.; Bauer, D.; Herbst, R.; Voigt, H.; Benndorf, J. Intraguild Predation and Cannibalism in Age-0 Perch (*Perca fluviatilis*) and Age-0 Zander (*Stizostedion lucioperca*): Interactions with Zooplankton Succession, Prey Fish Availability and Temperature. In *Annales Zoologici Fennici*; Finnish Zoological and Botanical Publishing Board, 1996; Vol. 33(3-4), pp. 353–361.
92. Fritts, A.L.; Pearsons, T.N. Smallmouth Bass Predation on Hatchery and Wild Salmonids in the Yakima River, Washington. *Trans Am Fish Soc* **2004**, *133*(4), 880–895, doi:10.1577/t03-003.1.
93. Hasegawa, K.; Fukui, S. Pulsed Supplies of Small Fish Facilitate Time-Limited Intraguild Predation in Salmon-Stocked Streams. *R Soc Open Sci* **2021**, *9*(9), 220127, doi:https://doi.org/10.1098/rsos.22012.
94. Polačik, M.; Janáč, M.; Jurajda, P.; Adámek, Z.; Ondračková, M.; Trichkova, T.; Vassilev, M. Invasive Gobies in the Danube: Invasion Success Facilitated by Availability and Selection of Superior Food Resources. *Ecol Freshw Fish* **2009**, *18*(4), 640–649, doi:10.1111/j.1600-0633.2009.00383.x.
95. Elliott, J.M.; Hurley, M.A. Daily Energy Intake and Growth of Piscivorous Brown Trout, *Salmo trutta*. *Freshw Biol* **2000**, *44*, 237–245, doi:10.1046/j.1365-2427.2000.00560.x.
96. Rocha, L.A.; Rocha, C.R.; Baldwin, C.C.; Weigt, L.A.; McField, M. Invasive Lionfish Preying on Critically Endangered Reef Fish. *Coral Reefs* **2015**, *34*(3), 803–806, doi:10.1007/S00338-015-1293-Z/TABLES/1.
97. Kottelat, M.; Freyhof, J. *Handbook of European Freshwater Fishes*; Publications Kottelat, Cornol, Switzerland., 2007;
98. Wilhelm, S. *A Lápi Póc*; Erdélyi Múzeum-Egyesület: Kolozsvár, 2008;
99. Sinelnikov, A.M. Feeding of Rotan in Flood Plain Water Body of the Basin of Razdolnaya River (Primorski Krai). *Biology of fishes of the Far East, DGU, Vladivostok* **1976**, 96–99.
100. Zaloznykh, D.V. Nekotoryje Aspekty Biologii Rotana v Vodoemah Gorkovskoj Oblasti [Some Biological Aspects of Amur Sleeper in Water Bodies of Gorky Region]. *Mezhvuzovskiy sbornik. Nazemnye i vodnye ekosystemy. Gorkiy, Gorkovskiy Universitet* **1982**, *5*, 44–47.
101. Lovassy, S. Halak (Pisces). In *Lovassy, S.: Magyarország gerinces állatai és gazdasági vonatkozásai.*; Magyar Természettudományi Társulat: Budapest, Hungary, 1927; pp. 791–875.
102. Berinkey, L. Halak, Pisces. In *Magyarország állatvilága (Fauna Hungariae)*; Akadémia kiadó, 1966; Vol. 20, pp. 32–33.
103. Grabowska, J.; Pietraszewski, D.; Przybylski, M.; Ali Serhan, T.S.; Marszał, L.; Magdalena, L.K. Life-History Traits of Amur Sleeper, *Perccottus glenii*, in the Invaded Vistula River: Early Investment in Reproduction but Reduced Growth Rate. *Hydrobiologia* **2011**, *661*, 197–210, doi:10.1007/s10750-010-0524-0.
104. Sallai, Z.; Juhász, P. Adatok a Berettyó-Körös-Vidék Középtáj Kisvizeinek Halfaunájához. *Pisces Hungarici* **2020**, *14*, 45–62.

