



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Vágótok (*Acipenser gueldenstaedtii*) és kecsege (*Acipenser ruthenus*) fejlődésére és viselkedésére gyakorolt környezeti tényezők és etetési stratégiák hatásainak vizsgálata korai életszakaszokban.

Doktori (PhD) értekezés tézisei

FAZEKAS GEORGINA LEA

**Gödöllő
2025**

A doktori iskola

megnevezése: Agrár- és Élelmiszertudományok Doktori Iskola

tudományága: Állattenyésztési tudományok

vezetője: Prof. Dr. Kovács Melinda
egyetemi tanár, az MTA r. tagja

Témavezető: Dr. Uroš Rade Ljubobratović
tudományos főmunkatárs, PhD
MATE, Szent István Campus
Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
Akvakultúra-technológia Tudományos Osztály

Társ-témavezető: Prof. Dr. Müller Tamás
egyetemi tanár, MTA doktora
MATE, Szent István Campus
Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet
Halászatfejlesztési Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A társ-témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	5
2. Anyag és módszer.....	6
2.1. A kísérleti halak	6
2.2. Állománysűrűség vizsgálata a kecsge lárva (<i>A. ruthenus</i>) növekedésére és túlélésére – kísérleti rendszer és kísérleti beállítások	6
2.2.1. A kecsgelárva etetési ütemterve	6
2.3. Környezetgazdagítás hatása a kecsge lárva növekedésére, túlélésére és viselkedésére – kísérleti rendszer és kísérleti beállítások.....	7
2.3.1. Az eltérő nevelési körülmények között tartott kecsge takarmányozásának bemutatása.....	8
2.3.2. Környezetgazdagítás hatása kecsge ivadék viselkedésére	8
2.4. Eltérő takarmányozási protokollok használatának hatása vágótok növekedésére, túlélésére és viselkedésére - kísérleti rendszer és a kísérleti beállítások bemutatása	10
2.4.1. Kísérleti terv és a 2021-es vizsgálatban értékelt tényezők	10
2.4.2. Kísérleti terv és a 2022-es vizsgálatban értékelt tényezők	11
3. Eredmények és azok megbeszélése	13
3.1. A kecsge állománysűrűségének hatása a kecsge növekedésére és túlélésére	13
3.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsge termelési és etológiai mutatóra.....	16
3.2.1. A környezetgazdagítás hatása a kecsge növekedésére és túlélésére.....	16
3.2.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsge ivadék viselkedésére	18
3.3. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére, túlélésére és viselkedésére.....	20
3.3.1. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére és túlélésére 2021-ben	20
3.3.2. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére és túlélésére 2022-ben	23
3.3.3. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok viselkedésére 2022-ben	28
4. Következtetések és javaslatok	30
4.1. Kecsege állománysűrűségének hatása a növekedésre és túlélésre	30
4.2. Környezetgazdagítás (EE) hatása a kecsge növekedésére és viselkedésére ..	31
4.3. Eltérő takarmányozási stratégia és a környezetgazdagítás kombinációjának hatása a vágótok ivadék tenyésztéstechnikai paramétereire és viselkedésére	32
5. Új tudományos eredmények	37

6. Referenciák	38
7. Publikációk.....	47

1. Bevezetés és célkitűzések

Az akvakultúra a globális élelmiszertermelés legdinamikusabban fejlődő ágazata, mely nagy szerepet játszik a fenntartható fehérjetermelésben, valamint a természetes halpopulációkra nehezedő halászati nyomás mérséklésében (Boyd et al., 2022). A veszélyeztetett és nagy gazdasági jelentőséggel rendelkező fajok kontrollált körülmények között történő nevelése egyre nagyobb hangsúlyt kapnak, különös tekintettel azokra a fajokra, melyek populációi az antropogén hatások és környezeti változások miatt jelentősen csökkentek (Elhetawy et al., 2023).

A tokfélék (*Acipenseridae*) mind gazdasági, biológiai és ökológiai szempontból kiemelkedő jelentőséggel bírnak, ennek okán világszerte intenzív erőfeszítéseket tesznek állományaik fenntartható hasznosítása érdekében. Ugyanakkor korai életszakaszaikban mutatott érzékenységüknek köszönhetően, nevelésük optimalizálása elengedhetetlen.

A tokfélék populációinak többsége napjainkra eltűnt vagy számuk kritikusan lecsökkent, ezért többek között a vágótok (*Acipenser gueldenstaedtii*) és a kecsge (*Acipenser ruthenus*) is a tenyésztési és fajmegőrzési programok fókuszába kerültek. A vágótok elsősorban a természetvédelmi célú szaporítás és visszatelepítés révén, míg a kecsge az intenzív akvakultúra és horgász-célú hasznosítás miatt vált stratégiai fontosságú fajjává. A toktenyésztés sikere azonban nagyban függ a fejlődési szakaszok alatt alkalmazott környezeti és technológiai paraméterek finomhangolásától.

Munkám során célul tűztem ki, hogy meghatározzam a különböző állománysűrűségek hatását a kecsge növekedési és túlélési mutatóira a keléstől a tápraszoktatás befejezéséig. Továbbá, hogy meghatározzam, hogy a kavicsos aljzat, mint környezetgazdagítási forma milyen hatást gyakorol a kecsge ivadékok növekedésére, túlélésére és végül viselkedési mutatóira labirintustesztek alkalmazásán keresztül, különös hangsúlyt fektetve a szorongásszerű viselkedés és a felfedező magatartás vizsgálatára. Céлом volt továbbá megtalálni a termelési és visszatelepítési szempontból a leoptimálisabb takarmányozási stratégiát a vágótok lárva- és ivadéknevelése során, kombinálva azt a nevelő egységek környezetgazdagításának technikájával. Valamint megvizsgálni azok hatását a vágótok termelési mutatóira, illetve viselkedési mutatóira labirintuskészülék alkalmazásán keresztül.

2. Anyag és módszer

2.1. A kísérleti halak

A kutatásom során használt kecsge és vágótok anyahalak a MATE Halászati Kutató Központ saját állományának részét képezik. Az kísérletek során felhasznált lárvák és ivadékok intézetben belüli mesterséges szaporításból származtak.

2.2. Állománysűrűség vizsgálata a kecsge lárva (*A. ruthenus*) növekedésére és túlélésére – kísérleti rendszer és kísérleti beállítások

A kecsge anyahalak szaporítása a szezonális időszakban, 2020 áprilisának elején zajlott. Az állományból 12 tejes és 12 ikrás egyedeket választottunk ki. A termékenyített ikrákat $16,6 \pm 0,3$ °C-on inkubáltuk. A kelést követően a lárvák ($10,08 \pm 1,5$ mg és $9,53 \pm 0,5$ mm) egy közös kádba úsztak, ahonnan a kísérleti állományokat random választottuk ki és telepítettük a kísérleti rendszerbe. Három különböző állománysűrűséget vizsgáltunk kétszeres ismétlésben hat nevelőmedencében, melyek térfogata egyenként 250 liter volt. A kísérlet 30 napig tartott. A kiválasztott tenyésztési sűrűségek: Alacsony: 5 lárva/liter, Közepes: 10 lárva/liter és Magas: 20 lárva/liter voltak, amely 1250, 2500 és 5000 véletlenszerűen elhelyezett lárva jelentett nevelési egységként. A mintavételezés során ($n=5$; a 1., 8., 13., 23. és 30. napon) tartályonként 31 véletlenszerűen kiválasztott lárva teljes testhosszát és egyedi testtömegét is meghatároztuk. A kísérlet végén meghatároztuk a záró testtömeget és testhosszt, és azok variációs együtthatóját (CV_{BW} , %; CV_{TL} , %), a kondíció faktort (K), a túlélési arányt (S, %), napi elhullási arányt (%), a fajlagos növekedési arányt (SGR, %/nap) és a biomassa hozamot (FBG, g/l). A víz oldott oxigéntelítettségét ($101,1\% \pm 1,22\%$) és a víz hőmérsékletét ($18,1 \pm 0,4$ °C) naponta rögzítettük. A kémiai vízminőségi paramétereket — ammónium-nitrogén ($0,11 \pm 0,02$ mg/l), nitrit-nitrogén ($0,02 \pm 0,01$ mg/l), nitrát-nitrogén ($2,79 \pm 1,99$ mg/l) tartalmát és a pH-t ($8,33 \pm 0,13$) — hetente kétszer vizsgáltuk.

2.2.1. A kecsgelárva etetési ütemterve

A frissen kikelt lárvák az adott tenyésztési körülmények között körülbelül 7 napig kizárólag endogén táplálkozást folytattak. A kelést követő 8. naptól frissen kikelt *Artemia* sp. nauplius lárvákat és apróra vágott, fagyasztott vörös szúnyoglárva (*Chironomus* sp.) kínáltunk a teljes biomassa 100 %-ának megfelelő mennyiségben, kezdetben napi nyolc, majd napi hat alkalommal, a lárvák 12 napos koráig. A 13. naptól vegyes takarmányozást alkalmaztunk: fagyasztott szúnyoglárva és kereskedelemben forgalmazott tápot (Aller Futura Ex 0 gr, 0,3-0,6 mm és Aller Infa 0,4 mm) kaptak a lárvák, miközben a természetes táplálék arányát fokozatosan csökkentettük a száraz táp javára. A vegyes takarmányozási periódus 11 napig tartott (13–24. kelés utáni életnap (DPH)). A vegyes takarmányozás első négy napja során a testtömeg 5 %-ának megfelelő mennyiségű száraztápot és 50 % vörös szúnyoglárva adtunk. Ezt követően a száraztáp mennyiségét a testtömeg 10 %-ára emeltük, míg a szúnyoglárva mennyiségét naponta 5 %-kal csökkentettük. A 17. naptól a száraz takarmányt mechanikus etetőgéppel juttattuk be a nevelőkádakba, napi 18 órás etetési

intervallumban (reggel 9 órától hajnal 3 óráig). A 25. naptól kezdve a halakat kizárólag száraz táppal etettük a testtömeg 7 %-ának megfelelő mennyiségben, változatlan 18 órás időtartamban

Az adatok közötti statisztikai különbségek kimutatására egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztam. Az ANOVA feltételei minden vizsgált paraméter esetében teljesültek. Az állománysűrűség és a vizsgált paraméterek közötti kapcsolat meghatározására Pearson-féle korrelációt végeztem. Szignifikáns különbség esetén Tukey-féle post-hoc tesztet alkalmaztam.

2.3. Környezetgazdagítás hatása a kecsge lárva növekedésére, túlélésére és viselkedésére – kísérleti rendszer és kísérleti beállítások

A kísérletet 2021 tavaszán végeztük. A szaporításhoz 5 tejes és 6 ikrás anyahalat használtunk. A megtermékenyített ikrákat $16,3 \pm 0,2$ °C-os vízhőmérsékleten inkubáltuk. A kísérlethez négy kísérleti akváriumot (100 cm × 40 cm × 40 cm; 150 literes tenyésztési térfogattal) állítottunk fel egy hőszabályozott kísérleti helyiségben, ahol természetes fotoperiódust biztosítottunk a kísérlet teljes időtartama alatt, mely körülbelül 14 óra nappali megvilágítást és 10 óra sötétséget jelentett (14L:10D). Minden akváriumhoz külön egy 600 liter/óra teljesítményű külső szűrőt telepítettünk. Az elúszó lárvákat a kísérleti akváriumrendszerbe szállítottuk 23 napos előnevelésre. Betelepítéskor 31 véletlenszerűen kiválasztott lárva egyedsúlyát ($10,74 \pm 1,0$ mg) és teljes hosszát ($10,52 \pm 0,4$ mm) mértem le. Kétféle nevelési körülményt vizsgáltunk: kontrollt (CTRL) és környezetgazdagítottat (EE), a két csoportot 2-2 ismétléssel állítottuk be. Az EE-akváriumok teljes alapterületét 5 cm vastagon tisztított kavicssal borítottuk (fehér gyöngykavics 8-16 mm, SZAT P-4), míg a CTRL-egységek aljzat nélküli, hagyományos akvakultúrás környezetet biztosítottak. Az előnevelés során a kecsge lárvákat 6,6 lárva/liter sűrűségben helyeztük el az akváriumokban. A kémiai vízminőségi paramétereket hetente kétszer vizsgáltuk és átlagoltuk. A CTRL-kezelésben az ammónium-nitrogén $0,41 \pm 0,4$ mg/l, nitrit-nitrogén $0,12 \pm 0,0$ mg/l és nitrát-nitrogén $2,95 \pm 0,9$ mg/l, míg az EE-kezelésben az ammónium-nitrogén $0,22 \pm 0,1$ mg/l, nitrit-nitrogén $0,05 \pm 0,0$ mg/l, és a nitrát-nitrogén $2,43 \pm 0,7$ mg/l voltak. Az oxigéntelítettség CTRL-ben $92,2 \pm 3,8\%$, EE-ben $92,9 \pm 3,6\%$ volt; a vízhőmérséklet $18,7 \pm 1,1$ és $18,8 \pm 1,1$ °C, a pH pedig $8,1 \pm 0,1$ és $8,2 \pm 0,1$. A vízminőség fenntartása érdekében naponta három részleges vízcserét végeztünk a teljes víztömeg 25%-ának megfelelő mennyiségben. Az akváriumokat minden reggel és este tisztítottuk, az elhullott halakat eltávolítottuk, megszámoltuk és feljegyeztük. Ezentúl heti kétszeri rendszerességgel tisztítottuk az akvárium falát, a külső szűrők szivacsát és a csöveket.

Az előnevelést követően, a 23. kelés utáni életnapon (DPH) az azonos feltételek mellett nevelt állományokat összekevertük, majd a megfelelő kísérleti akváriumokba 272 véletlenszerűen kiválasztott halat telepítettünk vissza. Az induló testtömeg a CTRL-csoportban $0,08 \pm 0,0$ g, EE-csoportban $0,07 \pm 0,0$ g volt, a teljes testhossz pedig $27,4 \pm 0,9$ mm (CTRL) és $25,8 \pm 0,1$ mm (EE). A kísérlet további 44 napig tartott. A kísérlet során öt alkalommal végeztünk

ellenőrző méréseket (23., 30., 37., 51. és 64. DPH) a testtömegre és teljes testhosszra vonatkozólag. A mérésekhez 31 halat választottunk ki véletlenszerűen, mely egyedeket mérés előtt 0,4 ml/l koncentrációjú, 2-fenoxietanol vizes oldatában altattuk. A kísérlet során megmértük a kezdeti és záró testtömeget és teljes testhosszt, és azok variációs együtthatóját (CV_{BWi-f} , %; CV_{TLi-f} , %), meghatároztuk a kezdeti és záró kondíciós tényezőt (K_{i-f}), elhullási (%) és túlélési (%) arányt, halbiomassza gyarapodást (FBG, g/l), fajlagos növekedési rátát (SGR, %/nap) és a kannibalizmus (%) arányát.

2.3.1. Az eltérő nevelési körülmények között tartott kecsge takarmányozásának bemutatása

Az előnevelés során a halakat *Artemia* és vágott *Chironomus* lárvával etettük a testtömegük 50-50%-ának megfelelő mennyiségben naponta hat alkalommal a 16. kelés utáni életnapig, majd kizárólag vágott *Chironomus* lárvával takarmányoztuk az ivadékokat testtömegüknek megfelelő 50% mennyiségben napi négy alkalommal. A kísérleti fázisban a kelést követő 24–28. életnapon a halakat továbbra is napi négyszer etettük fagyasztott szúnyoglárvával, a testtömegük 50%-ának megfelelő mennyiségben. A 29. naptól a kísérlet végéig kétféle száraztáppal is takarmányoztuk a halakat: Larviva ProWean és Coppens Advance, míg a fagyasztott szúnyoglarva mennyiségét fokozatosan 10%-ra csökkentettük. A száraztáp mennyisége az összbiomassza 3%-át, míg a fagyasztott szúnyoglárváé 10%-át tette ki.

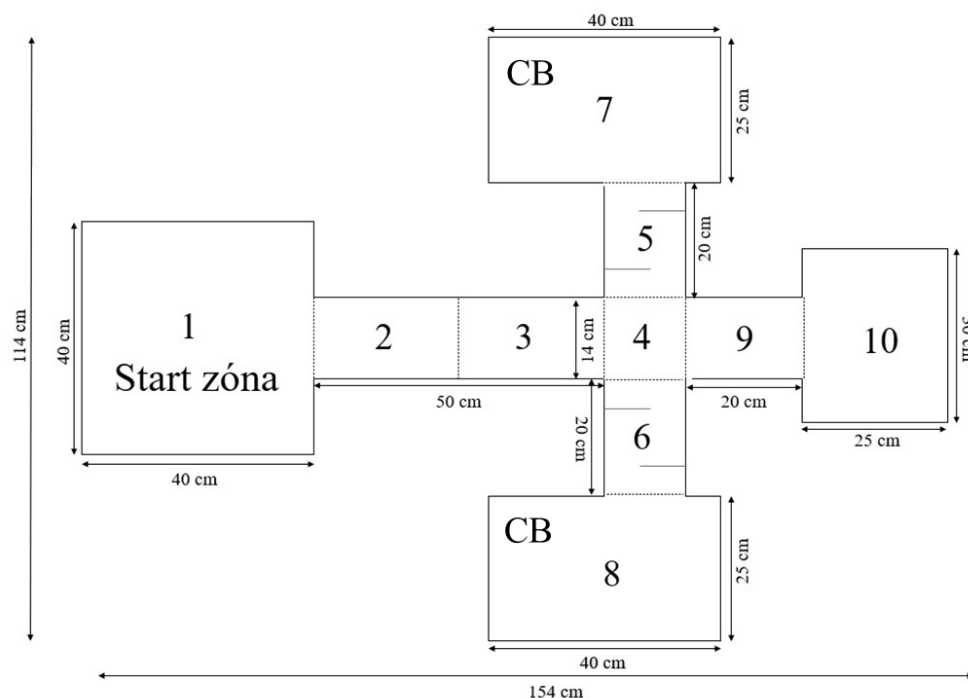
2.3.2. Környezetgazdagítás hatása kecsge ivadék viselkedésére

2.3.2.1. A labirintus és tesztprotokoll bemutatása

A viselkedési teszteket egy 5 mm vastag, átlátszó plexiüvegből készült, kereszt alakú labirintusban végeztem. A szerkezet egy négyzet alakú, 40 × 40 cm-es start zónából, amely akklimatizációs zónaként szolgált, valamint három kisebb, kereszt alakban elrendezett folyosó végén elhelyezkedő jutalmazó zónából állt. A jobb és bal oldali, nehezebben megközelíthető zónák (CB) felé vezető folyosókon két, egymással szemben eltolva, 8 cm hosszú, nem eltávolítható, elsötétített fal helyezkedett el, 5 cm távolságra egymástól. A folyosók szélessége 14 cm volt. A labirintus teljes hossza 154 cm, falmagassága 10 cm, a legszélesebb pontján pedig 114 cm volt. A vizsgálatok során a labirintus falait kívülről letakartam. A szerkezetet virtuálisan tíz rekeszre osztottam, amely megkönnyítette a videoanalízist (1. ábra).

Az első teszt során egy üres akváriumhoz hasonló, csupasz labirintust használtam (hagyományos labirintusteszt). A második teszt előtt az aljzatra kis méretű (1–2 cm) kavicsokat szórtam szét egyenletesen (kavics-labirintusteszt). A két tesztet két egymást követő héten végeztem. A viselkedési vizsgálatokhoz 13 halat választottam ki kezelésenként. A kiindulási start zónába helyezett halak tíz percet töltöttek a labirintusban, majd testtömegüket megmértem. Az egyes munkamenetek között a labirintus teljes vízmennyiségét lecseréltem. Minden tesztet videóra rögzítettem. A felfedező vagy keresőviselkedés kiváltása érdekében fagyasztott szúnyoglárvát (*Chironomus sp.*) szórtam azonos pontokra a labirintus

teljes területén, minden egyedi teszt előtt: három darabot minden jutalmazó zónába és egyet minden zóna közepére.



1. ábra. A kecsge (*A. ruthenus*) ivadékokon végzett hagyományos és kavics-labirintustesztekhez (a kelést követő 84., illetve 91. napon) használt keresztlabirintus kialakítása és mérete a rekeszek számával együtt.

