



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

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

Doktori (PhD) értekezés

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 | 2 |
| 1.1. Bevezetés | 2 |
| 1.2. A dolgozat célkitűzései | 3 |
| 2. Irodalmi áttekintés | 5 |
| 2.1. A tokfélék általános bemutatása | 5 |
| 2.2. A vágótok és kecsege jellemzése | 6 |
| 2.2.1. A vágótok és kecsege rendszertani besorolása, morfológiai jellemzői | 6 |
| 2.2.2. A vágótok és kecsege elterjedése | 7 |
| 2.2.3. A vágótok és kecsege biológiai sajátosságai | 9 |
| 2.2.4. A tokállományok természetvédelmi jelentősége, különös tekintettel a vágótokra és a kecsegeire | 11 |
| 2.3. Tokfélék tenyésztése és tartása kontrollált körülmények között | 13 |
| 2.3.1. Lárva- és ivadéknevelés, növendéktartás kontrollált körülmények között | 13 |
| 2.3.2. Tokfélék táplálkozása és takarmányozása | 17 |
| 2.4. Kutatási háttér általános bemutatása | 20 |
| 2.4.1. Élő- és teljes értékű keveréktakarmányok jellemzői és a tokfélékre gyakorolt hatásuk | 20 |
| 2.4.2. Takarmánydúsítás jelentősége és tokfélékre gyakorolt hatása | 25 |
| 2.4.3. A technológiai tényezők és a környezetgazdagítás hatásai a halak viselkedésére | 27 |
| 2.5. A kutatás háttere és tudományos megalapozása | 31 |
| 3. Anyag és módszer | 33 |
| 3.1. A tokfélék intézetben belül zajló szaporítása | 33 |
| 3.2. Állománysűrűség vizsgálata a kecsege lárva növekedésére és túlélésére – kísérleti rendszer és kísérleti beállítások | 35 |
| 3.2.1. A mintavételezés és mért paraméterek | 36 |
| 3.2.2. A kecsegelárva etetési ütemterve és az <i>Artemia</i> keltetés ismertetése | 37 |
| 3.2.3. Az adatok statisztikai analízisének módszere | 39 |
| 3.3. Környezetgazdagítás hatása a kecsege lárva növekedésére, túlélésére és viselkedésére – kísérleti rendszer és kísérleti beállítások bemutatása | 39 |
| 3.3.1. Mintavétel és a mért tenyésztéstechnikai-paraméterek bemutatása | 41 |
| 3.3.2. Az eltérő nevelési körülmények között tartott kecsege takarmányozásának bemutatása | 42 |
| 3.3.3. Környezetgazdagítás hatásának vizsgálata a kecsege ivadék viselkedésére | 43 |
| 3.3.4. Az adatok statisztikai analízisének módszere | 46 |
| 3.4. Eltérő takarmányozási protokollok használatának hatása vágótok növekedésére, túlélésére és viselkedésére - kísérleti rendszer és a kísérleti beállítások bemutatása | 47 |
| 3.4.1. Az <i>Artemia</i> dúsítás eljárásának ismertetése | 49 |
| 3.4.2. Kísérleti terv és a 2021-es vizsgálatban értékelt tényezők | 50 |