Publications related to the dissertation



UNIVERSITY of
DEBRECEN

UNIVERSITY AND NATIONAL LIBRARY
UNIVERSITY OF DEBRECEN

H-4002 Egyetem tér 1, Debrecen
Phone: +3652/410-443, email: publikaciok@lib.unideb.hu

Registry number: DEENK/307/2024.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Dóra Somogyi
Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences
MTMT ID: 10068587

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. **Somogyi, D.**, Erős, T., Mozsár, A., Czeglédi, I., Szeles, J., Tóth, R., Zulklipl, N., Antal, L., Nyeste, K. J.: Intraguild predation as a potential explanation for the population decline of the threatened native fish, the European mudminnow (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) by the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877). *NeoBiota*. 83, 95-107, 2023. ISSN: 1619-0033.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3897/neobiota.83.95680>
IF: 5.1 (2022)
2. Bănăduc, D., Marić, S., Cianfaglione, K., Afanasyev, S., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L., Kosco, J., Čaleta, M., Wanzenböck, J., Curtean-Bănăduc, A.: Stepping Stone Wetlands, Last Sanctuaries for European Mudminnow: How Can the Human Impact, Climate Change, and Non-Native Species Drive a Fish to the Edge of Extinction? *Sustainability*. 14 (20), 1-39, 2022. ISSN: 2071-1050.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su142013493>
IF: 3.9

List of other publications

Hungarian books (2)

3. Szerk. Antal, L., **Somogyi, D.**: A XIX. Magyar Haltani Konferencia programja és előadás-kivonatai. Magyar Haltani Társaság, Debrecen-Tiszafüred, 18 p., 2023. ISBN: 9786156159045
4. Szerk. Antal, L., **Somogyi, D.**: A XVIII. Magyar Haltani Konferencia programja és előadás-kivonatai. Magyar Haltani Társaság, Debrecen : Tiszafüred, 19 p., 2022. ISBN: 9786156159014(nyomatott)





Hungarian scientific articles in Hungarian journals (8)

5. Tóth, R., Bodnár, B., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: A tiszai ingola (Eudontomyzon danfordi Regan, 1911) állományainak felmérése és élőhelyeinek ökológiai állapotértékelése a Tisza magyarországi vízgyűjtő területén.
Pisces Hung. 16, 21-32, 2022. ISSN: 1789-1329.
6. **Somogyi, D.**: Dr. Harka Ákos, társaságunk tiszteletbeli elnöke, túl a 80. évén.
Pisces Hung. 16, 5-10, 2022. ISSN: 1789-1329.
7. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Bereczki, C., Orcsik, T., Tatár, S., Antal, L.: Halfaunisztikai vizsgálatok a lápi póc (Umbra krameri) történeti és potenciális Szatmár-Beregi élőhelyein.
Halászatfejlesztés. 39, 82-86, 2022. ISSN: 1219-4816.
8. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Sallai, Z., Antal, L.: Adatok a tokfélék (Acipenseridae) Kárpát-medencei recens előfordulásairól.
Pisces Hung. 14, 107-114, 2020. ISSN: 1789-1329.
9. **Somogyi, D.**, Bodnár, B.: A Hernád mellékvízfolyásainak halfaunisztikai felmérése és halösszetételén alapuló ökológiai állapotértékelése = Ecological assessment of the tributaries of River Hernád based on fish assemblage.
Pisces Hung. 14, 63-70, 2020. ISSN: 1789-1329.
10. Tóth, R., Bíró, Z., Farkas, G. B., Zulklipl, N., **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: A Rakamazi-Nagy-morotva halközösségének vizsgálata eltérő mintavételi protokollok alapján = Investigation of the fish fauna of Rakamazi-Nagy-morotva with different sampling protocols.
Pisces Hung. 14, 71-79, 2020. ISSN: 1789-1329.
11. **Somogyi, D.**, Farkas, G., Deák, S., Nagy, S. A., Nyeste, K. J., Antal, L.: A ponty (Cyprinus carpio) és az ezüstkárász (Carassius gibelio) kondíciójának vizsgálata egy termálvízzel ellátott állóvízi környezetben.
Pisces Hung. 13, 75-80, 2019. ISSN: 1789-1329.
12. Nagy, S. A., Nagy, J., **Somogyi, D.**: Melegedő klíma: kihívások a hal és halászatbiológiában = Warming climate: challenges in fishery biology and ichthyology.
Pisces Hung. 13, 5-14, 2019. ISSN: 1789-1329.