2.3.2.2. A kecsge ivadék esetében vizsgált viselkedési változók bemutatása

A halak etológiai mutatóit vizuális megfigyeléssel határoztam meg, és előre megadott viselkedési változóként kódoltam. A „vakmerőség” és a „felderítő magatartás” értékeléséhez a különböző zónákban tett látogatások számát és az ott eltöltött időt mértem. A vizsgált változók a következők voltak: a kiindulási zónából való kilépés látenciaideje (LES [s]); a bal és jobb oldali, kihívást jelentő zónák (CB) látogatásainak száma; a tíz perc alatt meglátogatott zónák teljes száma (TNVZ); „kiszámíthatatlan mozgások” és „szokatlan úszásminták” (S – stressz [s]); „mozdulatlanságban eltöltött idő” (F – fagyás [s]).

Minden statisztikai elemzést az „R” (R Development Core Team, 2013) szoftver segítségével végeztem. Normáloszlás és megfelelő varianciák esetén kétmintás t-próbát végeztem az összehasonlítandó kezelések átlagainak vizsgálatára, eltérő eloszlás vagy variancia esetén pedig a Mann–Whitney-féle nemparaméteres próbát alkalmaztam. Khi-négyzet-analízist, valamint konfidenciaintervallum-átfedést (CI) végeztem, ahol indokolt volt és a különbségeket $p \leq 0,05$ szinten tekintettem szignifikánsnak.

2.4. Eltérő takarmányozási protokollok használatának hatása vágótok növekedésére, túlélésére és viselkedésére - kísérleti rendszer és a kísérleti beállítások bemutatása

A vágótokanyák indukált szaporítást 2021-ben Rónyai et al. (2009) 2 tejes és 3 ikrás egyed, 2022-ben pedig Ljubobratović et al. (2022) módszerei alapján végeztük 2 ikrás és 2 tejes anyahal felhasználásával. A termékenyítést követően az ikrákat $16,7 \pm 0,3$ °C (2021), illetve $15,6 \pm 0,2$ °C (2022) vízhőmérsékleten inkubáltuk. A kikelést követő első napon (DPH) a lárvákat áthelyeztük a kísérleti lárwanevelő rendszerbe, amely 8 db 250 liter térfogatú medencét foglalt magába. A fotoperiódust (16L:8D) minden tartály fölött LED-lámpák biztosították. Mindkét évben ugyanazt a lárvakeltető rendszert alkalmaztuk, medencénként 2500 lárva állománysűrűséggel. A víz oldotttoxigén-tartalmát és hőmérsékletét naponta mértem és regisztráltam. A kémiai vízminőségi paramétereket – ammónium-nitrogén-, nitrit-nitrogén- és nitrát-nitrogén-tartalom, valamint teljes lebegőanyag-tartalom – hetente kétszer, minden tartályban külön-külön vizsgáltuk. A kísérlet során a medencéket naponta tisztítottuk, az elhullásokat megszámloltuk és feljegyeztük.

2.4.1. Kísérleti terv és a 2021-es vizsgálatban értékelt tényezők

A vizsgált rögzített tényezők a következők voltak: *Artemia*-dúsítás (E/N; dúsított vagy nem dúsított), fagyasztott *Artemia* alkalmazása (F/L; fagyasztott vagy élő naupliusok), fagyasztott *Chironomus* alkalmazása (EChi/NChi; *Chironomus*-szal vagy *Chironomus* nélkül), valamint co-feeding (Co/W; vegyes takarmányozás az exogén táplálkozás kezdetétől vagy hagyományos tápraszkoltatás egy héttel később kereskedelmi granulált takarmány alkalmazásával). Az általam alkalmazott etetési ütemtervben résztvevő csoportok és jelöléseik:

1. Fagyasztott, nem dúsított *Artemia*; tápraszkoltatás 20 DPH-tól (F–N–NChi–W)
2. Élő, dúsított *Artemia*; tápraszkoltatás 20 DPH-tól (L–E–NChi–W)
3. Fagyasztott, nem dúsított *Artemia* és *Chironomus*; vegyes takarmányozás (F–N–EChi–Co)
4. Fagyasztott, dúsított *Artemia*; vegyes takarmányozás (F–E–NChi–Co)
5. Élő, nem dúsított *Artemia*; vegyes takarmányozás (L–N–NChi–Co)
6. Fagyasztott, dúsított *Artemia* és *Chironomus*; tápraszkoltatás 20 DPH-tól (F–E–EChi–W)
7. Élő, dúsított *Artemia* és *Chironomus*; vegyes takarmányozás (L–E–EChi–Co)
8. Élő, nem dúsított *Artemia* és *Chironomus*; tápraszkoltatás 20 DPH-tól (L–N–EChi–W)

Az első takarmányozási kísérlet 36 napig tartott. A medencék hőmérsékletét $16,9 \pm 0,05$ °C-on tartottuk. A kísérleti beállításnak megfelelő takarmányadagot a 11. kelést követő napon kínáltuk fel a toklárváknak. Ezt követően a halakat naponta hatszor, kézzel, hat egyenlő adagban etettük. Az etetési arányok a következők voltak: a kizárólag *Artemia*-val etetett csoportokban a halak testtömegének 50%-a; az *Artemia*- és *Chironomus*-t kapott csoportokban 25%-25%; a vegyesen

takarmányozott (*Artemia*, szúnyoglárva és kereskedelmi táp) csoportokban 12,5%-12,5%-2,5%; egyféle természetes táplálékot (*Artemia*) és kereskedelmi tápot kapott csoportokban 25%-2,5%, a 20. kelést követő napig.

A vegyes takarmányozás során a száraz tápot az exogén táplálkozás kezdetétől, a természetes táplálék 50%-ának helyettesítésével adagoltuk. Az élő és száraz takarmány mennyiségét a halak aktuális tömegéhez igazítottuk. A tápraszoktatást a 20–23. kelést követő napok között végeztük azokban a csoportokban, ahol nem kínáltunk vörös szúnyoglárvát. Ez idő alatt az élő és fagyasztott *Artemia* mennyiségét fokozatosan csökkentettük, miközben a száraz táp mennyiségét arányosan növeltük. A folyamat végén a halak biomasszájának 7%-át kitevő mennyiségű inert táppal helyettesítettük a természetes takarmányt, amelyet napi 15 órás periódusban etetőautomatával juttattunk be a nevelőmedencékbe. Azokban a csoportokban, ahol az exogén táplálkozás kezdetétől vörös szúnyoglárvát is kínáltunk, a tápraszoktatás egy héttel később, a 29. kelést követő napon fejeződött be.

2.4.2. Kísérleti terv és a 2022-es vizsgálatban értékelt tényezők

A rögzített tényezők a következők voltak: *Artemia*-dúsítás: dúsított (E) vagy nem dúsított (N); *Chironomus* alkalmazása az exogén etetés kezdetétől 11 DPH-nál (korai *Chironomus* – EChi) vagy egy héttel később, 19 DPH-tól (késői *Chironomus* – LChi); tápraszoktatás időpontja: korai (19 DPH – W) vagy késői (26 DPH – LW); környezetgazdagítás alkalmazása: gazdagított környezet (EE) vagy kontroll (CTRL). A második kísérletben vizsgált nyolc etetési kombináció a következő volt:

1. Dúsított *Artemia*; korai *Chironomus* alkalmazása; korai tápraszoktatás; hagyományos környezet (E–EChi–W–CTRL)
2. Nem dúsított *Artemia*; késői *Chironomus* alkalmazása; késői tápraszoktatás; kavicsokkal dúsított környezet (N–LChi–LW–EE)
3. Dúsított *Artemia*; késői *Chironomus* alkalmazása; korai tápraszoktatás; kavicsokkal dúsított környezet (E–LChi–W–EE)
4. Dúsított *Artemia*; korai *Chironomus* alkalmazása; késői tápraszoktatás; kavicsokkal dúsított környezet (E–EChi–LW–EE)
5. Nem dúsított *Artemia*; korai *Chironomus* alkalmazása; késői tápraszoktatás; hagyományos környezet (N–EChi–LW–CTRL)
6. Dúsított *Artemia*; késői *Chironomus* alkalmazása; késői tápraszoktatás; hagyományos környezet (E–LChi–LW–CTRL)
7. Nem dúsított *Artemia*; késői *Chironomus* alkalmazása; korai tápraszoktatás; hagyományos környezet (N–LChi–W–CTRL)
8. Nem dúsított *Artemia*; korai *Chironomus* alkalmazása; korai tápraszoktatás; kavicsokkal dúsított környezet (N–EChi–W–EE)

A második takarmányozási kísérlet 40 napig tartott. Ezt követően a halak további egy hónapot töltöttek egy recirkulációs akvakultúra-rendszerhez tartozó, nyolc, egyenként 1 m³ térfogatú kör alakú ivadéknevelő medencében. A lárwanevelő medencék alján körülbelül 2 cm vastagságban apró kavicsokat (fehér gyöngykavics 8-16 mm, SZAT P-4,) helyeztünk el. A medencék hőmérsékletét

16,9 ± 0 °C-on tartottuk 67 DPH-ig, majd a viselkedési tesztek megkezdése előtt (73 DPH) fokozatosan 19,3 ± 0 °C-ra emeltük. Az exogén táplálkozás kezdetétől (11 DPH) a lárvákat élő, nem dúsított vagy dúsított *Artemia*-val etettük a halak testtömegének 50%-ának megfelelő mennyiségben (LChi-csoportok), vagy *Artemia* és fagyasztott *Chironomus sp.* együttesével, 25–25%-os arányban (EChi-csoportok) a kelést követő 13. és 18. nap között. A 18. naptól a LChi-csoportokban az élő táplálék felét *Chironomus*-szal helyettesítettük, és a halakat a tápraszkoltatás végéig így takarmányoztuk. Az etetést naponta ötször, egyenlő adagokban, kézzel végeztük. A kelést követő 19. naptól a kezeléseket felében ('korai' tápraszkoltatott, W-csoportok) megkezdtuk a fokozatos tápraszkoltatást: a természetes takarmány 5%-át naponta kereskedelmi tápra cseréltük. Hét nap elteltével a száraz táp etetési aránya a teljes biomassza 7%-át érte el. Ezt követően a halakat Coppens Advance és Start Premium táppal etettük, automata szalagos etető segítségével. Az LW-csoportokban a tápraszkoltatást egy héttel később, a kelést követő 26. napon indítottuk el, és ugyanazt a protokollt követtük, mint a W-csoportokban. A kísérlet 40. napján a halakat áthelyeztük az ivadéknevelő rendszer 1 m³-es tartályaiba, ahol további egy hónapot töltöttek. A kádak automata etetőkkel voltak felszerelve.

Mindkét kísérlet során a lárvanevelő rendszerben öt-öt, 2022-ben az ivadéknevelő rendszerben további további négy ellenőrző mérést végeztük. Kezelésenként 31 lárvát teljes testhosszát és testtömegét lemértük. A mért adatok alapján mindkét kísérlet során következő tenyésztési mutatókat elemeztem: záró testtömeg (BW_f, g), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap (DPH); 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; záró teljes testhossz (TL_f, mm), 2021. évi kísérlet során 36. DPH; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; a testtömeg és testhossz záró variációs együtthatója (CV_{BW_f}, %; CV_{TL_f}, %) a 2021. évi kísérlet során 36. DPH; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; záró kondíciós tényező (K_f), (lásd 3.2.1. fejezet), 2021. évi kísérlet során 36. DPH; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; elhullás (%), 2021. évi kísérlet során 36. DPH; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; túlélés (%), 2021. évi kísérlet során 36. DPH; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; halbiomassza gyarapodás (FBG, g/l), 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; fajlagos növekedési ráta (SGR, %/nap), 2021. évi kísérlet során 36. DPH; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. DPH; kannibalizmus (%), amelyet a 2021. évi kísérlet során a 36. DPH; 2022. évi kísérlet során pedig a 66. DPH határoztuk meg.

2.4.2.1. A halak viselkedésére vonatkozó vizsgálatok és a viselkedési változók bemutatása

A viselkedési vizsgálatokat ugyanabban a keresztlabirintusban végeztem, ugyanazzal a vizsgálati protokollal, amelyet korábbi kutatásunkban használtam. Két különböző kialakítású labirintust alkalmaztam: egy csupasz, fizikai szerkezetektől mentes labirintust (hagyományos labirintusteszt), majd a labirintus alját apró kavicsokkal (1–2 cm) borítottam (kavics-labirintusteszt). A tesztet megelőző 24 órában minden csoportból öt halat szállítottam (10,6±3,4 g, 72-84 DPH) a viselkedésvizsgáló helyiség nyolc különálló akváriumába, két héten keresztül. Kezelésenként 19 halat vizsgáltam egyedileg, minden egyedet csak egyszer. A labirintus különböző pontjaira fagyasztott *Chironomus sp.* lárvákat

helyeztem. A tesztek befejeztével a halak testtömegét megmértem. A vizsgálat során az alábbi viselkedési változókat rögzítettem: táplálékfelvétel a 10 perces teszt-időszak alatt (FI); a startzónából való kilépéshez szükséges látenciaidő (LES); a zónaváltások, illetve meglátogatott zónák összesített száma (TNVZ); mozdulatlanságban eltöltött idő (FT) (lásd 2.3.2.2. fejezet 'F'); stresszhez kapcsolódó úszási viselkedés (S); a startzóna meglátogatásának száma (VS); a kihívást jelentő jutalom-zónák meglátogatásának száma (VC) (lásd 2.3.2.2. fejezet 'CB'); a labirintusban megtett távolság (DT).

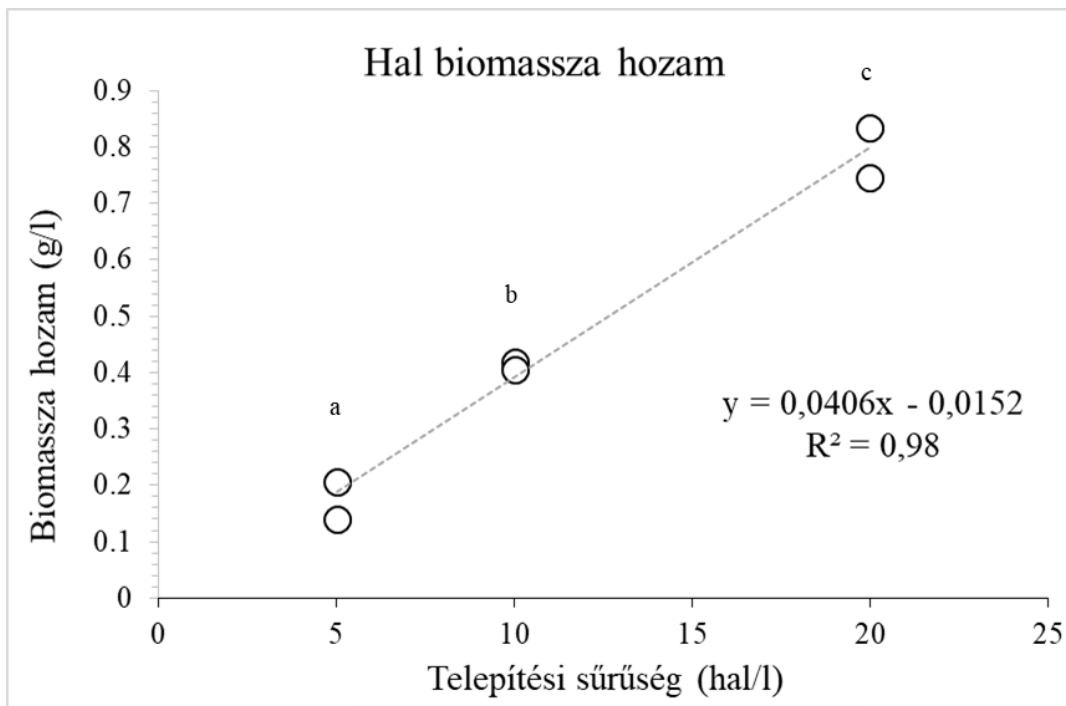
Az egyes halak által a viselkedési teszt során megtett távolság (DT) mérésére kifejlesztettük az Aegear nevű egyedi szoftvert, amely képes a vizuálisan komplex vízi környezetben lekövetni a halak mozgását (Ljubobratović, 2023). A meglévő eszközöktől, mint például az idtracker.ai - amelyek a pontos szegmentáláshoz egységes háttérre támaszkodnak - (Romero-Ferrero et al., 2019) eltérően az Aegear-t kifejezetten olyan heterogén felületeken való működésre terveztük, mint a kavicsos aljzat, ahol a háttér textúrái zavarják a standard követési algoritmusokat.

A részleges faktoriális modellt 8 (2^4-1) faktoriális kombináció alkotta (Gunst et al., 2009). A kísérleti kombinációkat az R szoftverben elérhető Planor csomag segítségével választottuk ki (Kobilinsky et al., 2012). A varianciahomogenitás feltételeit Levene-teszttel vizsgáltuk. Homogén varianciák esetén Tukey post-hoc tesztet, más esetben Kruskal-Wallis tesztet alkalmaztunk. A főhatásokat és kölcsönhatásokat mindkét kísérletben varianciaanalízissel (ANOVA) elemeztük, általános lineáris modell (GLM) alkalmazásával. A modell egy IV. típusú részleges faktoriális terven (2^4-1) alapult, amelyet az SPSS Statistics szoftverben futtattunk. A kombinációk rangsorolásához minden kísérleti beállításhoz egy összpontszámot számítottunk, amelyet az összesített z-értékek kumulatív értékéből származtatott ordinális skálán határoztunk meg (El Kertaoui et al., 2019). Az 1. kísérlet (36 DPH) és a 2. kísérlet (66 DPH) végén öt kimeneti változót választottunk ki a végső rangsoroláshoz, mint a tenyésztési teljesítmény mutatóit: végső testtömeg (BW_f); végső teljes testhossz (TL_f); végső testtömeg variációs együtthatója (CV_{BWf}); végső teljes testhossz variációs együtthatója (CV_{TLf}); túlélés (%).

3. Eredmények és azok megbeszélése

3.1. A kecsge állománysűrűségének hatása a kecsge növekedésére és túlélésére

A vizsgált csoportok között egyetlen statisztikailag igazolható ($p < 0,05$) különbség mutatkozott a növekedési paraméterek tekintetében, mégpedig a halak biomassa-gyarapodásában (ANOVA: $F_{2,3}=94,008$; $p=0,002$; 2. ábra). Minden nagyobb állománysűrűségű kezelés szignifikánsan igazolható (ANOVA, Tukey post-hoc teszt; $p < 0,05$), magasabb FBG-t (adott térfogati egységre eső halbiomassa) eredményezett. A Pearson-féle korrelációs elemzés nagyon erős összefüggést mutatott az FBG és az állománysűrűség között ($r=0,98$; $p < 0,001$, 2. ábra), míg más vizsgált paraméter esetén nem volt szignifikáns kapcsolat ($p > 0,05$, 1. táblázat).



2. ábra. A halak biomassa-gyarapodásának ábrázolása a kecsege három különböző állománysűrűségének függvényében a 30 napos kísérlet végén.

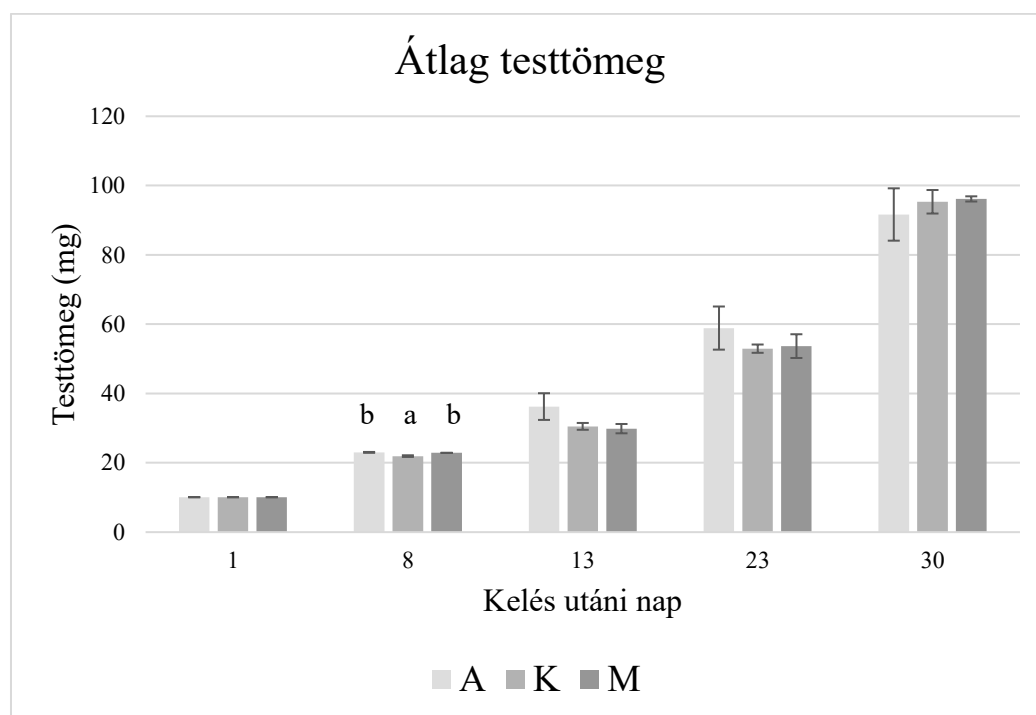
1. táblázat. Három különböző állománysűrűség hatása a 30 napos kecsege lárvák növekedésére és túlélésére. Az eredményeket átlag \pm szórás feltüntetésével jellemeztem.