| | |
|---|-----|
| 3.4.3. Kísérleti terv és a 2022-es vizsgálatban értékelt tényezők | 53 |
| 3.4.4. Az eltérő takarmányozási protokollok során végzett mintavételek és a vizsgált tenyésztéstechnikai paraméterek | 58 |
| 3.4.5. Eltérő takarmányozási protokollok alkalmazásának vágótok ivadékok viselkedésére gyakorolt hatásának vizsgálata..... | 59 |
| 3.4.6. Nyomkövető szoftver a megtett távolság (DT) méréséhez – AEGEAR | 60 |
| 3.4.7. Az adatok statisztikai analízisének módszere..... | 61 |
| 4. Eredmények..... | 62 |
| 4.1 A kecsge állománysűrűségének hatása a kecsge növekedésére és túlélésére | 62 |
| 4.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsge növekedésére és túlélésére | 67 |
| 4.3. A környezetgazdagítás hatása a kecsgeivadék viselkedésére | 70 |
| 4.4. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére, túlélésére és viselkedésére..... | 74 |
| 4.4.1. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére és túlélésére 2021-ben..... | 74 |
| 4.4.2. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére és túlélésére 2022-ben..... | 78 |
| 4.4.3. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok viselkedésére 2022-ben..... | 86 |
| 5. Következtetések, javaslatok..... | 88 |
| 5.1. Kecsege állománysűrűségének hatása a növekedésre és túlélésre..... | 88 |
| 5.2. Környezetgazdagítás (EE) hatása a kecsge növekedésére és viselkedésére | 90 |
| 5.3 Eltérő takarmányozási stratégia és a környezetgazdagítás kombinációjának hatása a vágótokivadék tenyésztéstechnikai paramétereire és viselkedésére..... | 94 |
| 6. Új tudományos eredmények | 103 |
| 7. Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósága..... | 104 |
| 8. Összefoglalás | 106 |
| 8.1. A telepítési sűrűség hatása a kecsge növekedésére és túlélésére | 106 |
| 8.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsge növekedésére, túlélésére és viselkedésére | 107 |
| 9. Summary..... | 110 |
| 9.1. The effect of stocking density on the growth a survival of sterlet..... | 110 |
| 9.2. The effect of environmental enrichment on the growth and survival of sterlet..... | 111 |
| 9.3. The effect of different feeding strategies on the growth, survival and behaviour of Russian sturgeon..... | 112 |
| 10. Köszönetnyilvánítás | 114 |
| 11. Irodalomjegyzék..... | 115 |

Rövidítések jegyzéke

| | | |
|----------------------------------|--|---------|
| <i>BW_f</i> | Végső testtömeg | (g, mg) |
| <i>BW_{i-f}</i> | Kezdeti és végső testtömeg | (g, mg) |
| <i>CB</i> | Kihívást jelentő zónák meglátogatásának száma (1. kísérlet) | |
| <i>Chi</i> | <i>Chironomus</i> takarmányozás | |
| <i>Co</i> | Vegyes takarmányozása alkalmazása | |
| <i>CV_{BWf}</i> | Végső testtömeg variációs együtthatója | (%) |
| <i>CV_{BWi-f}</i> | Kezdeti és végső testtömeg variációs együtthatója | (%) |
| <i>CV_{TLf}</i> | Végső testhossz variációs együtthatója | (%) |
| <i>CV_{TLi-f}</i> | Kezdeti és végső testhossz variációs együtthatója | (%) |
| <i>D</i> | Kereskedelmi táp takarmányozása | |
| <i>DPH</i> | Nap kelés után | |
| <i>DT</i> | Megtett távolság (Aegear szoftver) | (cm) |
| <i>E</i> | Dúsított <i>Artemia</i> takarmányozása | |
| <i>EChi</i> | <i>Chironomus</i> takarmányozás az exogén táplálkozás kezdetétől | |
| <i>F</i> | Fagyasztott <i>Artemia</i> takarmányozása | |
| <i>FBG</i> | Biomassza hozamot | (g/l) |
| <i>FI</i> | Táplálékfelvétel | |
| <i>FT</i> | Mozdulatlanságban eltöltött idő | (s) |
| <i>K</i> | Kondíciós tényező | |
| <i>K_{i-f}</i> | Kezdeti és végső kondíciós tényező | |
| <i>LES</i> | Start zóna elhagyásához szükséges látenciaidő | (s) |
| <i>LW</i> | Késői tápraszkotatás | |
| <i>M</i> | Elhullási arány | (%) |
| <i>N</i> | Dúsítatlan <i>Artemia</i> takarmányozása | |
| <i>NChi</i> | Nincs <i>Chironomus</i> | |
| <i>S</i> | Stresszel összefüggő úszási viselkedés | (s) |
| <i>SR</i> | Túlélési arány | (%) |
| <i>SGR</i> | Napi fajlagos növekedési ráta | (%/nap) |
| <i>TL_f</i> | Végső teljes testhossz | (mm) |
| <i>TL_{i-f}</i> | Kezdeti és végső teljes testhossz | (mm) |
| <i>TNVZ</i> | Zónaváltások száma | |
| <i>VC</i> | Kihívást jelentő zónák meglátogatásának száma (2. kísérlet) | |
| <i>VS</i> | Start zóna meglátogatásának száma | |
| <i>W</i> | Korai tápraszkotatás | |

1. Bevezetés és célkitűzések

1.1. Bevezetés

Az akvakultúra a globális élelmiszertermelés egyik legdinamikusabban fejlődő ágazata, amely alapvető szerepet tölt be az emberi fogyasztásra szánt állati fehérje fenntartható előállításában, valamint a természetes halállományokra nehezedő halászati nyomás mérséklésében (BOYD ET AL., 2022). Az intenzív halgazdálkodás fejlődésével párhuzamosan egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a veszélyeztetett és gazdasági szempontból is jelentős halfajok kontrollált körülmények közötti szaporítása és nevelése, különös tekintettel azokra a fajokra, amelyek természetes populációi a környezeti változások, élőhely-vesztés és túlhalászat következtében drasztikusan csökkentek (ELHETAWY ET AL., 2023).