Foreign language scientific articles in international journals (5)

13. Nyeste, K. J., Zulklipl, N., Uzochukwu, I. E., **Somogyi, D.**, Nagy, L., Czeglédi, I., Harangi, S., Baranyai, E., Simon, E., Nagy, S. A., Velcheva, I., Yancheva, V., Antal, L.: Assessment of trace and macroelement accumulation in cyprinid juveniles as bioindicators of aquatic pollution: effects of diets and habitat preferences.
Sci. Rep. 14 (1), 1-14, 2024. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-61986-4>
IF: 4.6 (2022)





14. Lovas-Kiss, Á., Antal, L., Mozsár, A., Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Kiss, B., Tóth, R., Tóth, F., Fazekas, D., Vítál, Z., Halasi-Kovács, B., Tóth, P. J., Szabó, N., Löki, V., Vincze, O., Lukács, B. A.: Bird-mediated endozoochory as a potential dispersal mechanism of bony fishes. *Ecography. Epub.*, 1-4, 2024. ISSN: 0906-7590.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ecog.07124>
IF: 5.9 (2022)
15. Mozsár, A., Specziár, A., Pirger, Z., Czeglédi, I., Kati, S., Nagy, S. A., Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Antal, L.: Sexual trait may simultaneously indicate sperm production and nutritional fitness in uniparental nest-guarding fish: a case study on Amur sleeper. *J. Zool.* 314 (3), 227-233, 2021. ISSN: 0952-8369.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jzo.12874>
IF: 2.394
16. Yancheva, V., Georgieva, E., Stoyanova, S., Velcheva, I., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: A histopathological study on the Caucasian dwarf goby from an anthropogenically loaded site in Hungary using multiple tissues analyses. *Acta Zool.* 1, 1-16, 2020. ISSN: 0001-7272.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/azo.12310>
IF: 1.261
17. Sellyei, B., Cech, G., Varga, Á., Molnár, K., Székely, C., **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: Infection of the Carpathian brook lamprey (Regan, 1911) with a dermocystid parasite in the Tisza River Basin, Hungary. *J. Fish Dis.* 43 (12), 1571-1577, 2020. ISSN: 0140-7775.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jfd.13259>
IF: 2.767

Other journal articles (17)

18. Nyeste, K. J., Pádár, P., **Somogyi, D.**: Csupasztorkú géb (*Babka gymnotrachelus*) a Szamosból. *Halászat.* 117 (1), 21-21, 2024. ISSN: 0133-1922.
19. Nyeste, K. J., Antal, L., **Somogyi, D.**: Újabb lápi pócok (*Umbra krameri*) az Öreg-Túrból. *Halászat.* 115 (4), 20, 2023. ISSN: 0133-1922.
20. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Bereczki, C., Antal, L.: Halmentés a beregi Zsid-tónál. *Halászat.* 115 (1), 14-15, 2022. ISSN: 0133-1922.
21. Nyeste, K. J., Tatár, S., Uzochukwu, I. E., Antal, L., Tóth, B., **Somogyi, D.**: Lápi pócok (*Umbra krameri*) mentése a Hejő-főcsatornából. *Halászat.* 115 (4), 21, 2022. ISSN: 0133-1922.
22. Nyeste, K. J., Antal, L., Abonyi, T., **Somogyi, D.**: A lápi póc (*Umbra krameri*) újabb adata az Öreg-Túrból. *Halászat.* 114 (4), 141, 2021. ISSN: 0133-1922.