Paraméter	A	K	M	Pearson's R érték	p-érték
BW _f (mg)	91.7 \pm 44.3	95.3 \pm 43.6	96.1 \pm 44.7	0.428	0.398
CV _{BW_f} (%)	70.0 \pm 0.3	29.2 \pm 0.0	58.6 \pm 0.2	-0.064	0.905
TL _f (mm)	26.5 \pm 3.6	26.9 \pm 3.5	26.7 \pm 3.8	0.088	0.869
CV _{TL_f} (%)	14.7 \pm 0.0	11.2 \pm 0.0	14.9 \pm 0.0	0.215	0.682
K _f	0.5 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1	0.777	0.690
Túlélés (%)	51.0 \pm 10.8	51.8 \pm 3.5	47.6 \pm 2.3	-0.296	0.569
FBG (g/l)	0.2 \pm 0.0 ^a	0.4 \pm 0.0 ^b	0.8 \pm 0.1 ^c	0.990	0.000
SGR (%/nap)	7.4 \pm 0.3	7.5 \pm 0.1	7.5 \pm 0.0	0.433	0.391

Az eltérő betűjelek szignifikánsan igazolható különbségeket jelölnek $p < 0,05$ szinten. Az egyes paraméterek és az állománysűrűség közötti kapcsolat a Pearson-féle korrelációs együttható (R) és a hozzá tartozó p-érték feltüntetésével került ábrázolásra. Rövidítések: BW_f, záró testtömeg; CV_{BW_f}, a záró testtömeg variációs együtthatója; TL_f, záró teljes testhossz; CV_{TL_f}, a záró teljes testhossz variációs együtthatója; K_f, záró kondíciós tényező; S, túlélés; FBG, a hal biomassa

gyarapodás; SGR, fajlagos növekedési ráta, A – alacsony telepítési sűrűségű csoport: 5 lárva/l; K - közepes telepítési sűrűségű csoport: 10 lárva/l; M - magas telepítési sűrűségű csoport: 20 lárva/l

A Tukey post-hoc teszt eredményei alapján a nevelés első három hete alatt az alacsony telepítési sűrűségű (A) csoportok tendenciaszerűen jobb növekedést mutattak, azonban csak a második mintavételi pontnál volt szignifikánsan igazolható különbség ($p < 0,05$, 3. ábra). A kísérlet végén az alacsony telepítési sűrűségű (A) csoportban mértünk a legkisebb átlagtömeget, mindazonáltal sem a csoportok közötti különbségek, sem az állománysűrűséggel való kapcsolat nem volt szignifikáns ($p > 0,05$).



3. ábra. A kecsge lárvák növekedése a 30 napos kísérlet során. Az eltérő betűjelek szignifikánsan igazolható különbségeket jelölnek $p < 0,05$ szinten. Rövidítések: A – alacsony telepítésű sűrűségű csoport: 5 lárva/l; K - közepes telepítésű sűrűségű csoport: 10 lárva/l; M - magas telepítésű sűrűségű csoport: 20 lárva/l

A napi elhullást vizsgálva a legnagyobb csúcsokat az exogén takarmányozásra való áttéréskor (9 DPH) és a tápraszkotatást követő időszakban (27 DPH) figyeltük meg. A különböző etetési időszakok elhullását összegezve az exogén táplálkozási szakaszban jelentős különbséget találtunk az egytényezős ANOVA ($F_{2,3}=15,524$; $p=0,026$) és a Pearson-féle korrelációs elemzés alapján is ($r=0,95$, $p=0,004$; 2. táblázat). A legmagasabb elhullási arányt a 20 lárva/l sűrűségű csoportban észleltük, amely szignifikánsan igazolható módon különbözött a legalacsonyabb telepítési sűrűségű csoport eredményeitől.

2. táblázat. A kumulatív elhullás százalékos aránya a különböző táplálkozási fázisokban a kecsge lárvák három különböző állománysűrűségénél. Az eredményeket átlag \pm szórás feltüntetésével jellemeztem.

Etetési időszak	Kelés utáni életnapok	A	K	M	Pearson's R érték	p-érték
endogén táplálkozás	1-7	2,36±2,2	0,82±0,5	0,98±0,2	-0,361	0,482
exogén táplálkozás	8-12	5,16±1,3 ^a	7,94±1,3 ^a	12,77±1,3 ^b	0,95	0,004
tápraszkztatás	13-23	19,68±1,9	16,24±1,2	20,01±0,3	0,235	0,654
tápraszkztatás után	24-30	16,48±5,3	17,4±2,3	12,76±2,9	-0,523	0,287

Az eltérő betűjelek szignifikánsan igazolható különbségeket jelölnek $p < 0,05$ szinten. Az egyes paraméterek és az állománysűrűség közötti kapcsolat a Pearson-féle korrelációs együtthatóval (R) és a megfelelő p-értékkel került jellemzésre. Rövidítések: A – alacsony telepítési sűrűségű csoport: 5 lárva/l; K – közepes telepítési sűrűségű csoport: 10 lárva/l; M – magas telepítési sűrűségű csoport: 20 lárva/l.

3.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsége termelési és etológiai mutatóra

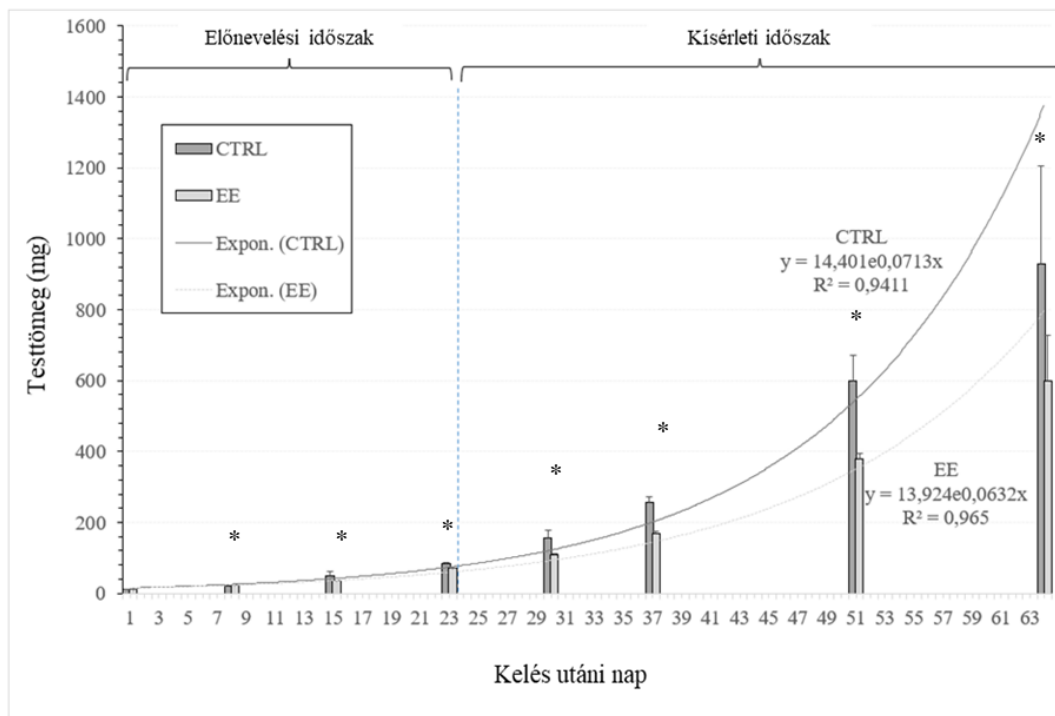
3.2.1. A környezetgazdagítás hatása a kecsége növekedésére és túlélésére

A környezetgazdagított körülmények között nevelt (EE) csoportban a halak testtömege szignifikánsan igazolhatóan (Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$) alacsonyabb volt (3. táblázat; 4. ábra), mint a hagyományosan nevelt (CTRL) csoporté. Szignifikánsan igazolható különbséget mutattunk ki a kezdő teljes testhossz TL_i ($27,4 \pm 0,9$ mm vs. $25,8 \pm 0,1$ mm; két mintás T-próba; $p < 0,05$) és a záró teljes testhossz TL_f ($59,1 \pm 5,9$ mm vs. $47,2 \pm 1,3$ mm; Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$) esetében is. Szignifikáns eltérés mutatkozott a végső testtömeg variációs együtthatójában ($79,0 \pm 10\%$ vs. $36,0 \pm 10\%$; CI: nincs átfedés) is, amely a CTRL csoportban magasabb értéket ért el. Az EE csoportban szignifikánsan magasabb túlélés ($72,2 \pm 2,9\%$ vs. $89,2 \pm 1,8\%$; χ^2 -teszt; $p < 0,001$) és alacsonyabb elhullás ($19,3 \pm 3,4\%$ vs. $5,3 \pm 1,3\%$; Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,001$) volt megfigyelhető (3. táblázat). Bár a kannibalizmus gyakoriságában a különbség nem érte el a statisztikai szignifikancia szintjét ($8,46 \pm 0,5\%$ vs. $5,51 \pm 0,5\%$; χ^2 -teszt; $p > 0,05$), a hagyományosan nevelt (CTRL) csoportban több potenciális kannibál egyed fordult elő.

3. táblázat. A környezetgazdagítás hatása a kecsege (*Acipenser ruthenus*) tenyésztéstechnikai paramétereire a kísérleti időszak alatt (23-64 nappal a kikelés után, DPH) hagyományos (CTRL) és környezetgazdagított (EE) környezeti körülmények között.

Paraméterek	Rövidítések	Kontroll csoport (CTRL)	Környezetgazdagított körülmények között nevelt csoport (EE)
Kezdő testtömeg	BW _i (g)	0,08 ± 0,0 ^b	0,07 ± 0,0 ^a
Kezdő testtömeg variációs együtthatója	CV _{BW_i} (%)	30,0 ± 2,1	21,9 ± 4,4
Kezdő testhossz	TL _i (mm)	27,4 ± 0,9 ^b	25,8 ± 0,1 ^a
Kezdő testhossz variációs együtthatója	CV _{TL_i} (%)	10,0 ± 0,0	7,0 ± 0,0
Záró testtömeg	BW _f (g)	0,9 ± 0,3 ^b	0,6 ± 0,1 ^a
Záró testtömeg variációs együtthatója	CV _{BW_f} (%)	56,5 ± 7,3 ^b	44,9 ± 0,7 ^a
Záró testhossz	TL _f (mm)	59,1 ± 5,9 ^b	47,2 ± 1,3 ^a
Záró testhossz variációs együtthatója	CV _{TL_f} (%)	22,0 ± 0,0	13,0 ± 0,0
Kezdő kondíciós faktor	K _i	0,4 ± 0,0	0,4 ± 0,0
Záró kondíciós faktor	K _f	0,5 ± 0,0	0,5 ± 0,0
Hal biomassa hozam	FBG (g/l)	1,0 ± 0,4	0,8 ± 0,2
Specifikus növekedési ráta	SGR (%/nap)	8,2 ± 1,1	7,4 ± 0,7
Elhullás (%)		19,3 ± 3,4 ^b	5,3 ± 1,3 ^a
Túlélés (%)		72,2 ± 2,9 ^a	89,2 ± 1,8 ^b
Kannibalizmus (%)		8,5 ± 0,5	5,5 ± 0,5

Az eltérő betűjelek szignifikánsan igazolható különbségeket jelölnek p<0,05 szinten.



4. ábra. A hagyományos (CTRL) és környezetgazdagított (EE) környezeti körülmények között nevelt kecsgeelárvák és ivadékok növekedése az előnevelési (1-23. kelés utáni életnap, DPH) és kísérleti időszak alatt (23-64 DPH).

3.2.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsge ivadék viselkedésére

A hagyományos labirintusteszt során a környezetgazdagított körülmények között nevelt (EE) csoport egyedei szignifikánsan kevesebb időt töltöttek stresszhez köthető viselkedés gyakorlásával ($165,2 \pm 144,1$ s vs. $55,4 \pm 102,6$ s; Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$). A szélső pozícióban elhelyezkedő, kihívást jelentő zónákat a hagyományosan nevelt (CTRL) csoport egyedei szignifikánsan ritkábban keresték fel az EE csoporthoz képest ($0,8 \pm 1,1$ vs. $3,2 \pm 3,4$; Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$). A hagyományos labirintustesztben részt vevő egyedek testtömege szignifikánsan nagyobb volt a CTRL csoportban (Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$). A hagyományos labirintusteszt eredményeihez hasonlóan a kavics-labirintustesztben is szignifikáns különbség mutatkozott a stresszhez köthető viselkedés időtartamában, a környezetgazdagított körülmények között nevelt csoportban tapasztalt rövidebb periódusokkal ($275,8 \pm 197,4$ s vs. $96,1 \pm 118,3$ s; Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$), míg a többi vizsgált változó esetében nem volt kimutatható szignifikáns eltérés (4. táblázat).

4. táblázat. A kecsge (*A. ruthenus*) ivadékkal végzett hagyományos labirintusteszt és a kavics-labirintusteszt eredményei. Az eltérő betűjelek szignifikánsan igazolható különbségeket jelölnek $p < 0,05$ szinten.

Változó (leírás)	Hagyományos labirintusteszt		Kavics-labirintusteszt	
	Kontroll csoport (CTRL)	Környezet gazdagítva nevelt csoport (EE)	Kontroll csoport (CTRL)	Környezet gazdagítva nevelt csoport (EE)
LES (s) – a start zónából való kilépés látenciaideje	93,0 ± 107,7	49,5 ± 60,2	216,5 ± 234,1	105,5 ± 78,6
FT (s) – mozdulatlanságban eltöltött idő	14,1 ± 35,8	47,2 ± 92,4	30,5 ± 64,6	2,2 ± 8,0
S (s) – stresszel összefüggő úszási viselkedés	165,2 ± 144,1 ^b	55,4 ± 102,6 ^a	275,8 ± 197,4 ^b	96,1 ± 118,3 ^a
TNVZ – a meglátogatott zónák száma	37,2 ± 23,0	35,5 ± 22,2	13,3 ± 12,3	19,5 ± 10,9
CB – kihívást jelentő zónák látogatása	0,8 ± 1,1 ^a	3,2 ± 3,4 ^b	0,7 ± 0,9	0,7 ± 0,8
BW84,92 (g) – testtömeg 84 és 92 DPH mellett	7.7 ± 3.1 ^a	3.9 ± 1.1 ^b	10.1 ± 4.4	7.4 ± 1.5

A viselkedési változók közötti összefüggések

A viselkedési változók közötti korrelációkat külön-külön vizsgáltuk a különböző labirintusteszt-típusokban és kezelési csoportokban. A nevelési környezetüktől eltérő tesztkörnyezetbe helyezett halaknál több változó között is kimutatható volt összefüggés. A hagyományos labirintusteszt során a hagyományosan nevelt (CTRL) csoport egyedei, amelyeknek hosszabb időbe telt elhagyni a start zónát, összességében kevesebb zónát látogattak meg; továbbá a meglátogatott zónák száma (TNVZ) pozitív korrelációt mutatott a testtömeggel ($r_s = 0,59$; $p < 0,05$). A környezetgazdagított körülmények között nevelt (EE) csoport egyedei gyakrabban keresték fel a kihívást jelentő zónákat (CB), amit a meglátogatott zónák száma és a jutalomzónák felkeresése közötti szignifikáns pozitív korreláció is alátámasztott. A CTRL csoporthoz hasonlóan az EE csoport testtömege is pozitív korrelációt mutatott a meglátogatott zónák számával,

valamint negatív összefüggést a mozdulatlanságban eltöltött idővel (F). A TNVZ negatívan korrelált a mozdulatlanságban eltöltött idővel és a stresszel összefüggő úszási viselkedéssel (S) is ($r_s = -0,59$; $p < 0,05$).

A kavics-labirintustesztben a CTRL csoport esetében a start zónából való kilépés látenciaideje (LES) negatív összefüggést mutatott a testtömeggel. Azok a CTRL csoportba tartozó halak, amelyek több időt töltöttek stresszhez kapcsolódó úszási viselkedéssel, kevesebb zónát látogattak meg a tesztidőszak alatt ($r_s = -0,660$; $p < 0,05$), és több ideig tartózkodtak a start zónában. Ezzel összhangban a TNVZ negatív korrelációt mutatott a mozdulatlanságban eltöltött idővel és a start zónából való kilépés látenciaidejével. A EE csoport esetében a testtömeg szintén pozitívan korrelált a meglátogatott zónák számával ($r_s = 0,62$; $p < 0,05$).