A tokfélék (*Acipenseridae*) csoportja nemcsak ősi evolúciós vonásaik és különleges biológiai jellemzőik miatt kiemelkedő jelentőségű, hanem gazdasági és ökológiai szerepük révén is. A világ számos régiójában – különösen Európában, Észak-Amerikában és Ázsiában – intenzív erőfeszítések történnek e fajok védelme, indukált szaporítása és állományainak fenntartható hasznosítása érdekében (termelés, természetesvízi állományok fenntartása). A tokfélék azonban különösen érzékenyek a korai életszakaszokban fennálló környezeti hatásokra, így a nevelés optimalizálása alapvető fontosságú a sikeres állományfenntartás és hasznosítás szempontjából.

Magyarországon a tokfélék egykor jelentős részét képezték a természetes vízi ökoszisztémáknak, mára azonban a hazai populációk többsége eltűnt vagy kritikusan alacsony egyedszámmal rendelkezik. A vágótok (*Acipenser gueldenstaedtii*) és a kecsege (*Acipenser ruthenus*) az utóbbi években a fajmegőrzési és tenyésztési programok fókuszába kerültek. A vágótok elsősorban a természetvédelmi célú szaporítás és visszatelepítés révén, míg a kecsege az intenzív akvakultúra és horgász-célú hasznosítás miatt vált stratégiai fontosságú fajjává. E törekvések sikeressége azonban nagyban függ a korai fejlődési szakaszok alatt alkalmazott környezeti és technológiai paraméterek finomhangolásától.

A tokfélék védelmére irányuló programok elsősorban mesterséges szaporításból származó egyedek visszatelepítésével igyekeznek erősíteni a természetes populációkat. Bár e fajok termelésének technológiai háttere részletesen kidolgozott, a mesterséges szaporításból származó lárva fejlődéséről és

minőségéről kevés ismerettel rendelkezünk, holott a visszatelepítésre szánt állományok esetében ez kulcsfontosságú.

A lárva fejlődését számos tényező befolyásolja, melyek közül a takarmányozás mellett a környezeti körülmények minősége és komplexitása is meghatározó szerepet játszik. Az étkezési célú termelésben alkalmazott nevelési gyakorlatok elsősorban gazdasági szempontokat követnek, amely nem csak az alkalmazott takarmányozási technológiát korlátozhatja, hanem ingerszegény nevelési környezet kialakításához is vezet. Ez különös problémát jelenthet a visszatelepítésre szánt halak nevelése során, hiszen az ily módon nevelt egyedek viselkedési és stresszválasz-repertoárja eltérhet a természetes körülményekhez alkalmazkodott egyedekétől.

A megfelelő takarmány-összetétel - különös tekintettel a többszörösen telítetlen zsírsavak, illetve az esszenciális mikrotápanyagok jelenlétére – alapvető szerepet tölt be a lárva fejlődésében és számos, az egyedfejlődés korai szakaszában meghatározó fiziológiai folyamatot befolyásol. Ugyanakkor egyre több kutatás hívja fel a figyelmet a környezetgazdagítás viselkedésre, tanulási képességre és stressztűrésre gyakorolt hatásának jelentőségére.

A lárva minőségének meghatározása ezért összetett feladat, amely nem korlátozódhat kizárólag művekedési és túlélési mutatókra, hanem figyelembe kell venni az állatok viselkedési rugalmasságát és környezeti stresszorokra adott válaszait. A visszatelepítésre nevelt halak esetében talán a legfontosabb kérdés, hogy a hal miként reagál azon stressztényezőkre, amelyek a visszatelepítést követően a természetben érhetik. Azon tesztek, vizsgálati módszerek fejlesztése, melyekkel a halak általános fitnesze, stressztűrőképessége és alkalmazkodóképessége hatékonyan jellemezhető, kulcsfontosságú hosszú távon a hatékony visszatelepítési programok fenntartásában.