23. Nyeste, K. J., Molnár, L., Sallai, Z., **Somogyi, D.**: A lápi póc (*Umbra krameri*) újabb és a széles kárász (*Carassius carassius*) új adata a jászszentlászlói Tőzegezből.
Halászat. 114 (2), 65, 2021. ISSN: 0133-1922.
24. Harka, Á., **Somogyi, D.**: A tudomány jelen állása szerint csak egy pikófaj él Magyarországon, a tüskés pikó (*Gasterosteus aculeatus*).
Pisces Hung. 15, 131-132, 2021. ISSN: 1789-1329.
25. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**: Cifrarákot (*Orconectes limosus*) fogyasztó halak a Nagykunsági-főcsatornában.
Halászat. 114 (1), 13, 2021. ISSN: 0133-1922.
26. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J.: Lápi póc (*Umbra krameri*) újabb adata az Álom-zugi-csatornából.
Halászat. 114 (2), 64, 2021. ISSN: 0133-1922.
27. Nyeste, K. J., Harka, Á., **Somogyi, D.**, Antal, L.: Tiszai ingola (*Eudontomyzon danfordi*) a Középtiszából.
Halászat. 114 (1), 15, 2021. ISSN: 0133-1922.
28. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**, Sallai, Z., Antal, L.: A lápi póc (*Umbra krameri*) élőhelyei a Borsodisíkon.
Halászat. 113 (2), 15, 2020. ISSN: 0133-1922.
29. Polyák, L., **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: A lápi póc (*Umbra krameri*) utolsó ismert populációja a Felső-Tisza-vidéken.
Halászat. 124 (4), 124, 2020. ISSN: 0133-1922.
30. **Somogyi, D.**: A Tisza vízgyűjtőjén élő lápipóc-állományok felmérése, élőhelyük halalapú ökológiai állapotértékelése.
Halászat. 113 (3), 92, 2020. ISSN: 0133-1922.
31. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J.: Első adatok a tiszai ingola (*Eudontomyzon danfordi*) tömeges éjszakai ívásáról.
Halászat. 113 (4), 122, 2020. ISSN: 0133-1922.
32. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**: Kecskerák (*Astacus leptodactylus*) a Nagykunsági-főcsatornából.
Halászat. 113 (1), 14-14, 2020. ISSN: 0133-1922.
33. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J.: Kerekfejű géb (*Neogobius melanostomus*) a Hortobágy-Berettyóból.
Halászat. 113 (1), 14-14, 2020. ISSN: 0133-1922.
34. Nyeste, K. J., **Somogyi, D.**: Feketeszájú géb (*Neogobius melanostomus*) a kösüllő (*Sander volgensis*) gyomrából.
Halászat. 112 (2), 51-51, 2019. ISSN: 0133-1922.

Hungarian abstracts (2)

35. **Somogyi, D.**, Sallai, Z., Erős, T., Mozsár, A., Czeglédi, I., Nagy, L., Antal, L., Nyeste, K. J.: Az idegenhonos amurgéb (*Percottus glenii*) hatásának vizsgálata a hazai halközösségekre.
Halászatfejlesztés. 40, 32-33, 2023. ISSN: 1219-4816.





36. Nyeste, K. J., Zulkipli, N., Uzochukwu, I. E., **Somogyi, D.**, Nagy, L., Czeglédi, I., Harangi, S., Baranyai, E., Simon, E., Nagy, S. A., Velcheva, I., Yancheva, V., Antal, L.: *Eltérő táplálkozású és habitatpreferenciájú halivadékok indikátorszerepe a fémszennyezés kimutatásában.*
Halászatfejlesztés. 40, 30-31, 2023. ISSN: 1219-4816.

Informational/educational articles (5)

37. **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: *Az Év Hala, a fokozottan védett lápi póc.*
Honismeret. 2023 (2), 153-155, 2023. ISSN: 0324-7627.
38. **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: *Az Év Hala, a bodorka.*
Honismeret. 50 (2), 88-90, 2022. ISSN: 0324-7627.
39. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: *Az Év Hala, a jászkeszeg.*
Honismeret. 49 (2), 108-110, 2021. ISSN: 0324-7627.
40. **Somogyi, D.**, Antal, L., Nyeste, K. J.: *Az Év Hala, a süllő.*
Honismeret. 48 (2), 96-98, 2020. ISSN: 0324-7627.
41. **Somogyi, D.**, Nyeste, K. J., Antal, L.: *Az Év Hala, a vörösszárnyú keszeg.*
Honismeret. 47 (2), 93-95, 2019. ISSN: 0324-7627.

Total IF of journals (all publications): 25,922

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 9

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

28 May, 2024