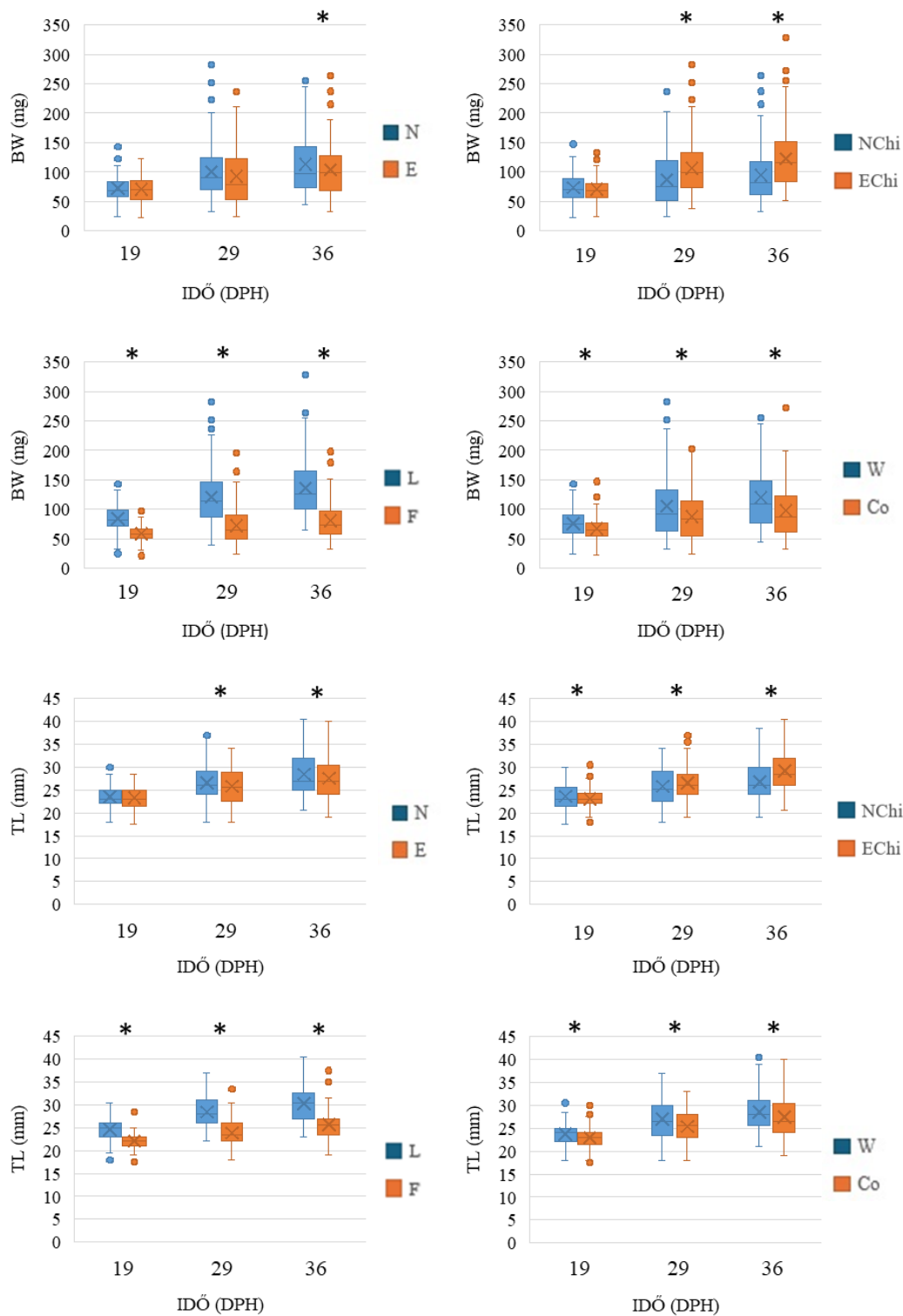
3.3. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére, túlélésére és viselkedésére

3.3.1. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére és túlélésére 2021-ben

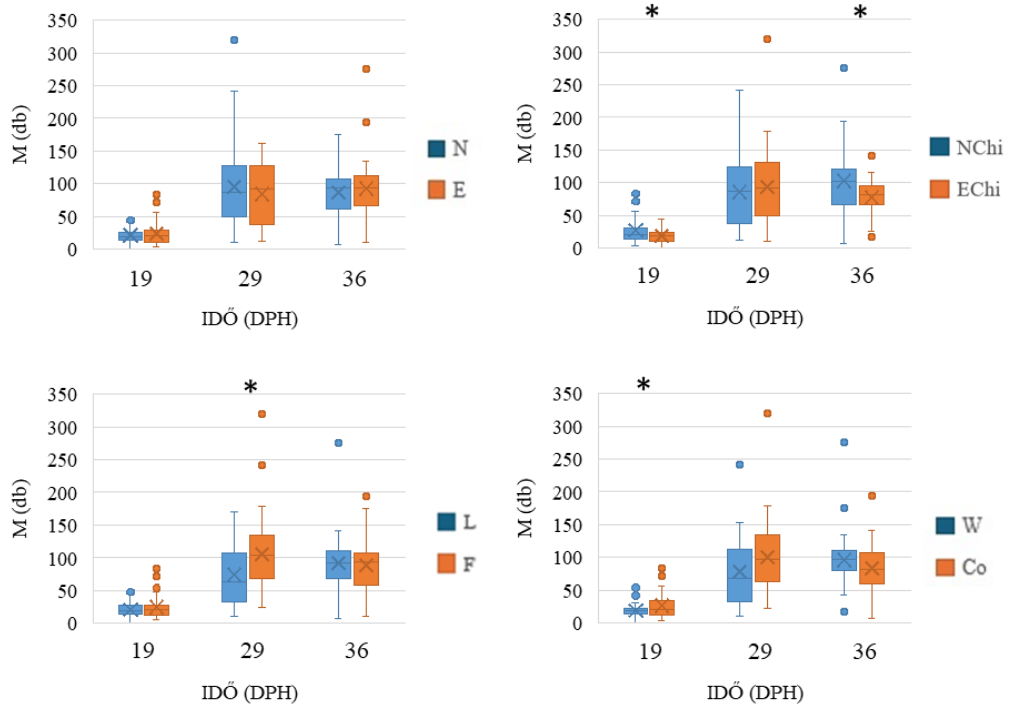
A különböző kezelési kombinációk hatását a növekedési, túlélési és kondíciós mutatókra az 5. táblázat mutatja be. Az általános lineáris modell, GLM statisztikai elemzés eredményei alapján az idő, mint faktor szignifikánsan befolyásolta az elhullás alakulását a kísérleti időszak alatt, azonban a növekedési mutatókra nem volt kimutatható statisztikai hatása. A főhatások a közül önmagában a fagyasztott *Artemia* alkalmazása (F) és a vegyes takarmányozás (Co) mutatott szignifikáns hatást a növekedési paraméterekre, azonban az elhullás mértékére nem. Továbbá, az idő függvényében a *Chironomus* exogén táplálkozás kezdetétől történő fogyasztása (EChi) és az F szignifikáns hatást gyakorolt a növekedési paraméterekre, valamint az F faktornak szignifikáns hatása volt az elhullás alakulására is. A testtömeg (BW) és a testhossz (TL) az exogén táplálkozástól kezdve *Chironomus*-t is fogyasztó (EChi) csoportokban magasabb, a fagyasztott *Artemia*-val etetett csoportokban (F) pedig alacsonyabb volt, minden mintavételi időpontban szignifikáns különbséget eredményezve (Kruskal-Wallis-teszt, $p < 0,005$). Emellett a vegyesen takarmányozott csoportban a vegyes takarmányozás és az idő kölcsönhatása nem volt statisztikailag szignifikáns, azonban megközelítette a szignifikanciát a testtömeg alakulásának tekintetében (GLM, $F_{(2,705)} = 2.812$; $p = 0,061$), mindhárom mintavételi időpontban szignifikáns különbséget eredményezve a csoportok között (Kruskal-Wallis-teszt, $p < 0,05$) (5. ábra). Az eredmények azt mutatták, hogy a F-csoport esetében az elhullás a második mintavételi időpontban (29 DPH, Kruskal-Wallis-teszt, $p < 0,05$) magasabb volt, mint az élő *Artemia*-val takarmányozott csoport (L). Továbbá a Co-csoportoknál az első mintavétel alkalmával magasabb elhullást tapasztaltunk (19 DPH, Kruskal-Wallis-teszt, $p < 0,05$), összehasonlítva azt a W-csoportok eredményeivel. A Chi-faktor az elhullás csökkenését mutatta alacsonyabb elhullási értékeket eredményezve a kísérlet elején és végén (19 és 36 DPH, Kruskal-Wallis-teszt, $p < 0,05$) a *Chironomus*-t fogyasztó csoportok esetében (6. ábra).

5. táblázat. A vágótok tenyésztéstechnikai paramétereinek eredményei az 1. takarmányozási kísérlet lárva-nevelési fázisának végén (36 DPH). Az eredményeket átlag ± szórás feltüntetésével jellemeztem. DPH, kelés utáni életnap.

Kombinációk/ Paraméterek	Rövidítés	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Artemia</i> dúsítás	E		+		+		+	+	
<i>Chironomus</i> alkalmazása	EChi			+			+	+	+
Fagyasztott <i>Artemia</i>	F	+		+	+		+		
Vegyes takarmányozás	Co			+	+	+		+	
végző testtömeg (g) a 36. nap az ivadék kikelése után	BW _f (g) 36 DPH	0,07 ± 0,0	0,13 ± 0,1	0,09 ± 0,0	0,06 ± 0,0	0,12 ± 0,0	0,10 ± 0,0	0,12 ± 0,0	0,17 ± 0,1
végző teljes testhossz (mm) a 36. nap az ivadék kikelése után	TL _f (mm) 36 DPH	24,52 ± 2,1	30,02 ± 3,9	27,47 ± 4,3	23,34 ± 2,3	29,37 ± 3,1	27,40 ± 2,4	29,40 ± 3,7	32,48 ± 3,9
végző testtömeg együtthatója (%)	CV _{BWf} (%)	26,41	37,91	38,68	33,06	30,12	25,64	35,85	31,07
végző teljes testhossz együtthatója (%)	CV _{TLf} (%)	8,37	13,05	15,73	9,75	10,59	8,60	12,58	11,85
kondíciós faktor a 36. nap az ivadék kikelése után	K 36 DPH	0,49 ± 0,1	0,48 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,44 ± 0,1	0,46 ± 0,1	0,50 ± 0,1	0,47 ± 0,1	0,50 ± 0,1
specifikus növekedési ráta a 36. nap az ivadék kikelése után	SGR 36 DPH	3,71	5,41	4,42	3,06	5,10	4,71	5,18	6,13
elhullás (%)	Elhullás (%)	89,50	74,82	90,88	93,85	79,11	74,55	74,79	64,81
túlélés (%)	Túlélés (%)	5,85	19,05	8,92	2,94	17,02	24,51	21,77	30,52
kannibalizmus (%)	Kannibalizmus (%)	5,76	6,84	1,29	4,40	4,87	1,85	4,46	5,44
standardizált érték	Z SCORE	-0,89	-0,21	-4,44	-3,89	1,54	2,94	0,18	4,76
összpontszám-rangsor	Összpontszám-rangsor	6	5	7	8	3	2	4	1



5. ábra. A vágótok növekedésének változása a rögzített tényezők függvényében az 1. kísérlet mintavételi pontjain. A szignifikáns különbségeket csillaggal jelöltem a felső indexben. Rövidítések: E, dúsitott *Artemia*; N, nem dúsitott *Artemia*; EChi, *Chironomus* etetés az exogén táplálkozás kezdetétől; NChi, nincs *Chironomus*; F, fagyasztott *Artemia*; L, élő *Artemia*; Co, vegyes takarmányozás; W, tápraszoktatás/nem vegyes takarmányozás.



6. ábra. A vágótok elhullásának változása a rögzített tényezők függvényében az 1. kísérlet mintavételi pontjain. A szignifikáns különbségeket csillaggal jelöltem a felső indexben. Rövidítések: E, dúsított *Artemia*; N, nem dúsított *Artemia*; EChi, *Chironomus* etetés az exogén táplálkozás kezdetétől; NChi, nincs *Chironomus*; F, fagyasztott *Artemia*; L, élő *Artemia*; Co, vegyes takarmányozás; W, tápraszoktatás/nem vegyes takarmányozás

3.3.2. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére és túlélésére 2022-ben

A különböző kezelési kombinációk hatását a növekedési, túlélési és kondíciós mutatókra az 6a. és 6b. táblázat mutatja be. A GLM statisztikai elemzés eredményei alapján az idő, mint faktor szignifikánsan befolyásolta a testtömeg (BW) és testhossz (TL) alakulását a lárvanevelés során, míg a főhatások önmagukban nem gyakoroltak szignifikáns hatást a növekedési és elhullási mutatókra. A *Chironomus* bevezetésének (korai-EChi / késői-LChi) és a tápraszoktatás megkezdésének időpontja (korai-W / késői-LW) – mint főhatások – az idővel összefüggésben szintén szignifikáns hatást gyakoroltak a BW és TL értékekre, míg a tápraszoktatás időpontja a növekedési mutatókon túl az elhullásra is szignifikáns hatással volt. Az exogén táplálkozás kezdetétől *Chironomus*-t fogyasztó (EChi) csoportok BW és TL -értékei magasabbak voltak (19., 26. és 39. kelés utáni életnapon (DPH), Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,005$) az egy héttel később *Chironomus*-t fogyasztó (LChi) csoporthoz képest, míg a 'korán' tápraszoktatott (W) csoportban kisebb BW volt megfigyelhető összehasonlítva azt a később tápraszoktatott (LW) csoport eredményeivel (26 és 33 DPH, Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,005$), mely különbség a lárvanevelési periódus végén (39. DPH) már nem volt mérhető. Emellett a W-csoportban az elhullás mértéke is nőtt a lárvanevelési szakasz során (33. és 39. DPH; Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$). Az EE-csoportban a 33. keléstől számított napon szignifikánsan alacsonyabb elhullást tapasztaltunk,

mint a CTRL-csoportban (Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$), míg a testméretre a környezetgazdagításnak nem volt kimutatható hatása.

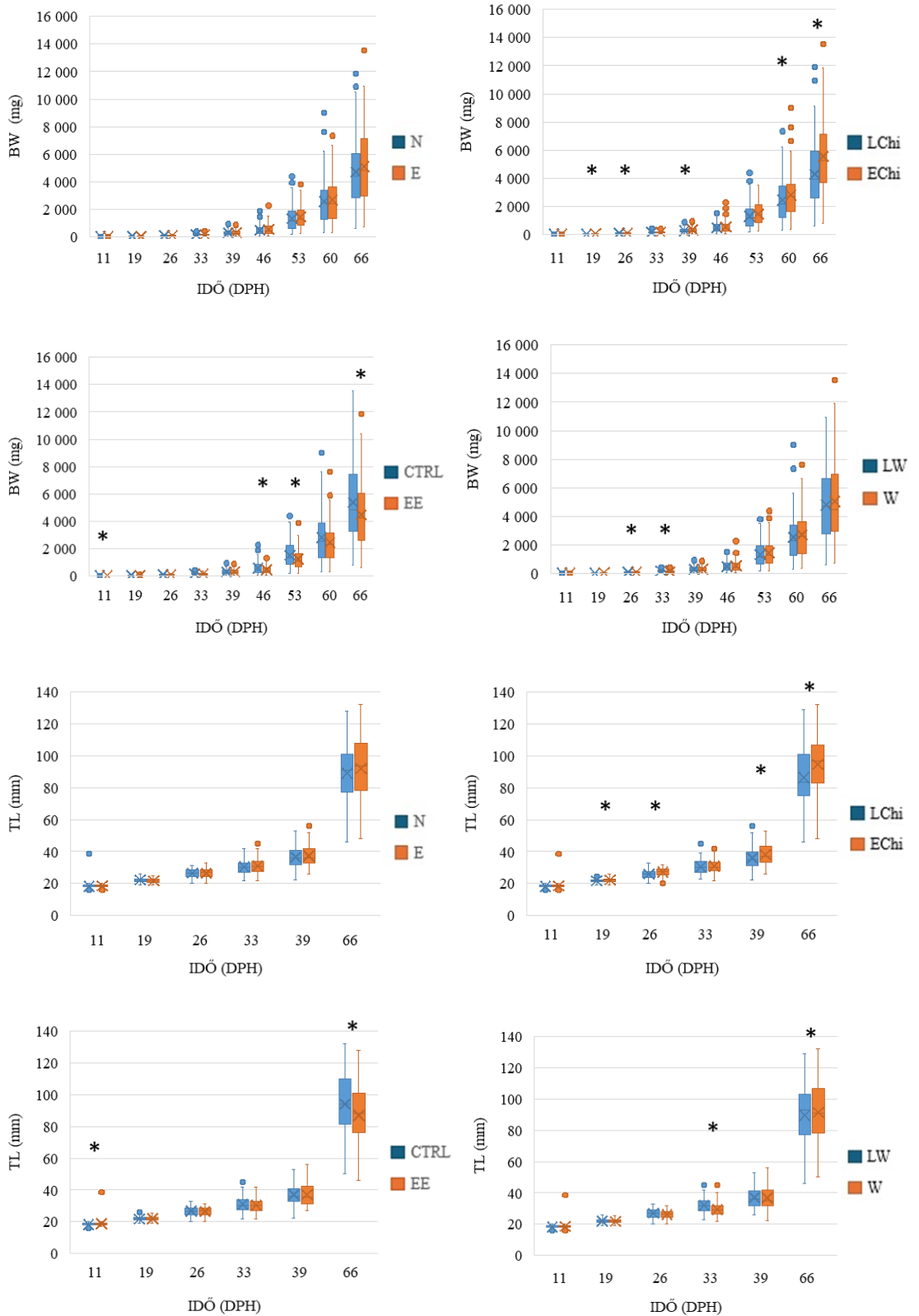
A teljes kísérleti időszakot – vagyis a lárvanevelést és az ivadéknevelést – figyelembe véve az idő faktor továbbra is szignifikáns hatással volt a növekedési mutatókra. A *Chironomus* bevezetésének időpontja mellett az EE is szignifikáns hatást gyakorolt a BW és a TL alakulására a teljes kísérleti időszakot vizsgálva. A *Chironomus* korai bevezetése az exogén etetés kezdetétől (EChi) a testméret növekedését eredményezte az ivadéknevelési fázis végén (BW 60, 66 DPH, TL, 66 DPH; Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$), míg az EE negatív hatást fejtett ki a BW-re, szignifikáns különbségeket okozva a 46., 53. és 66. DPH (Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$), valamint a TL-re a 66. DPH során (Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$). A tápraszkotatás időpontja a teljes nevelési időszak alatt szignifikáns hatással bírt az elhullásra, az ivadéknevelési fázis elején (46 DPH) azonban alacsonyabb elhullást eredményezett a W-csoportok esetében (Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$) (7. ábra, 8. ábra).

6a. táblázat. A vágótok tenyésztéstechnikai paramétereinek eredményei a 2. takarmányozási kísérlet lárwanevelési és ivadéknevelési fázisának végén (40 és 66 kelés utáni életnap (DPH)). Az eredményeket átlag \pm szórás feltüntetésével jellemeztem.

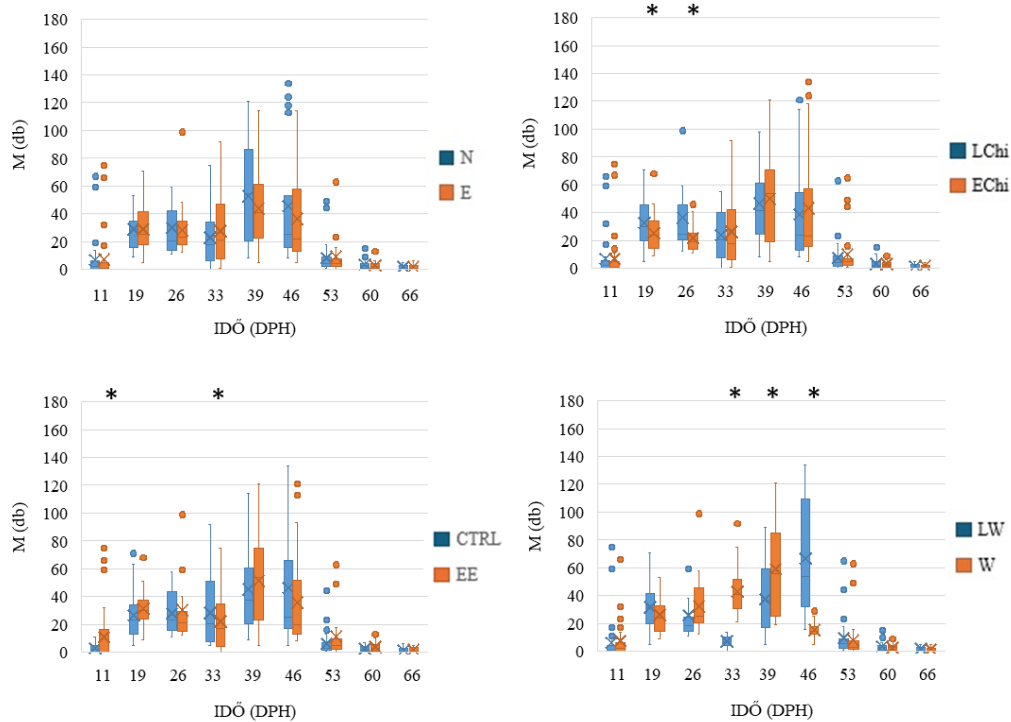
Teljes magyar név	Rövidítés	1	2	3	4	5	6	7	8
Artemia dúsítás	E	+		+	+		+		
Chi korai bevezetése (Chironomus lárva)	EChi	+			+	+			+
Környezetgazdagítás	EE		+	+	+				+
Tápraszoktatás (korai)	W	+		+				+	+
kezdő testtömeg (g)	BW _i (g) 1 DPH	0,016 \pm 0,0	0,016 \pm 0,0	0,016 \pm 0,0	0,016 \pm 0,0	0,016 \pm 0,0	0,016 \pm 0,0	0,016 \pm 0,0	0,016 \pm 0,0
kezdő teljes testhossz (mm)	TL _i (mm) 1 DPH	11,8 \pm 1,8	11,8 \pm 1,8	11,8 \pm 1,8	11,8 \pm 1,8	11,8 \pm 1,8	11,8 \pm 1,8	11,8 \pm 1,8	11,8 \pm 1,8
végző testtömeg (g) a 40. kelés utáni napon	BW _f 40 DPH (g)	0,30 \pm 0,2	0,22 \pm 0,1	0,33 \pm 0,2	0,30 \pm 0,1	0,37 \pm 0,2	0,32 \pm 0,1	0,27 \pm 0,1	0,38 \pm 0,2
végző testtömeg (g) a 66. kelés utáni napon	BW _f 66 DPH (g)	6,36 \pm 2,8	3,60 \pm 1,8	4,05 \pm 2,2	4,93 \pm 2,1	5,59 \pm 2,5	5,13 \pm 2,7	4,67 \pm 2,6	5,39 \pm 2,9
végző teljes testhossz (cm) a 40. kelés utáni napon	TL _f 40 DPH (cm)	3,68 \pm 0,6	3,40 \pm 0,5	3,73 \pm 0,8	3,76 \pm 0,5	3,95 \pm 0,6	3,72 \pm 0,5	3,45 \pm 0,6	3,85 \pm 0,6
végző teljes testhossz (cm) a 66. kelés utáni napon	TL _f 66 DPH (cm)	10,05 \pm 1,8	8,12 \pm 1,6	8,46 \pm 1,7	8,97 \pm 1,5	9,52 \pm 1,6	9,28 \pm 2,1	8,90 \pm 1,9	9,27 \pm 2,1
végző testtömeg együtthatója (%) a 40. napon	CV _{BW_f} 40 DPH (%)	54,24	55,92	64,87	43,94	52,90	42,13	48,23	44,74
végző teljes testhossz együtthatója (%) a 40. napon	CV _{TL_f} 40 DPH (%)	16,60	15,88	21,49	14,17	15,68	14,68	17,02	16,28
végző testtömeg együtthatója (%) a 66. napon	CV _{BW_f} 66 DPH (%)	44,35	49,43	54,24	41,60	44,92	53,20	55,52	53,63
végző teljes testhossz együtthatója (%) a 66. napon	CV _{TL_f} 66 DPH (%)	17,72	19,47	20,29	17,13	17,26	23,11	21,19	22,24

6b. táblázat. A vágótok tenyésztéstechnikai paramétereinek eredményei a 2. takarmányozási kísérlet lárwanevelési és ivadéknevelési fázisának végén (40 és 66 kelés utáni életnap (DPH)). Az eredményeket átlag ± szórás feltüntetésével jellemeztem.

Teljes magyar név	Rövidítés	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Artemia</i> dúsítás	E	+		+	+		+		
Chi korai bevezetése (<i>Chironomus</i> lárva)	EChi	+			+	+			+
Környezetgazdagítás	EE		+	+	+				+
Tápraszkotatás (korai)	W	+		+				+	+
kondíciós faktor a 66. napon	K 66 DPH	0,58 ± 0,1	0,63 ± 0,1	0,61 ± 0,1	0,64 ± 0,1	0,62 ± 0,1	0,59 ± 0,1	0,62 ± 0,1	0,63 ± 0,1
kondíciós faktor a 40. napon	K 40 DPH	0,55 ± 0,1	0,52 ± 0,1	0,56 ± 0,1	0,53 ± 0,1	0,55 ± 0,1	0,62 ± 0,3	0,61 ± 0,1	0,63 ± 0,1
specifikus növekedési ráta a 40. napon	SGR 40 DPH	7,33	6,59	7,57	7,31	7,84	7,51	7,07	7,89
specifikus növekedési ráta a 66. napon	SGR 66 DPH	9,07	8,21	8,38	8,68	8,87	8,74	8,60	8,82
fajlagos biomassza-gyarapodás a 40. napon	FBG 40 DPH	1,10	0,91	1,12	1,45	2,25	1,55	0,82	1,40
fajlagos biomassza-gyarapodás a 66. napon	FBG 66 DPH	3,49	1,51	1,93	3,10	3,87	3,10	2,21	2,84
elhullás (%) a 66. napon	Elhullás 66 DPH (%)	61,82	76,12	61,62	60,47	60,63	61,17	61,59	63,72
túlélés (%) a 40. napon	Túlélés 40 DPH (%)	44,44	50,36	40,84	57,33	69,19	55,94	38,12	43,91
túlélés (%) a 66. napon	Túlélés 66 DPH (%)	25,27	19,55	22,20	29,00	31,92	27,94	21,99	24,29
kannibalizmus (%)	Kannibalizmus (%)	12,91	4,33	16,18	10,53	7,45	10,89	16,42	11,99
standardizált érték a 66. napon	Z SCORE 66 DPH	3,81	-8,02	-8,23	6,09	9,51	1,95	-6,32	1,21
összpontszám-rangsor a 66. napon	Összpontszám-rangsor 66 DPH	3	7	8	2	1	4	6	5



6. ábra. A vágótok (*Acipenser gueldenstaedtii*) növekedésének változása a rögzített tényezők és az idő függvényében különböző mintavételi pontokon a 2. takarmányozási kísérlet teljes nevelési időszaka alatt. A szignifikáns különbségeket csillaggal jelöltem a felső indexben. Rövidítések: E, dúsított *Artemia*; N, nem dúsított *Artemia*; EChi, korai etetés *Chironomus*-szal az exogén etetés kezdetétől; LChi, késői etetés *Chironomus*-szal egy héttel később; W, tápraszkotatás; LW, késői tápraszkotatás; EE, környezetgazdagítás; CTRL, hagyományos környezet; BW, testtömeg; TL, teljes testhossz.



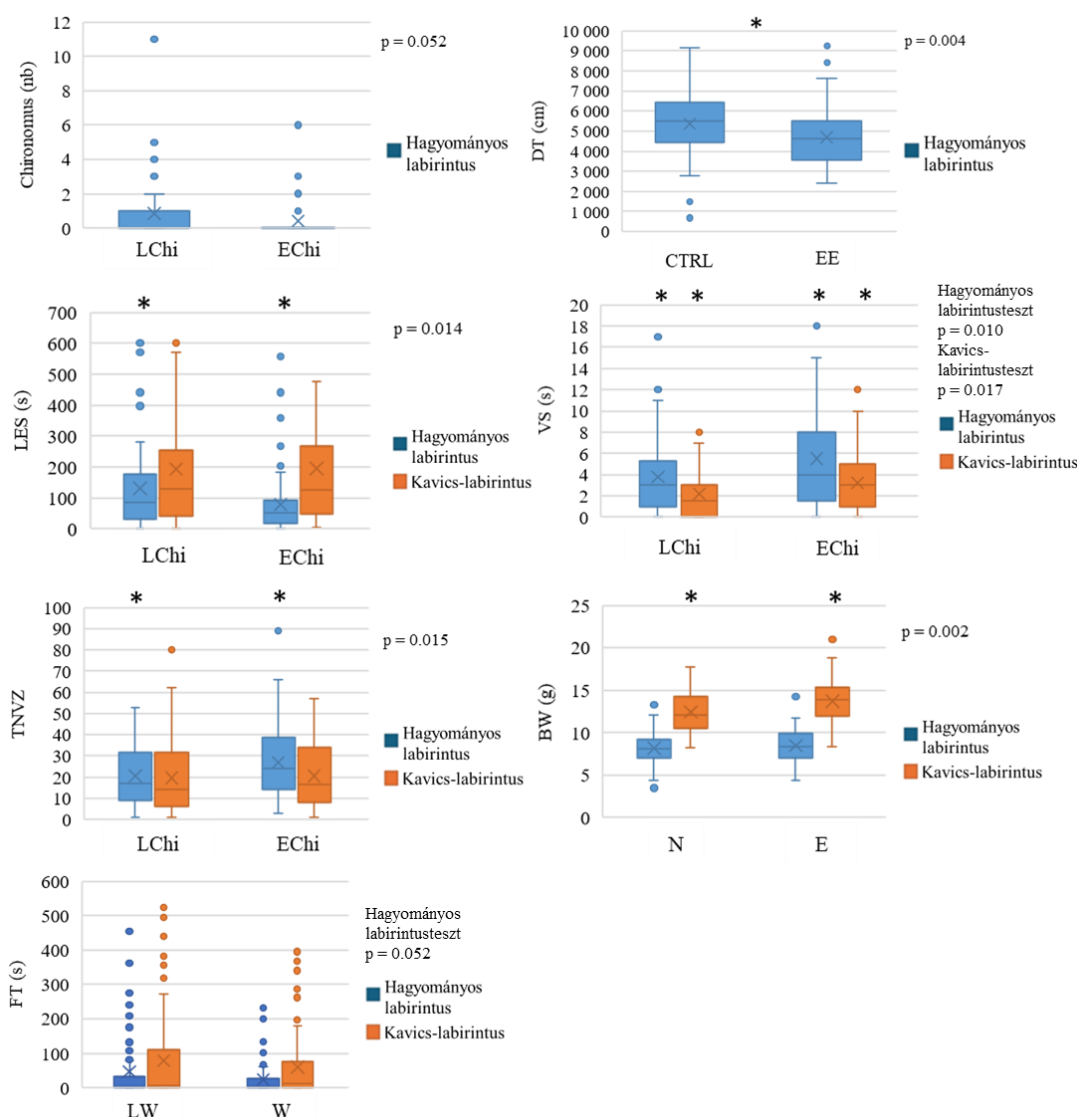
7. ábra. A vágótok (*Acipenser gueldenstaedtii*) elhullásának változása a rögzített tényezők és az idő függvényében különböző mintavételi pontokon a 2. takarmányozási kísérlet teljes nevelési időszaka alatt. A szignifikáns különbségeket csillaggal jelöltem a felső indexben. Rövidítések: E, dúsított *Artemia*; N, nem dúsított *Artemia*; EChi, korai etetés *Chironomus*-szal az exogén etetés kezdetétől; LChi, késői etetés *Chironomus*-szal egy héttel később; W, tápraszoktatás; LW, késői tápraszoktatás; EE, környezetgazdagítás; CTRL, hagyományos környezet; M, elhullás.

3.3.3. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok viselkedésére 2022-ben

A rögzített tényezőknek nem volt szignifikáns hatásuk a takarmányfelvételre (FI) a hagyományos labirintusteszt során, azonban a Chi hatása szignifikancia irányába mutató tendenciát jelzett (Kruskal-Wallis teszt, $p=0,052$), magasabb takarmányfelvételi értékekkel az LChi-csoportban. Az EChi-csoportban a hagyományos labirintusteszt során a LES értéke szignifikánsan alacsonyabb (Kruskal-Wallis teszt, $p<0,05$), míg a TNVZ értéke szignifikánsan magasabb (GLM, Tukey post-hoc teszt, $p<0,05$) volt. Ez a különbség a kavics-labirintusteszt során nem volt kimutatható.

A környezetgazdagítás nélkül nevelt halak szignifikánsan hosszabb utat tettek meg a hagyományos labirintusban, mint az EE-csoportok egyedei (Kruskal-Wallis teszt, $p<0,05$). A TNVZ értékei között azonban nem mutatkozott különbség, noha ez szintén az aktivitás megfelelő mutatójának tekinthető. A rögzített tényezők nem befolyásolták sem az FT-t, sem az S-t, azonban a W-csoport egyedei hajlamosak voltak kevesebb időt mozdulatlanul tölteni (Kruskal-Wallis teszt, $p=0,052$), mint a később tápraszoktatott csoportok. Az E (*Artemia* dúsítás) szignifikánsan magasabb testtömeget eredményezett a dúsított *Artemia*-t fogyasztó csoportok esetében a kavics-labirintusteszt eredményei alapján.

Mind a hagyományos, mind a kavics-labirintusteszt során a start zónába történő visszatérések száma (VS) szignifikánsan összefüggött az EChi fix tényezővel. Azok a halak, amelyeket az etetés első napjától kezdve *Chironomus*-szal is takarmányoztam, gyakrabban tértek vissza a start zónába, mint a többi csoport egyedei (hagyományos labirintusteszt: Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$; kavics-labirintusteszt: GLM, Tukey post-hoc teszt, $p < 0,05$). A rögzített tényezők nem gyakoroltak szignifikáns hatást sem a kihívást jelentő zónák látogatásának számára (VC), sem az S-re (12. ábra).



8. ábra. A vágótok ivadékok viselkedési mutatóinak összesített diagramjai a 2. kísérlet végén. A szignifikáns különbségeket csillaggal jelöltem a felső indexben. Rövidítések: E, dúsított Artemia; N, nem dúsított Artemia; EChi, korai etetés Chironomus-szal az exogén etetés kezdetétől; LChi, késői etetés Chironomus-szal egy héttel később; W, tápraszkotatás; LW, késői tápraszkotatás; D, száraz táp; EE, környezetgazdagítás; CTRL, hagyományos környezet; DT, megtett távolság; LES, a start zóna elhagyásáig eltelt látenciaidő; VS, a start zóna meglátogatásának száma; TNVZ, összesen meglátogatott zónák száma/zónaváltások száma; BW, testtömeg; FT, mozdulatlansággal töltött idő.

4. Következtetések és javaslatok

4.1. Kecsege állománysűrűségének hatása a növekedésre és túlélésre

A kísérletem eredményei azt mutatták, hogy az alkalmazott különböző állománysűrűség nem gyakorolt kimutatható hatást a kecsgeelárvák növekedésére. Ismert, hogy a magasabb állománysűrűség (kedvezőtlenül) befolyásolhatja a vízminőséget, a tenyésztett állatok élettani állapotát és jólétét, amely a teljesítményben, valamint a viselkedésben is megnyilvánulhat. Számos vizsgálat rámutatott arra, hogy a nagy állománysűrűség hosszú távon krónikus stresszforrásként hathat (Ellis et al., 2002; Montero et al., 1999), és növekedési sebesség csökkenő tendenciáját eredményezi halak sűrűségének növekedésével tokfajok esetében (Mohseni et al., 2000; Mohler et al., 2000; Oprea & Oprea, 2009; Ni et al., 2016; Naderi et al., 2017). A jelen vizsgálatban ilyen kedvezőtlen hatást mindössze az exogén táplálkozás kezdeti időszakában figyeltünk meg (3. ábra), később azonban a 20 lárva/liter állománysűrűség sem okozott elmaradást a növekedésben. Ebből következően ez a telepítési sűrűség megfelelőnek tekinthető a kecsgeelárvák kezdeti neveléséhez a kikeléstől 100 mg átlagos testtömeg eléréséig.

Az állománysűrűség a lárvák életképességét vagy megmaradását is befolyásolhatja. Több tokfajnál az endogén táplálkozási szakaszban a sűrűség nem korlátozta a szikzacskós lárvák túlélését (Bauman et al., 2015; Mohseni et al., 2000), ugyanakkor az exogén táplálkozás kezdetén az elhullás aránya emelkedett a nagyobb állománysűrűségű csoportokban (Mohseni et al., 2000). Vizsgálatunkban ugyancsak szoros összefüggést találtunk a sűrűség és az elhullás között ebben az életszakaszban, különösen a legnagyobb és a két alacsonyabb sűrűségű csoport összehasonlításakor (2. táblázat). Ezt a jelenséget a rendelkezésre álló tér csökkenése magyarázhatja, amely fokozott táplálékért folytatott versengést és agresszív viselkedést idézhet elő (Mohler et al., 2000; Mohseni et al., 2000; Oprea & Oprea, 2009).

A kísérlet végére a kezdetben gyengébb túlélést mutató csoportnál csökkenő elhullási tendencia volt megfigyelhető. Ez arra utal, hogy a kecsgeelárvák képesek alkalmazkodni az intenzívebb tartási körülményekhez, hasonlóan egyes más halfajokhoz, amelyeknél krónikus stressz esetén is kialakulhat adaptív fiziológiai válasz (Pickering & Stewart, 1984; Ruane et al., 2002).

Jelen vizsgálatban a magasabb állománysűrűség nagyobb biomassza-növekedéssel párosult. A kecsgeénél a nagyobb sűrűség alkalmazása indokolt lehet a biomassza-termelés fokozására. Korábbi adatok szerint a gyakorlatban a kecsgeelárvák telepítési sűrűsége többnyire 2,5–17 lárva/liter között mozog (Feledi & Rónyai, 2013b; Laczynska et al., 2020; Lundova et al., 2018; Rybníkář et al., 2011), azonban eredményeink arra utalnak, hogy a megfelelő körülmények között ennél nagyobb sűrűség is biztonságosan alkalmazható. Ez gazdasági szempontból is előnyös lehet, mivel növelheti a keltető- és nevelőrendszerek kapacitáskihasználtságát, ezáltal javítva a termelés gazdasági hatékonyságát.

Összefoglalva, a vizsgált körülmények között az állománysűrűség nem befolyásolta kedvezőtlenül sem a növekedést, sem a túlélést, és a 20 lárva/liter érték biztonsággal alkalmazható a kecsgeelárvák kezdeti neveléséhez 100 mg

átlagos testtömeg eléréséig. A jövőbeni kutatások egyik fontos iránya lehet a kecsgeelárva és ivadék intenzív tartási rendszerekben tapasztalható krónikus stresszorokhoz való alkalmazkodási képességének vizsgálata, valamint e folyamatok hosszú távú hatásainak feltárása a gazdasági hasznosítás és a természetvédelmi célú visszatelepítés szempontjából.

4.2. Környezetgazdagítás (EE) hatása a kecsge növekedésére és viselkedésére

A tokfélék visszatelepítési sikerét elsősorban a halak alkalmazkodóképessége határozza meg, amelyet jelentősen befolyásolhat a keltetőtelepek ingerszegény környezete (Cámara-Ruiz et al., 2019). Átfogó eredményeink szoros kapcsolatot mutatnak a kecsge növekedési teljesítménye és a nevelési környezet között. A térbeli heterogenitásnak kitett halak (EE-csoport) szignifikánsan kisebb tömeggel, de hasonló kondíciós értékekkel rendelkeztek, mint a kontroll csoport (CTRL, ingerszegény nevelési környezet). Ez az eredmény arra utal, hogy a heterogén környezet megnehezítette számukra a táplálékfelvételt nagyobb úszási aktivitást eredményezve ezzel az előnevelés és a kísérleti időszak során. Ezek az eredmények összhangban vannak más halfajokon végzett vizsgálatokkal (Braithwaite & Salvanes, 2005; Spence et al., 2011), ugyanakkor Boucher és munkatársai (2018) tanulmányában a kavicsos aljzaton nevelt fehér tok (*A. transmontanus*) lárvák szignifikánsan nagyobbak voltak, mint hagyományosan nevelt társaik. Jelen vizsgálatban az elhullás szignifikánsan alacsonyabb volt az EE-csoportokban, ami arra utal, hogy a kavicsok a kísérlet alatt menedéket nyújthattak a halak számára az esetleges kannibalisztikus viselkedéssel szemben (Näslund & Johnsson, 2016). Ugyanakkor, a tokfélék esetében a fizikai környezetgazdagításra adott válasz fajspecifikus lehet (Boucher et al., 2014; Carrera-García et al., 2016).

Bár mindkét csoportban megfigyelhető volt a szorongásszerű úszási viselkedés a tesztek során, az EE-csoport egyedei kevésbé mutattak szokatlan úszási mintázatokat, beleértve a „kiszámíthatatlan” és „frusztráció okozta” sztereotip mozgásokat (Mason et al., 2007). Ennek hátterében feltételezhetően az áll, hogy a környezetgazdagítás csökkentheti a stresszválaszt, fokozhatja a stresszel való megküzdés képességét és serkentheti a felfedező viselkedést (Fox et al., 2006; Alnes et al., 2021), mely tulajdonságok a vadonban előnyösek lehetnek (Krause et al., 1998).

A hagyományos labirintusteszt során a környezetgazdagított körülmények között nevelt halak gyakrabban látogatták meg mindkét úgynevezett „kihívást jelentő zónát”. A felfedező viselkedés fizikai környezetgazdagítással fokozható, és ezzel párhuzamosan csökkenthető az újdonságra adott neofób-, újdonságtól való félelmet mutató vagy újdonságkerülő válasz (Brydges & Braithwaite, 2009; Tatemoto et al., 2021; Gatto et al., 2022). Az újszerű, egyszerű környezet (mint a hagyományos labirintus) felfedezésére való nagyobb hajlandóság másik magyarázata a fokozott menedékkereső viselkedéssel hozható összefüggésbe (Braithwaite & Salvanes, 2005), amely a heterogén környezetben nem volt megfigyelhető (Kynard et al., 2013). Másrészt egyik tesztben sem találtunk különbséget a csoportok között a start zóna elhagyásához szükséges látenciaidő hosszát tekintve, amely a merészség és a felfedező viselkedés gyakran használt mutatója (Colchen et al., 2017; Alnes et al., 2021). Egyes tanulmányok szerint a

látenciaidő inkább a tesztben való részvételre és az újdonság felfedezésére irányuló motivációt jelzi, mintsem a merészséget vagy a felfedező hajlandóságot (Bergendahl et al., 2016; Carbia & Brown, 2019). Vizsgálatunkban a start zónát korábban elhagyó CTRL-egyedek kevésbé mutattak stresszel összefüggő úszási viselkedést. A halak új terület felfedezésére irányuló motivációjának pontos oka kontextus- és fajfüggő, ezért gyakran nehéz egyértelműen meghatározni (Braithwaite & Salvanes, 2005; Roberts et al., 2011; Carbia & Brown, 2019). A megfelelő környezetgazdagítási stratégia biztosítása a nevelési időszak során előnyös lehet a kockázatvállaló magatartás kialakulása szempontjából (Lee & Berejikian, 2008). Így az EE-csoportból származó kecsgeivadékok motiváltabbnak tekinthetők az új környezet felfedezésére, mint a hagyományosan nevelt fajtársaik, ami előnyös lehet a természetes vizekbe való visszatelepítés során.

A hagyományos labirintusteszt során az átlagtömeget tekintve a CTRL-egyedek szignifikánsan nagyobbak voltak, mint az EE-halak a, de ez a különbség a kavics-labirintustesztben már nem volt kimutatható. Mindkét teszt és kezelés esetében a testtömeg pozitívan korrelált a zónaváltások számával, amely az aktivitás jó mutatója. Millot és munkatársai (2009) szerint a nagyobb testmretű halak a keltetőházi szelekció hatására vakmerőbb személyiség jeggyel és jobb környezeti alkalmazkodóképességgel rendelkezhetnek, mint a vadon fogott szülők keltetőházi utódai. Jelen vizsgálatunkban hasonló mintázatok voltak megfigyelhetők a két labirintusteszt kezelési csoportjain belüli korrelációk alapján. Ugyanakkor, bár az EE-csoport halai szignifikánsan kisebbek voltak, aktivitásukban nem mutatkozott különbség a CTRL-csoportéhoz képest. Eredményeink egybevágóak Braithwaite és Salvanes (2005) megállapításaival, miszerint a heterogén környezetben nevelt halak bátrabbak voltak, mint a hagyományosan nevelt, nagyobb testmretű társaik. A jelen vizsgálatban a kezeléseken belül a testméret nagyobb hatással volt a viselkedésre, míg a két kezelés között inkább a környezeti dúsítás befolyásolta a viselkedést, nem pedig a kecsge testmérete.

Összefoglalva, eredményeink arra utalnak, hogy ha a kecsgeket a korai nevelés során heterogén környezetnek tesszük ki, az elősegítheti a stresszel való megküzdést és fokozhatja a felfedező magatartást. Ezek a tulajdonságok létfontosságúak lehetnek az azonnali túléléshez és a természetes vizekben való hosszú távú, szabadon engedést követő sikerhez. A környezetgazdagított nevelési körülmények közül származó halak csökkent stresszreakciója, azonos kondíciós tényezője, jobb túlélése és alacsonyabb elhullási aránya arra utal, hogy a megfelelő környezetgazdagítás alkalmazása növelheti a kecsgeivadékok általános jólétét.

4.3. Eltérő takarmányozási stratégia és a környezetgazdagítás kombinációjának hatása a vágótok ivadék tenyésztéstechnikai paramétereire és viselkedésére

A környezetgazdagított körülmények között nevelt halak által megtett rövidebb út, ugyanakkor a zónaváltások azonos száma a halak alacsonyabb úszási sebességével magyarázható, amely nagyobb felfedező viselkedésre (Pasquet et al., 2016), valamint az alacsonyabb félelemválaszra vagy a nagyobb

biztonságérzetre utalhat (Amichaud et al., 2024). A környezet fizikai heterogenitásának növelése bizonyítottan ösztönzi a természetes viselkedést és csökkenti a halak félelemválaszát (Collymore et al., 2015; Brunet et al., 2022). A viselkedési vizsgálat során végzett megfigyelések arra utalnak, hogy a megfelelő időben alkalmazott, megfelelő környezetgazdagítási stratégia hosszú távú hatásokkal járhat a halak nevelése során.

A heterogén nevelési környezet a vágótok testméretét az endogén táplálkozási és az ivadékfázisban is befolyásolta, de a lárvanevelés során nem. Az endogén táplálkozási fázis végére az EE-csoport halai nagyobb testtömeggel és testhosszal rendelkeztek, ugyanakkor magasabb elhullást mutattak a kavicsos aljzat nélkül nevelt csoportokhoz képest. Az EE-kombinációkból származó méretnövekedés a nagyobb szikanyag-felszívódási hatékonysággal magyarázható (Boucher et al., 2014). Ugyanakkor, a halak gyenge úszóképessége miatt ebben a fejlődési fázisban a lárvák mozgása egyes egyedeknél akadályozott lehetett, ami magasabb elhulláshoz vezetett a kavicsdúsítva nevelt csoportokban. Az exogén táplálkozás kezdetétől a környezetgazdagítás jelenléte csökkentette az elhullást. Az EE enyhítheti a halak agresszióját és a stresszt a nevelőmedencében, és hozzájárulhat az állatok stresszel való megküzdési képességéhez, ezáltal növelve a fiatal egyedek túlélési arányát (Näslund & Johnsson, 2016; Arechavala-Lopez et al., 2022; Zhang et al., 2024). A későbbiekben a környezetgazdagításnak a növekedésre gyakorolt hatása csak a hagyományos ivadéknevelés során (46–66 DPH) mutatkozott meg, ahol kavics aljzat hiányában az EE-kombinációkban kisebb testmérettel rendelkező halak voltak megfigyelhetők. Az ivadéknevelés során tapasztalt méretkülönbség annak a következménye lehet, hogy a halak kiszorultak abból a heterogén környezetből, amelyhez a lárvanevelés során hozzászoktak. Ez az esemény elkerülhetetlenül stresszel járt a halak számára, annak ellenére, hogy az új környezetben a táplálékhoz való hozzáférésük már akadálytalan volt. A stressz jelentősen befolyásolhatja a halak növekedését, mivel az energiaráfordítás átcsoportosítását eredményezi a növekedési folyamatoktól a stresszel való megküzdés élettani folyamatainak irányába (McCormick et al., 1998; Sadoul & Vijayan, 2016). A szállítást követő ötödik hétre a méretkülönbség eltűnt.

A környezetgazdagítás hatása az életszakasztól és alkalmazásának időtartamától függően változhat (Amichaud et al., 2024). A jelen kísérletben a környezetgazdagítás növekedésre gyakorolt pozitív hatását az ivadéknevelés során a hagyományos nevelésre való áttérés miatt nem tudtuk teljes mértékben kimutatni. Ezért további kutatások elvégzése javasolt a hosszútávú környezetgazdagítás vágótok fejlődésére és stresszreakcióira gyakorolt hatásainak feltárása érdekében.

A fagyasztott *Artemia* használata a vágótok lárvák és ivadékok növekedési és túlélési mutatóit is negatívan befolyásolta. Ez a megállapítás összhangban van más tokfajokon végzett korábbi vizsgálatokkal (Mohler et al., 2000; Valentine et al., 2017; Piotrowska et al., 2021), melynek háttérében a halak aktívan mozgó zsákmány iránti preferenciája állhat (Efatpanah et al., 2024), illetve, hogy a fagyasztott *Artemia* tápanyagtartalma kedvezőtlenül befolyásolta táplálékfelvétel hatékonyságát (Grabner et al., 1981; Sharma & Chakrabarti, 2009).

Másrészt az esszenciális zsírsavakkal és vitaminokkal dúsított élő *Artemia* fogyasztásának hatását csak hosszútávon tudtuk kimutatni a dúsított *Artemia*-val

etetett halak nagyobb testtömegértékein keresztül (79–84 DPH, $p < 0,005$). Hasonló eredmény volt megfigyelhető tavi toknál (*A. fulvescens*) is (Yoon et al., 2022). Köztudott, hogy a korai táplálkozás hatással lehet a későbbi tápanyag-anyagcserére (Hales & Barker, 1992; Gluckman & Hanson, 2004), és feltételezhető, hogy a bélrendszer fejlődésének kritikus időablaka a halaknál az exogén táplálkozás kezdetére esik. A zsírsavak elérhetősége tartós hatást gyakorolhat az anyagcserére, a növekedésre és az idegrendszer fejlődésére (Sargent et al., 1999a, 1999b; Kabaran & Besler, 2015), ezáltal az emésztőrendszer idegrendszerének fejlődésén keresztül közvetve befolyásolhatja az emésztési funkciókat (Heuckeroth & Schäfer, 2016). Eredményeinkkel ellentétben a dúsított *Artemia* kedvező hatását mutatták ki más tokfajok rövidtávú növekedésére (Jalali et al., 2008; Hafezieh et al., 2009; Kamaszewski et al., 2014a). Ezért az *Artemia* dúsítása a vágótok növekedésére gyakorolt hosszú távú pozitív hatása miatt ajánlott, míg fagyasztott formában történő alkalmazása mellőzendő.

Eredményeink arra utalnak, hogy az exogén táplálkozás kezdetétől *Chironomus*-t fogyasztó (EChi) halak nagyobb motivációval rendelkeztek az új terület felfedezésének tekintetében, ugyanakkor kevésbé érdeklődtek a táplálék iránt. Az általános felfogás szerint a táplálékfelvétel csökkenése a halak stresszre adott jellegzetes viselkedési válasza (Schreck et al., 1997; Bonga, 1997). Mindazonáltal kísérletünkben az EChi-halak a labirintusteszt során valószínűleg inkább a felfedezésre, mint a táplálkozásra fordították energiájukat. A felderítő viselkedés szerepe túlmutathat a táplálékszerzési motiváción, vezérelheti kíváncsiság, a menekülési útvonal keresése vagy az ismerős környezet megtalálásának igénye is (Suarez & Gallup, 1985). Ezt a viselkedésmódot több szerző is önjutalmazónak tekinti, mivel elősegíti a környezet kiszámíthatóságának megértését és az afölötti kontroll érzésének kialakulását (Westerath et al., 2009). Ez magyarázhatja azt is, hogy a halak hajlamosak voltak ismételtén visszatérni az akklimatizációs zónába, amely biztonságérzetet és/vagy a környezetük feletti kontroll-érzetet nyújthatott számukra, ezáltal pozitív affektív állapotot (kedvező érzelmi állapotot) idézve elő, amely javíthatja a halfajok térbeli tanulási képességet (Brunet et al., 2022). Azonban a korai *Chironomus* alkalmazásának hatása a későbbi viselkedésre továbbra sem tisztázott. A halak tápláltsági állapota a korai ontogenezis során döntő fontosságú a halak későbbi teljesítményét illetően, azonban a tápanyagszükséglet késleltetett biztosítása nem képes kompenzálni annak korábbi hiányát (Fuiman & Ojanguran, 2011). A *Chironomus* magas esszenciális tápanyagtartalma (Bogut et al., 2007, Kamler et al., 2008) az *Artemia*-ban található tápanyagokkal kombinálva fokozhatta a lárvák idegrendszerének fejlődését, és hosszú távú hatást gyakorolt a halak viselkedésére (Sargent et al., 1999a). Eredményünkhöz hasonlóan más halfajnál is kimutatták a korai életszakaszban esszenciális zsírsavakkal dúsított táp viselkedésre gyakorolt pozitív hatását (Lund et al., 2014). A jelen tanulmányban a fagyasztott *Chironomus* exogén táplálkozás kezdetétől történő etetésének kedvező hatásai a növekedésre mindkét kísérletben jelentkeztek, illetve a 2. kísérlet során hosszú távon is megmutatkoztak. A zoobentosz, a zooplanktonnal összehasonlítva, magas energiaértékének köszönhetően képes kielégíteni a toklárvák magas kalóriaszükségletét, illetve könnyebb hozzáférhetősége előnyösebbé teszi a táplálkozás során (Williot et al.,

2005; Ruban, 2020). A vágótok lárwanevelése során az azonnali és hosszú távú fejlődési előnyök miatt, a fagyasztott *Chironomus* két-három héten át történő használata élő zooplanktonnal kombinálva az exogén táplálkozás kezdetétől ajánlott.

Az exogén táplálkozás kezdetétől a természetes és az inert (nem élő, kémiaiilag viszonylag változatlan) mikrotáplálék kombinálásának gyakorlatát, az úgynevezett vegyes takarmányozási módszert, jó lehetőségnek tartják a hallárvaik sikeres táprászkztatásának elősegítésére (Halpati et al., 2024; Marinho et al., 2024). Az első kísérlet (2021) során a vegyesen takarmányozott csoportok testmérete végig szignifikánsan kisebb volt a hagyományosan táprászkztatott csoportokénál, továbbá a táprászkztatás előtt magasabb elhullást mutatkozott ugyanezen csoport esetében. Az vegyes takarmányozás előnye, hogy elősegítheti a kereskedelmi táp könnyebb emésztését (Ballagh et al., 2010). Vizsgálatunkban a vegyesen takarmányozott csoportokban tapasztalt alacsonyabb növekedés az inert táplálék élő vagy fagyasztott természetes táplálékhoz képesti gyengébb hasznosulásával magyarázható, hasonlóan az atlanti-, és a perzsa tok esetében tapasztaltakhoz (Piotrowska et al., 2013; Agh et al., 2013). Mindemellett azonban, több tanulmány is beszámolt a vegyes takarmányozás sikeres alkalmazásáról más tokfajok esetében, akár közvetlenül az exogén táplálkozás megkezdése után (Agh et al., 2013; Asgari et al., 2014; Lee et al., 2022). Eredményeink alapján kijelenthető, hogy a vágótok esetében a vegyes takarmányozás módszere nem ajánlott.

A második kísérletben (2022) a vágótokok táprászkztatását egy-két hét kizárólagos természetes táplálék etetését követően kezdtük meg. A korán táprászkztatott csoport testmérete kisebb volt, és a táprászkztatás befejezését követő két hétben magasabb elhullási, valamint alacsonyabb túlélési arányt mutatott ($41,8 \pm 2,9 \%$ vs. $58,2 \pm 7,9 \%$), mint a később táprászkztatott csoport a lárwanevelési időszak végén. Ezek az eredmények alátámasztják azt a megállapítást, hogy a természetes táplálék fogyasztása előnyös a tokfélék korai életszakaszában (Memiş et al., 2009; Valentine et al., 2017; Lee et al., 2022).

Az elhullási csúcs mindkét csoportban nagyjából három héttel a táprászkztatási folyamat megkezdése után jelentkezett. Az LW csoportban ez az érzékeny periódus egybeesett a szállítást követő héttel, amely mindkét csoportban növelte az elhullást, de ez az LW-csoportban sokkal kifejezettebben mutatkozott. Ez arra utal, hogy a szállítás okozta stressz alacsonyabb lehetett volna, ha a szállítás egy héttel később történik, ami a keltetőüzemek gyakorlatában fontos szempont lehet.

A W csoport halai kevesebb időt töltöttek mozdulatlanul a hagyományos labirintusvizsgáló során. Az ilyen típusú viselkedés a szorongás mérésének egyik mutatója, amely gyakran a stressz fokozott szintjére utal (Egan et al., 2009; Cachat et al., 2010). Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a táprászkztatási folyamat befolyásolja a tóban nevelt süllők viselkedését (Molnár et al., 2018). Jelen vizsgálatunkban valószínűleg a korán táprászkztatott halak stressztűrőbbek voltak, kevésbé mutattak szorongásra utaló jeleket a labirintusvizsgálóban, és versenyképesebbnek bizonyultak a táprászkztatás során. Az eltérés oka lehet fajspecifikus, vagy összefügghet a különböző élettörténeti háttérrel, tekintettel arra, hogy vizsgálatunkban a lárvaikat folyamatosan intenzív RAS-körülmények között tartottuk.

A táprászkztatás időzítését illetően a tenyésztéstechnikai szempontból legjobb négy kombinációból három a később táprászkztatott csoportokhoz tartozott. Ezért a táprászkztatás időpontjának meghatározásakor célszerű kompromisszumot kötni a kívánt tenyésztési teljesítmény, a lárwanevelő kapacitás és a természetes táplálék fenntartásával kapcsolatos munkaerőköltségek között.

A tenyésztéstechnikai paraméterek összesített értékelése alapján a vizsgált kombinációk közül optimális kezelésnek az bizonyult, amelyben a halak az exogén táplálkozás kezdetétől dúsítás nélküli, élő *Artemia*-val kombinált *Chironomus*-t kaptak, és két hét kizárólagos természetes táplálék alkalmazása után kezdték meg a fokozatos táprászkztatást. Eredményeink továbbá azt bizonyították, hogy az esszenciális zsírsavakat és vitaminokat tartalmazó szuszpenzióval dúsított *Artemia* és a *Chironomus* együttes, két-három héten keresztül történő etetése hosszú távú növekedési előnyökkel jár. A *Chironomus* exogén táplálkozás kezdetétől való használata erősen ajánlott. A környezetgazdagítás alkalmazása emellett jelentős fejlődési előnyöket biztosított a visszatelepítési célú nevelés során, különösen a stresszel való megküzdési képesség fokozásában, ugyanakkor elvesztése krónikus stresszel járhat. A környezetgazdagítás és a magas minőségű takarmányozás révén kialakuló jobb környezeti érzékelés javíthatja a kognitív funkciókat is. Ennek megfelelően a természetvédelmi célú keltetőüzemek számára javasolt a környezetgazdagítás alkalmazása a lárwanevelés során, valamint a legmagasabb színvonalú takarmányozási protokoll követése.

5. Új tudományos eredmények

- A magasabb telepítési sűrűség (20 lárva/liter) alkalmazása optimális kecsgelárvák nevelésére intenzív akvakultúra rendszerben egészen 100 mg-os testtömegig.
- A környezetgazdagítás alkalmazása kompromisszumot jelent a fejlettebb kognitív képességek (felfedező/exploratív képesség, stresszel való hatékonyabb megküzdési mechanizmus), a jobb állatjóléti státusz (fajspecifikus viselkedés serkentése, krónikus stressz csökkentése) és a gyors testméret-növekedés között a kecsge esetében. Ugyanakkor ezek a tulajdonságok előnyösek egy természetes vízbe történő visszatelepítés célú felhasználás során.
- A környezeti komplexitás befolyásolja a vágótok ivadékok felfedező viselkedését, míg annak megszűnése krónikus stresszhez vezet, amely megakadályozza az új környezethez történő gyors alkalmazkodást.
- A fagyasztott *Artemia* használata a vágótok testméret-növekedésének erőteljes visszamaradását okozza, alkalmazása nem javasolt.
- A vágótok exogén táplálkozásának kezdetétől alkalmazott természetes takarmányozás, - külön hangsúlyt fektetve a bentikus szervezetek használatára - kombinálva a nevelési környezet heterogenitásának növelésével hozzájárul a környezet hatékonyabb megítéléséhez/érzékeléséhez és a magasabb színvonalú általános állatjóléthez. A *Chironomus* és *Artemia* exogén táplálkozás kezdetétől legalább két héten keresztül történő használata hosszútávú növekedési és viselkedési előnyöket biztosít a vágótok számára.

6. Referenciák

- Agh, N., Noori, F., Irani, A., Van Stappen, G., Sorgeloos, P., 2013. Fine tuning of feeding practices for hatchery produced Persian sturgeon, *Acipenser persicus* and Beluga sturgeon, *Huso huso*. *Aquac. Res.* 44, 335–344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03031.x>
- Alnes, I.B., Jensen, K.H., Skorping, A., Salvanes, A.G.V., 2021. Ontogenetic change in behavioral responses to structural enrichment from fry to parr in juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.). *Front. in Vet. Sci.* 8, 638888. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.638888>
- Amichaud, O., Lafond, T., Fazekas, G.L., Kleiber, A., Kerneis, T., Batard, A., Goardon, L., Labbé, L., Lambert, S., Milla, S., Colson, V., 2024. Air bubble curtain improves the welfare of captive rainbow trout fry and fingerlings. *Aquaculture*, 586, 740828. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740828>
- Arechavala-Lopez, P., Cabrera-Álvarez, M.J., Maia, C.M., Saraiva, J.L., 2022. Environmental enrichment in fish aquaculture: A review of fundamental and practical aspects. *Rev. Aquac.* 14(2), 704–728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
- Asgari, R., Rafiee, G., Eagderi, S., Shahrooz, R., Poorbagher, H., Agh, N., Gisbert, E., 2014. Ontogeny of the digestive system in hatchery produced Beluga (*Huso huso* Linnaeus, 1758); a comparative study between Beluga and genus *Acipenser*. *Aquacult. Nutr.* 20(6), 595–608. <https://doi.org/10.1111/anu.12113>
- Ballagh, D.A., Fielder, D.S., Pankhurst, P.M., 2010. Weaning requirements of larval mulloway, *Argyrosomus japonicus*. *Aquac. Res.* 41(10), e493–e504. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02519.x>
- Bauman, J.M., Baker, E.A., Marsh, T.L., Scribner, K.T., 2015. Effects of rearing density on total length and survival of lake sturgeon free embryos. *N. Am. J. Aquac.* 77, 444–448. <https://doi.org/10.1080/15222055.2015.1037475>
- Beitinger, T.L., 1990. Behavioral reactions for the assessment of stress in fishes. *J. Gt. Lakes Res.* 16(4), 495–528. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(90\)71443-8](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(90)71443-8)
- Bergendahl, I. A., Salvanes, A. G. V., Braithwaite, V. A., 2016. Determining the effects of duration and recency of exposure to environmental enrichment. *Appl. Animal Behav. Sci.* 176, 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2015.11.002>
- Bogut, I.E., Has-Schon, Z., Adamek, V., Rajković, V., Rajković., 2007. *Chironomus plumosus* larvae—a suitable nutrient for freshwater farmed fish. *Poljopr.*, 13, 159–162. <https://hrcak.srce.hr/16128>

- Bonga, S.E.W., 1997. The stress response in fish. *Physiol. Rev.* 77(3), 591–625.
<https://doi.org/10.1152/physrev.1997.77.3.591>
- Boucher, M.A., Baker, D.W., Brauner, C.J., Shrimpton, J.M., 2018. The effect of substrate rearing on growth, aerobic scope and physiology of larval white sturgeon *Acipenser transmontanus*. *J. Fish. Biol.* 92, 1731–1746.
<https://doi.org/10.1111/jfb.13611>
- Boucher, M.A., McAdam, S.O., Shrimpton, J. M., 2014. The effect of temperature and substrate on the growth, development and survival of larval white sturgeon. *Aquaculture*, 430, 139–148.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.011>
- Boyd, C.E., McNevin, A.A., Davis, R.P., 2022. The contribution of fisheries and aquaculture to the global protein supply. *Food Secur.* 14(3), 805–827.
<https://doi.org/10.1007/s12571-021-01246-9>
- Braithwaite, V.A., Slavanes, A.G.V., 2005. Environmental variability in the early rearing environment generates behaviourally flexible cod: implications for rehabilitating wild population. *P. Roy. Soc.* 272, 1107–1113.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3062>
- Brunet, V., Kleiber, A., Patinote, A., Sudan, P.L., Duret, C., Gourmelen, G., Moreau, E., Fournel, C., Pineau, L., Calvez, S., Milla, S., Colson, V., 2022. Positive welfare effects of physical enrichments from the nature-, functions-and feeling-based approaches in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 550, 737825.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737825>
- Brydges, N.M., Braithwaite, V.A., 2009. Does environmental enrichment affect the behaviour of fish commonly used in laboratory work? *Appl. Anim. Behav. Sci.* 118, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.02.017>
- Cachat, J., Stewart, A., Grossman, L., Gaikwad, S., Kadri, F., Chung, K.M., Wu, N., Wong, K., Roy, S., Suciu, C., Goodspeed, J., Elegante, M., Bartels, B., Elkhayat, S., Tien, D., Tan, J., Denmark, A., Gilder, T., Kyzar, E., DiLeo, J., Frank, K., Chang, K., Utterback, E., Hart P., Kalueff, A.V., 2010. Measuring behavioral and endocrine responses to novelty stress in adult zebrafish. *Nat. Protoc.* 5(11), 1786–1799.
<https://doi.org/10.1038/nprot.2010.140>
- Cámara-Ruiz, M., Santo, C., E., Gessner, J., Wuertz, S., 2019. How to improve foraging efficiency for restocking measures of Juvenile Baltic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*). *Aquaculture*, 502, 12–17.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.021>
- Carbia, P.S., Brown, C., 2019. Environmental enrichment influences spatial learning ability in captive-reared intertidal gobies (*Bathygobius*

- cocosensis*). Anim. Cogn. 22, 89–98. <https://doi.org/10.1007/s10071-018-1225-8>
- Carrera-García, E., Rochard, E., Acolas, M.L., 2016. European sturgeon (*Acipenser sturio* L.) young of the year performance in different rearing environments –study within a stocking program. Environ. Biol. Fish. 99, 887–901. <https://doi.org/10.1007/s10641-016-0531-8>
- Colchen, T., Faux, E., Teletchea, F., Pasquet, A., 2017. Is personality of young fish consistent through different behavioural tests? Appl. Anim. Behav. Sci. 194, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.05.012>
- Collymore, C., Tolwani, R.J., Rasmussen, S., 2015. The behavioral effects of single housing and environmental enrichment on adult zebrafish (*Danio rerio*). J. Am. Assoc. for Lab. Anim. Sci. 54(3), 280–285.
- Efatpanah, I., Falahatkar, B., Sajjadi, M.M., Monsef Shokri, M., 2024. The Effect of Feeding with Chironomid and Artemia on Fatty Acids and Amino Acids Profiles in Persian Sturgeon (*Acipenser persicus*) Larvae. Aquac. Nutr., 2024(1), 6975546. <https://doi.org/10.1155/2024/6975546>
- Egan, R.J., Bergner, C.L., Hart, P.C., Cachat, J.M., Canavello, P.R., Elegante, M. F., Elkhayat, S.I., Bartels, B.K., Tien, A.K., Tien, D.H., Mohnot, S., Beeson, E., Glasgow, E., Amri, H., Zukowska, Z., Kalueff, A.V., 2009. Understanding behavioral and physiological phenotypes of stress and anxiety in zebrafish. Behav. Brain Res., 205(1), 38-44. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.06.022>
- El Kertaoui, N., Lund, I., Assogba, H., Domínguez, D., Izquierdo, M.S., Baekelandt, S., Cornet, V., Mandiki, S.N.M., Montero, D., Kestemont, P., 2019. Key nutritional factors and interactions during larval development of pikeperch (*Sander lucioperca*). Sci. Rep. 9(1), 7074. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43491-1>
- Elhetawy, A.I., Vasilyeva, L.M., Sudakova, N., Abdel-Rahim, M.M., 2023. Sturgeon aquaculture potentiality in Egypt in view of the global development of aquaculture and fisheries conservation techniques: an overview and outlook. Aquat. Sci. Eng. 38(4), 222-231. <https://doi.org/10.26650/ASE20231277641>
- Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M., Gadd, D., 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. J. Fish Biol. 61, 493-531. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00893.x>
- Feledi, T., Rónyai, A., 2013b. Preliminary results on siberian sterlet fry rearing and their comparison with some production performance parameters of “european” sterlet. Turkish J. Fish. Aquat. Sci. 13, 551–553. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_3_20

- Fox, C., Merali, Z., Harrison, C., 2006. Therapeutic and protective effect of environmental enrichment against psychogenic and neurogenic stress. *Brain Behav. Res.* 175, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2006.08.016>
- Fuiman, L.A., Ojanguran, A.F., 2011. Fatty acid content of eggs determines antipredator performance of fish larvae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 497(2), 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.06.004>
- Gatto, E., Bruzzone, M., Dal Maschio, M., Dadda, M., 2022. Effects of environmental enrichment on recognition memory in zebrafish larvae. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 247, 105552. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2022.105552>
- Gluckman, P.D., Hanson, M.A., 2004. The developmental origins of the metabolic syndrome. *Trends Endocrinol. Metab.* 15, 183–187. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2004.03.002>
- Grabner, M., Wieser, W., Lackner, R., 1981. The suitability of frozen and freeze-dried zooplankton as food for fish larvae: a biochemical test program. *Aquaculture*, 26, 85–94. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90112-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90112-5)
- Gunst, R.F., Mason, R.L., 2009. Fractional factorial design. *Wiley Interdiscip. Rev.: Comput. Stat.* 1(2), 234–244. <https://doi.org/10.1002/wics.27>
- Hafezieh, M., Kamarudin, M.S., Bin Saad, C.R., Abd Sattar, M.K., Agh, N. and Hosseini, H. 2009. Effect of enriched *Artemia urmiana* on growth, survival and composition of larval Persian sturgeon. *Turk. J. Fisheries and Aquat. Sci.* 9, 201–207. <https://doi.org/10.4194/trjfas.2009.0212>
- Hales, C.N., Barker, D.J.P., 1992. Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus: the thrifty phenotype hypothesis. *Diabetol.* 42, 1215–1222. <https://doi.org/10.1093/ije/dyt133>
- Halpati, R.P., Sukham, M., Pailan, G.H., Dasgupta, S., Sahoo, S., Malik, M.A., Sathees, M., Bhusare, S., Patekar, P., Marbaniang, B., Chandegara, A., 2024. Optimized co-feeding strategy of *Anabas testudineus* (Bloch 1792) larvae with enriched *Moina micrura* and egg custard-based inert diet; effects on growth, survival, and physio-metabolic responses. *Aquac. Int.*, 32, 7007–7029. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01499-z>
- Heuckeroth, R.O., Schäfer, K.H., 2016. Gene-environment interactions and the enteric nervous system: Neural plasticity and Hirschsprung disease prevention. *Dev. Biol.* 417, 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.03.017>
- Jalali, M.A., Hosseini, S.A., Imanpour, M.R., 2008. Effect of vitamin E and highly unsaturated fatty acid-enriched *Artemia urmiana* on growth performance, survival and stress resistance of Beluga (*Huso huso*) larvae. *Aquac. Res.* 39, 1286–1291. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01992.x>

- Kabaran, S., Besler, T.T., 2015. Do fatty acids affect fetal programming? *J. Health Popul. Nutr.* 33, 1–9. <https://doi.org/10.1186/s41043-015-0018-9>.
- Kamaszewski, M., Ostaszewska, T., Prusińska, M., Kolman, R., Chojnacki, M., Zabytyvskij, J., Jankowska, B., Kasprzak, R., 2014a. Effects of *Artemia* sp. enrichment with essential fatty acids on functional and morphological aspects of the digestive system in *Acipenser gueldenstaedtii* larvae. *Turk. J. Fish. Aquat. Sci.* 14(4), 929-938. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_4_12
- Kamler, E., Wolnicki, J., Kamiński, R., Sikorska, J., 2008. Fatty acid composition, growth and morphological deformities in juvenile cyprinid, *Scardinius erythrophthalmus* fed formulated diet supplemented with natural food. *Aquaculture*, 278(1), 69–76. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.03.012>
- Kobilinsky, A., Bouvier, A., Monod, H., 2012. PLANOR: an R package for the automatic generation of regular fractional factorial designs. R package version, 1–5.
- Krause, J., Loader, S.P., McDermott, J., Ruxton, G.D., 1998. Refuge use by fish as a function of body length related metabolic expenditure and predation risks. *Proc. R. Soc. B* 265, 2373–2379. <https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0586>
- Kynard, B., Parker, E., Kynard, B., Horgan, M., 2013. Behavioural response of Kootenai white sturgeon (*Acipenser transmontanus*, Richardson, 1836) early life stages to gravel, pebble, and rubble substrates: guidelines for rearing substrate size. *J. Appl. Ichth.* 29, 951–957. <https://doi.org/10.1111/jai.12279>
- Laczynska, B., Siddique, M.A.M., Ziomek, E., Shelton, W.L., Fopp-Bayat, D., 2020. Early weaning effects on survival, growth, and histopathology of larval sterlet *Acipenser ruthenus*. *N. Am. J. Aquacult.*, 82(2), 181–189. <https://doi.org/10.1002/naaq.10141>
- Lee, J.S.F., Berejikan, B.A., 2008. Effects of the rearing environment on average behavior and behavioural variation in steelhead. *J. Fish Biol.* 70, 1736–1749. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.01848.x>
- Lee, S., Zhai, S., Deng, D.F., Li, Y., Blaufuss, P.C., Eggold, B.T., Binkowski, F., 2022. Feeding strategies for adapting lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) larvae to formulated diets at early life stages. *Animals*, 12(22), 3128. <https://doi.org/10.3390/ani12223128>
- Ljubobratović, R., 2023. Aegear: Computer vision toolkit for analyzing animal motion in complex aquatic environments. Retrieved from <https://github.com/ljubobratovicrelja/aegear>
- Ljubobratović, U., Bogár, K., Káldy, J., Fazekas, G., Vass, N., Feledi, T., Kovács, G., 2022. Optimizing the gonadoliberin dosage and evaluating the egg

- quality in the preseason and seasonal artificial reproduction of pond-reared sterlet *Acipenser ruthenus*. Anim. Reprod. Sci. 247, 107097. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107097>
- Lund, I., Höglund, E., Ebbesson, L.O., Skov, P.V., 2014. Dietary LC-PUFA deficiency early in ontogeny induces behavioural changes in pike perch (*Sander lucioperca*) larvae and fry. Aquaculture, 432, 453–461. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.05.039>
- Lundova, K., Kouril, J., Sampels, S., Matousek, J., Stejskal, V., 2018. Growth, survival rate and fatty acid composition of sterlet (*Acipenser ruthenus*) larvae fed fatty acid-enriched *artemia nauplii*. Aquac. Res. 49, 3309–3318. <https://doi.org/10.1111/are.13794>
- Marinho, Y.F., Oliveira, C.Y.B., Mendes, L.E.M., Santos, I.R.A., Dias, J.A.R., Andrade, M., Lopes, Y.V.A., Azevedo, J.W.J., Lourenço, C.B., Moura, R.S.T., Ottoni, F.P., 2024. Co-feeding using live food and feed as first feeding for the small catfish *Trachelyopterus galeatus* (Linnaeus 1766). Arq. Bras. Med. Vet. e Zootec. 76(2), 323–332. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-13060>
- Martins, C.I., Galhardo, L., Noble, C., Damsgård, B., Spedicato, M.T., Zupa, W., Beauchaud, M., Kulczykowska, E., Massabuau, J., Carter, T., Planellas, S.R., Kristiansen, T., 2012. Behavioural indicators of welfare in farmed fish. Fish Physiol. Biochem. 38, 17–41. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9518-8>
- Mason, G., Clubb, R., Latham, N., Vickery, S., 2007. Why and how should we use environmental enrichment to tackle stereotypic behavior? Appl. Anim. Behav. 102, 163–188. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2006.05.041>
- McCormick, S.D., Shrimpton, J.M., Sloan, K.E., O'Dea, M.F., Carey, J.B., Moriyama, S., Björnsson, B.Th., 1998. Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma growth hormone, insulin-like growth factor 1 and cortisol. Aquaculture 168, 221–235. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00351-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00351-2)
- Memiş, D., Ercan, E., Çelikkale, M. S., Timur, M., & Zarkua, Z., 2009. Growth and survival rate of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) larvae from fertilized eggs to artificial feeding. Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 9(1).
- Millot, S., Bégout, M.L., Chatain, B., 2009. Exploration behavior and flight response toward a stimulus in three sea bass strains (*Dicentrarchus labrax* L.). Appl. Anim. Behav. Sci. 119, 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.03.009>
- Mohler, J.W., King, M.K., Farrell, P.R., 2000. Growth and survival of first-feeding and fingerling Atlantic sturgeon under culture conditions. N. Am. J. Aquacult., 62(3), 174-183. [https://doi.org/10.1577/15488454\(2000\)062<0174:GASOFF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1577/15488454(2000)062<0174:GASOFF>2.3.CO;2)

- Mohseni, M., Pourkazemi, M., Amiri, B.M., Kazemi, R., Foshkhomi, M.R., Kaladkova, L. N., 2000. A study on the effects of stocking density of eggs and larvae on the survival and frequency of morphological deformities in Persian sturgeon, great sturgeon and stellate sturgeon. *Iran. J. Fish. Sci.* 2, 75–90.
- Molnár, T., Csuvár, A., Benedek, I., Molnár, M., Kabai, P., 2018. Domestication affects exploratory behaviour of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) during the transition to pelleted food. *PLoS One*, 13(5), e0196118. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196118>
- Montero, D., Izquierdo, M.S., Tort, L., Robaina, L., Vergara, J.M., 1999. High stocking density produces crowding stress altering some physiological and biochemical parameters in gilthead seabream, *Sparus aurata*, juveniles. *Fish Physiol. and Biochem.* 20, 53–60. <https://doi.org/10.1023/A:1007719928905>
- Naderi, M., Jafaryan, H., & Jafaryan, S., 2017. Effect of different stocking densities on haematological parameters and growth performance of great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1758) juveniles. *Iran. J. Aquat. Anim. Health*, 3, 1–10. <https://doi.org/10.29252/ijaah.3.2.1>
- Näslund, J., Johnsson, J.I., 2016. Environmental enrichment for fish in captive environments: effects of physical structures and substrates. *Fish Fish* 17, 1–30. <https://doi.org/10.1111/faf.12088>
- Ni, M., Wen, H., Li, J., Chi, M., Bu, Y., Ren, Y., Zhang, M., Song, Z., & Ding, H., 2016. Effect of stocking density on mortality, growth and physiology of juvenile Amur sturgeon (*Acipenser schrenkii*). *Aquac. Res.* 47, 1596–1604. <https://doi.org/10.1111/are.12620>
- Oprea, D., Oprea, L., 2009. The effect of density on bester (*H. huso* × *a. ruthenus*) larvae reared in a superintensive system. *Lucrări Științ. Ser. Zooteh.* 52, 655–660.
- Pasquet, A., Sebastian, A., Begout, M.L., LeDore, Y., Teletchea, F., Fontaine, P., 2016. First insight into personality traits in Northern pike (*Esox lucius*) larvae: a basis for behavioural studies of early life stages. *Environ. Biol. Fish.* 99, 105–115. <https://doi.org/10.1007/s10641-015-0459-4>
- Pickering, A.D., Stewart, A., 1984. Acclimation of the interrenal tissue of the brown trout, *Salmo trutta* L., to chronic crowding stress. *J. Fish Biol.* 24, 731–740. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1984.tb04844.x>
- Piotrowska, I., Szczepkowska, B., Kozłowski, M., 2021. Influence of the size and form of *Artemia* sp. nauplii on the growth and survival of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchill) larvae. *Fish. & Aquatic Life, Arch. Pol. Fish.* 29(2), 69–79. <https://doi.org/10.2478/aopf-2021-0009>

- Piotrowska, I., Szczepkowska, B., Kozłowski, M., Wunderlich, K., Szczepkowski, M., 2013. Results of the larviculture of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*) fed different types of diets. *Fish. & Aquatic Life, Arch. Pol. Fish.* 21(1), 53–61. <https://doi.org/10.2478/aopf-2013-0006>
- Roberts, L.J., Taylor, J., Garcia de Leaniz, C., 2011. Environmental enrichment reduces maladaptive risk-taking behavior in salmon reared for conservation. *Biol. Conserv.* 144, 1972–1979. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.04.017>
- Romero-Ferrero, F., Bergomi, M.G., Hinz, R.C., Heras, F.J.H., de Polavieja, G.G., 2019. idtracker.ai: tracking all individuals in small or large collectives of unmarked animals. *Nat. Method.* 16(2), 179–182.
- Rónyai, A., 2009. Effect of different synthetic gonadotrop-releasing hormone analogues and their combinations with an anti-dopaminergic compound on the reproduction performance of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.). *Aquacult. Res.* 40(3), 315-321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02094.x>
- Ruane, N.M., Carballo, E.C., Komen, J., 2002. Increased stocking density influences the acute physiological stress response of common carp *Cyprinus carpio* (L.). *Aquac. Res.* 33(10), 777-784. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00717.x>
- Ruban, G.I., 2020. Exogenous feeding in the early life stages of sturgeon (*Acipenseridae*). *Inland Water Biol.* 13(4), 613-619. <https://doi.org/10.1134/S1995082920040094>
- Rybníkář, J., Prokeš, M., Mareš, J., Čileček, M., 2011. Early development and growth of sterlet (*Acipenser ruthenus*) in The Czech Republic. *Acta Univ. Agric. et Silv. Mendel. Brun.* 59, 217–226. <https://doi.org/10.11118/actaun201159050217>
- Sadoul, B., Vijayan, M.M., 2016. Stress and growth. In: Schreck, C.B., Tort, L., Farrell, A.P., Brauner, C.J. (Eds.), *Fish Physiology* (Vol. 35, pp. 167-205). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802728-8.00005-9>
- Sargent, J.R., Bell, G., McEvoy, L., Tocher, D., Estevez, A., 1999a. Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture*, 177, 191–199. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00083-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00083-6)
- Sargent, J.R., McEvoy, L.A., Estevez, A., Bell, M., Henderson, J., Tocher, D., 1999b. Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. *Aquaculture*, 179, 217–229. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00191-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00191-X)
- Schreck, C.B., Olla, B.L., Davis, M.W., 1997. Behavioral responses to stress. In: Randy, H. (Eds.), *Seminar Series-Society for Experimental Biology*, Cambridge University Press. 62(1) pp. 145-170).

- Sharma, J.G., Chakrabarti, R., 2009. Comparative growth performance and proteolytic enzyme activity of Indian major carp larvae, fed with live food and refrigerated-plankton food. *Indian J. Anim. Sci.* 79, 1185–1188.
- Spence, R., Magurran, A.E., Smith, C., 2011. Spatial cognition in zebrafish: the role of strain and rearing environment. *Anim. Cogn.* 14, 607–12. <https://doi.org/10.1007/s10071-011-0391-8>
- Suarez, S.D., Gallup Jr, G.G., 1985. Open-field behaviour in chickens: A replication revisited. *Behav. Process.* 10(4), 333–340. [https://doi.org/10.1016/0376-6357\(85\)90034-8](https://doi.org/10.1016/0376-6357(85)90034-8)
- Tatemoto, P., Valença-Silva, G., Queiroz, M.R., Broom, D.M., 2021. Living with low environmental complexity increases fear indicators in Nile tilapia. *Anim. Behav.* 174, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.02.006>
- Valentine, S.A., Bauman, J.M., Scribner, K.T., 2017. Effects of alternative food types on body size and survival of hatchery-reared Lake Sturgeon larvae. *N. Am. J. Aquac.* 79(4), 275–282. <https://doi.org/10.1080/15222055.2017.1330788>
- Westerath, S.H., Laister, S., Winckler, C., Knierim, U., 2009. Exploration as an indicator of good welfare in beef bulls: an attempt to develop a test for on-farm assessment. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 116(2-4), 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2008.08.012>
- Williot, P., Brun, R., Rouault, T., Pelard, M., Mercier, D., 2005. Attempts at larval rearing of the endangered western European sturgeon, *Acipenser sturio* (Acipenseridae), in France. *Cybium*, 29(4), 381–387.
- Yoon, G.R., Amjad, H., Weinrauch, A.M., Laluk, A., Suh, M., Anderson, W.G., 2022. Long-term effects of EPA and DHA enriched diets on digestive enzyme activity, aerobic scope, growth and survival in age-0 Lake Sturgeon (*Acipenser fulvescens*). *Aquaculture*, 552, 737972. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.737972>
- Zhang, Z., He, Y., Wang, J., Zheng, Y., Mo, J., Zhang, X., Liu, W., 2024. A Global Synthesis of Environmental Enrichment Effect on Fish Stress. *Fish and Fish.* 0, 1–24. <https://doi.org/10.1111/faf.12870>

7. Publikációk

Agrár- és Élelmiszertudományok Doktori Iskola

Publikációs Lista

Fazekas Georgina Lea

PUBLIKÁCIÓK ÉS VISSZHANGJUK

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Folyóiratcikkek (2)

1. **Fazekas, G.**, Káldy, J., Kovács, Gy., Müller, T., Ljubobratovic, U., 2022. The effect of stocking density on sterlet *Acipenser ruthenus* (Linnaeus 1758) larvae in the recirculating aquaculture system. Journal of Applied Ichthyology, 00:1–8. <http://doi.org/10.1111/jai.14341>
IF: 0,7
2. **Fazekas, G.**, Müller, T., Stanivuk, J., Fazekas, D. L., Káldy, J., Tóth, F., Bürgés, J., Colchen, T., Vass, N., Ljubobratović, U., 2023. Evaluation of applying environmental enrichment to sterlets (*Acipenser ruthenus* L.) in early life stages. Applied Animal Behaviour Science, 268, 106090. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106090>
IF: 2,0

További közlemények

Elektronikus publikációk

Idegen nyelven megjelent, lektorált (17)

3. Káldy, J., Mozsár, A., Fazekas, Gy., Farkas, M., Fazekas, D.L., **Fazekas, G.L.**, Goda, K., Gyöngy, Zs., Kovács, B., Semmens, K., Bercsényi, M., Molnár, M., Patakiné Várkonyi, E., 2020. Hybridization of Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt and Ratzeberg, 1833) and American Paddlefish (*Polyodon spathula*, Walbaum 1792) and Evaluation of Their Progeny. GENES 11:753 <https://doi.org/10.3390/genes11070753>
4. **Fazekas, G.**, Vass, V., Demény, F., Tóth, F., Ljubobratović, U., 2021. The effect of different surface cleaning devices on the success of swim bladder inflation in pikeperch (*Sander lucioperca* L.) larvae. North American Journal of Aquaculture, 83(2), 78–82. <https://doi.org/10.1002/naaq.10172>
5. Ljubobratović, U., **Fazekas, G.**, Koljukaj, A., Ristović, T., Vass, V., Ardó, L., Stanisavljević, N., Vukotić, G., Pešić, M., Milinčić, D., Kostić, A., Lukić, J., 2021. Pike-perch larvae growth in response to administration of lactobacilli-enriched inert

feed during first feeding. *Aquaculture* 542:736901.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736901>

6. Káldy, J., Patakiné Várkonyi, E., **Fazekas, G.L.**, Nagy, Z., Sándor, Z.J., Bogár, K., Kovács, G., Molnár, M., Lázár, B., Goda, K., Gyöngy, Z., Ritter, Z., Nánási, P., Jr., Horváth, Á., Ljubobratović, U., 2021. Effects of Hydrostatic Pressure Treatment of Newly Fertilized Eggs on the Ploidy Level and Karyotype of Pikeperch *Sander lucioperca* (Linnaeus, 1758). *LIFE*, 11:1296.
<https://doi.org/10.3390/life11121296>
7. Özgür, M.E., Erdoğan, S., Rašković, B., **Fazekas, G.**, Ljubobratović, U., 2021. Mid-autumn spermiation in outdoor-cultured pikeperch (*Sander lucioperca*) using different gonadoliberin application strategies. *Aquaculture Reports* 21:100891.
<https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100891>
8. Ljubobratović, U., Bogár, K., Káldy, J., **Fazekas, G.**, Vass, N., Feledi, T., Kovács, Gy., 2022. Optimizing the gonadolibering dosage and evaluation the egg quality in the pre-season and seasonal artificial reproduction of pond-reared sterlet *Acipenser ruthenus*. *Animal Reproduction Science*, 247:107097.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107097>
9. Ljubobratović, U., **Fazekas, G.**, Nagy, Z., Kovács, Gy., Tóth, F., Fehér, D., Zarski, D., 2022. Fish with larger pre-seasonal oocytes yields lower egg quality in season – A case study of outdoor – cultured domesticated Pikeperch (*Sander lucioperca*). *Animal Reproduction Science*, 238, 106936.
<https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.106936>
10. Ljubobratović, U., Kitanović, N., Milla, S., Marinović, Z., **Fazekas, G.**, Stanivuk, J., Nagy Z., Horváth, Á., 2023. Predicting population's oocyte maturation competence and evaluating individual's latency time using in vitro oocyte maturation in pikeperch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture*, 562:738851. [10.1016/j.aquaculture.2022.738851](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738851)
11. Bogár, K., Stanivuk, J., Géczi, A., **Fazekas, G.L.**, Kovács, B., Lázár, B., Molnár, M., Ardó, L., Ljubobratovic, U., Kovács, Gy., Péter, D., Várkonyi, E., Káldy, J., 2024. Investigation of Sexes and Fertility Potential of Female Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) and Male American Paddlefish (*Polyodon spathula*) Hybrids. *Life*, 14(7), 818.
<https://doi.org/10.3390/life14070818>
12. Stanivuk, J., Berzi-Nagy, L., Gyalog, G., Ardó, L., Vitál, Z., Plavša, N., **Fazekas, G.L.**, Horváth, Á., Ljubobratović, U., 2024. The rank of intensification factors strength in intensive pond production of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture*, 583, 740584.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740584>

13. Ljuboratić, U., Rašković, B., Horváth, Á., **Fazekas, G.**, Markelić, M., Ristović, T., Nagy, Z., Stanivuk, J., Rocha, E., Bürgés, J., Milla, S., 2024. Effect of sex isolation on the reproduction of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) submitted to the cycle shift from outdoor to fully controlled conditions. *Aquaculture*, 741903. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741903>
14. Amichaud, O., Lafond, T., **Fazekas, G.L.**, Kleiber, A., Kerneis, T., Batard, A., Goardon, L., Labbé, L., Lambert, S., Milla, S., Colson, V., 2024. Air bubble curtain improves the welfare of captive rainbow trout fry and fingerlings. *Aquaculture*, 586, 740828. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740828>
15. Ljubobratović, U., Ardó, L., **Fazekas, G.**, Horváth, Z., Lukić, J., 2024. Effect of thermal management on vitellogenesis and maturation in indoor-reared pikeperch (*Sander lucioperca*). *Czech Journal of Animal Science*, 69(1), 18-28. <https://doi.org/10.17221/136/2023-CJAS>
16. Káldy, J., **Fazekas, G.**, Kovács, B., Molnár, M., Lázár, B., Pálincás-Bodzsár, N., Ljubobratović, U., Fazekas, G., Kovács, G., Várkonyi, E., 2024. Unidirectional hybridization between American paddlefish *Polyodon spathula* (Walbaum, 1792) and sterlet *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758). *PeerJ* 12:e16717 <https://doi.org/10.7717/peerj.16717>
17. Stanivuk, J., Marinović, Z., Kitanović, N., Mozsár, A., Káldy, J., Várkonyi, E., Molnár, M., Müller, T., **Fazekas, G.**, Kovács, B., Bogár, K., Nagy, Z., Fazekas, D., Horváth, Á., Ljubobratović, U., 2025. Evaluation of biotechnology approaches–Polyploidization and hybridization–For improvement of pikeperch (*Sander lucioperca*) larviculture and juvenile on-grow with special regard to morphological traits and gonadal development. *Aquaculture*, 742938. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742938>
18. Ljubobratović, U., Kitanović, N., Milla, S., Marinović, Z., Stanivuk, J., **Fazekas, G.**, Vass, N., Nagy, Z., Horváth, Á., 2025. The development of oocyte maturation competence, egg, oil globule and larval size are population-dependent in pikeperch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture*, 742932. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742932>
19. Ljubobratović, U., Rašković, B., Horváth, Á., **Fazekas, G.**, Markelić, M., Ristović, T., Nagy, Z., Stanivuk, J., Rocha, E., Bürgés, J., Milla, S., 2025. Effect of sex isolation on the reproduction of pikeperch (*Sander lucioperca* L.) submitted to the cycle shift from outdoor to fully controlled conditions. *Aquaculture*, 596, 741903. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741903>

Egyéb folyóiratközlemények, magyar nyelven (1)

20. Káldy, J., Mozsár, A., Fazekas, Gy., Farkas, M., Fazekas, D.L., **Fazekas, G.L.**, Goda, K., Gyöngy, Zs., Kovács, B., Ken, Semmens et al. 2020. A vágótok (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt and Ratzeberg, 1833) és az amerikai lapátorrú tok (*Polyodon spathula*, Walbaum 1792) hibridizációja és az utódaik jellemzése. HALÁSZAT 113. évf. 3, 105–106.

Konferencia kiadványok

Magyar nyelvű (teljes) (10)

1. Káldy, J., Mozsár, A., Fazekas, Gy., Farkas, M., Fazekas, D.L., **Fazekas, G.L.**, Goda, K., Gyöngy, Zs., Kovács, B., Semmens, K., Bercsényi, M., Molnár, M., Patakiné Várkonyi, E., 2020. Az első sikeres hibridizáció a vágótok (*Acipenser gueldenstaedtii*) és az amerikai lapátorrú tok (*Polyodon spathula*) között, mely életképes utódokat eredményezett. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 37, 36–40.
https://haki.naik.hu/sites/default/files/uploads/2020-10/halaszatfejlesztas_37.pdf
2. **Fazekas, G.**, Káldy, J., Kovács, Gy., Ljubobratović, U., 2020. Kecseglárva (*Acipenser ruthenus* L.) megmaradásának és növekedésének vizsgálata eltérő telepítési sűrűségek függvényében. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 37, 18–20.
https://haki.naik.hu/sites/default/files/uploads/2020-10/halaszatfejlesztas_37.pdf
3. Ljubobratović, U., Nagy, Z., Nagy, G., Lévai, F., **Fazekas, G.**, 2020. A fekete sügér (*Micropterus salmoides*) potenciális szerepe a tógazdasági haltermelés intenzifikálásában. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 37, 12–13.
https://haki.naik.hu/sites/default/files/uploads/2020-10/halaszatfejlesztas_37.pdf
4. Ljubobratović, U., Kitanović, N., Marinović, Z., Vass, N., **Fazekas G.**, Stanivuk J., Nagy Z., Horváth, Á., 2022. Házasított süllő anyahal mesterséges hormon stimulációra kész állapotánál meghatározása; HALÁSZATFEJLESZTÉS, 39, 48–52. https://press.mater.uni-mate.hu/51/1/Hal%C3%A1szatfejleszt%C3%A9s_39_2022m%C3%A1jus.pdf
5. Stanivuk, J., Káldy, J., Várkonyi, E., Molnár, M., **Fazekas, G.L.**, Horváth, Á., Ljubobratović, U., 2023. A triploid fogassüllő (*Sander lucioperca*) lárwanevelése. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 40, 54–58.
6. **Fazekas, G.**, Michaud, O., Lafond, T., Kleiber, A., Kerneis, T., Batard, A., Goardon, L., Labbé, L., Lambert, S., Milla, S., Ljubobratović, U., Colson, C., 2024. Buborékfüggöny hatása a tenyésztett pisztrángok viselkedésére. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 41, 121.
7. Káldy, J., Bogár, K., Stanivuk, J., Géczi, A., **Fazekas, G.L.**, Kovács, B., Molnár, M., Ardó, L., Ljubobratović, U., Kovács, Gy., Péter, D., Lázár, B., Várkonyi, E., 2024. A vágótok (♀) (*Acipenser gueldenstaedtii*) és az amerikai

lapátorru tok (♂) (*Polyodon spathula*) hibridek nemének meghatározása és korai gonádfejlődésének vizsgálata. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 41, 94–100.

8. Stanivuk, J., Ljubobratović, U., Káldy, J., Varkonyi, E., Molnár, M., **Fazekas, G.**, Kitanović, N., Lefler, K., Horváth, Á., Zoran, M., 2024. Az interspecifikus hibridizáció és a triploidizáció együttes hatása a fogassüllő (*Sander lucioperca*) és a fogassüllő (♀) x kőszüllő (♂) (*Sander volgensis*) hibridek korai ivarfejlődésére. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 41, 89–93.
9. Fazekas, G., Müller, T., Berzi-Nagy, L., Ljubobratović, R., Stanivuk, J., Fazekas, D.L., Káldy, J., Vass, N., Ljubobratović, U., 2025. Befolyásolja-e a takarmányozási stratégia és a környezetgazdagítás a vágótok ivadékok környezetükhöz való viszonyát? – Lárva-nevelési gyakorlatok optimális faktoriális kombinációjának keresése. HALÁSZATFEJLESZTÉS, 234, 25–32.
10. Vass, N., Fazekas, G., Nagy, Z., Stanivuk, J., Gécz, A., Ljubobratović, U., 2025. Két akvakultúrában jelentős fészkelő halfaj ívási viselkedésének értékelése mesterséges körülmények között (előzetes eredmények). HALÁSZATFEJLESZTÉS, 234, 87–93.

Nemzetközi konferencia (9)

1. Stanivuk, J., Horváth, Á., Marinović, Z., **Fazekas, G.**, Káldy, J., Ljubobratović, U., 2022. Hybridization and triploidization as tools to improve larviculture in pikeperch (*Sander lucioperca*); In Aquaculture Europe 2022: Innovative solutions in a changing world - Abstracts (pp. 1241–1242). European Aquaculture Society. <https://aquaeas.org/Program/PaperDetail/39829>
2. **Fazekas, G.**, Stanivuk, J., Fazekas, D., Ljubobratović, U., 2022. Evaluation of applying environmental enrichment on sterlet *Acipenser ruthenus* in early life stages. In Aquaculture Europe 2022: Innovative solutions in a changing world - Abstracts (pp. 419–220). European Aquaculture Society. <https://aquaeas.org/Program/PaperDetail/39624>
3. Ljubobratović, U., Kitanovic, N., Milla, Sylvian, Marinovic, Z., Fazekas, G., Stanivuk, J., Zarski, D., Horváth, Á., 2022. Predicting the egg quality based on the oocyte diameter and in vitro maturation in domesticated pikeperch (*Sander lucioperca*). In A. Ciereszko & D. Zarski (Eds.), 8th International Workshop on the Biology of Fish Gametes - Book of Abstracts (p. 30). Gdansk, Lengyelország.
4. Stanivuk, J., Marinovic, Z., Kitanović, N., **Fazekas, G.L.**, Várkonyi, E., Molnár, M., Káldy, J., Ljubobratović, U., Horváth, Á., 2023. Triploidization as a fertility reduction tool in pikeperch (*Sander lucioperca*) and volga pikeperch (*Sander volgensis*) hybrid production. In Balanced

Diversity in Aquaculture Development: Aquaculture Europe 2023 - Abstract Book (pp. 1408–1409). European Aquaculture Society. <https://eposters.blob.core.windows.net/eas-eposters/AE2023AbstractBook.pdf>

5. Nagy, Z., Ljubobratović, U., Biró, J., **Fazekas, G.**, 2023. Effect of different rearing environments on the water quality and on the production traits of hybrid striped bass (*Morone saxatilis x Morone chrysops*) in Hungary. In Balanced Diversity in Aquaculture Development: Aquaculture Europe 2023 - Abstract Book (p. 990). European Aquaculture Society. <https://eposters.blob.core.windows.net/eas-eposters/AE2023AbstractBook.pdf>
6. Ljubobratović, U., Kitanović, N., Stavinuk, S., Marinović, M., **Fazekas, G.**, Nagy, Z., Horváth, Á., 2023. Predictability of latency time using the in vitro oocyte maturation in pikeperch (*Sander lucioperca*). In Balanced Diversity in Aquaculture Development: Aquaculture Europe 2023 - Abstract Book (p. 801). European Aquaculture Society. <https://eposters.blob.core.windows.net/eas-eposters/AE2023AbstractBook.pdf>
7. Stanivuk, J., Berzi-Nagy, L., Gyalog, G., Vitál, V., Fazekas, G.L., Ljubobratović, U., 2024. Water quality in intensive Common carp (*Cyprinus carpio* L.) pond production. In FAO Proceedings of the Sixth International Carp Conference (p. 36). Food and agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/adc4d2af-ca24-42e0-bb2e-42916ec7e9c6/content>
8. Vass, N., **Fazekas, G.**, Nagy, Z., Stanivuk, J., Géczi, A., Ljubobratović, U., 2025. Spawning behaviour of two commercially important nesting perciformes. In Aquaculture Europe 2025: Aquaculture for everyone – Abstract Book (pp. 1851–1852). European Aquaculture Society. <https://eposters.blob.core.windows.net/eas-eposters/AE2025AbstractBook.pdf>
9. Ljubobratović, U., Kitanovic, N., **Fazekas, G.**, Stanivuk, J., Marinovic, Z., Vass, N., Nagy, Z., Horváth, Á., 2025. Different scenarios of photothermal management and its impact on the out-of-season egg quality in pikeperch (*Sander lucioperca*)? In Aquaculture Europe 2025: Aquaculture for everyone – Abstract Book (pp. 989–990). European Aquaculture Society. <https://eposters.blob.core.windows.net/eas-eposters/AE2025AbstractBook.pdf>