1.2. A dolgozat célkitűzései

A tokfélék természetes populációinak drasztikus csökkenése és sérülékeny állománydinamikájuk szükségessé teszi az indukált szaporítás és a lárva-, ivadéknevelés módszereinek fejlesztését. Különösen fontos, hogy a korai életszakaszokban alkalmazott környezeti és etetési tényezők hatásait jobban megértsük, hiszen ezek hosszú távon befolyásolhatják a kitelepített állományok túlélését, a fejlődést és a viselkedést.

- A jelenlegi tanulmány egyik célja az volt, hogy meghatározza a különböző állománysűrűségek hatását a kecsge lárva túlélésére és növekedésére a kikeléstől a tápraszoktatás befejezéséig.
- Valamint célul tűztük ki, hogy kiértékeljük, a kavicsos aljzat, mint környezetgazdagítási forma alkalmazása milyen hatással bír a kecsge ivadékok növekedésére, túlélésére.
- Vizsgálatunk során elemeztük a különböző viselkedési változók közötti összefüggéseket, különös tekintettel a merészség és a felfedező viselkedés kapcsolatára, valamint a szorongásszerű reakciókra. E célból egy speciális felépítésű labirintuskészüléket alkalmaztunk, hogy a nevelési körülmények hatását viselkedési szinten is értékelni tudjuk.
- Továbbá, céljaim között szerepelt megtalálni a termelési és visszatelepítési szempontból kedvezőbb takarmányozási stratégiát a környezetgazdagítás technikájának kombinálásával a vágótok lárva- és ivadéknevelése során.
- Megvizsgálni a takarmányozás és környezetgazdagítás hatását a vágótok termelési mutatóira és meghatározni azok viselkedési mutatókra gyakorolt hosszútávú hatását labirintuskészülék alkalmazásán keresztül.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A tokfélék általános bemutatása

A tok alakúak (*Acipenseriformes*) az északi félteke egyik legősibb rendje, evolúciós eredetük a késői triász időszakra (kb. 237–201 millió évvel ezelőtt) vezethető vissza. Megjelenésük azóta alig változott, így a tudományos közösség az élő kövületek közé sorolja őket. Külső testfelépítésük is ősi jegyeket hordoz: testüket vastag csontlemezek borítják, amelyek páncélszerű megjelenést és védelmet biztosítanak (REINARTZ & SLAVCHEVA, 2016; MÜLLER & STASZNY, 2019). A modern csontos halaktól elsősorban porcos csontvázuk különbözteti meg őket – a csontosodás hiánya másodlagos jelenség. A gerinchúrt (notochord) egy burkos kötőszöveti réteg, a perichord veszi körül, amely mechanikai támaszt nyújt a porcos szerkezet számára (HOCHLEITHNER & GESSNER, 2001). A gerincvelő a notochord felett helyezkedik el. A porcos-csontos vázrendszer mellett a rend jellegzetes anatómiai sajátossága a megnyúlt orr-rész (rostrum) (KISS, 1997). A farokúszó jellemzően heterocerkális, vagyis a gerin/gerinchúr a felsőtestbe nyúlik (CHEBANOV & GALICH, 2013). A testet ganoid pikkelyek, valamint ezekből kialakuló öt sor csontos bőrlemez (scute) borítja; egy a háton a hátúszóig, kettő a test oldalain a farokúszóig, valamint kettő a has két oldalán, a hasúszóig terjedően (KÁROLI, 1877). A tokhalakra jellemző a nagyon hosszú élettartam, a késői ivaréérés, a ciklikus, többéves ívási stratégia, valamint bizonyos fajok esetében a jelentős testméret. A legtöbb faj anadrom; tengerben táplálkoznak, de szaporodni a folyókba vándorolnak. Számos tokfaj és populáció potamodrom életmódot folytat, vagyis vándorlása során teljes életciklusát édesvízi környezetben tölti.

A 20. században a tokalakúak állományai drasztikusan csökkentek, elterjedési területük pedig beszűkült. A hanyatlás főbb okai közé tartozik a túlzott halászati terhelés (beleértve az orvhalászatot), a vízrendezés következtében csökkenő ívóhelyek száma, valamint a vízszennyezés. A vándorlási útvonalakat keresztező akadályok számos folyórendszerben akadályozzák a populációk természetszerű megújulását. Napjainkban a vadon élő egyedek halászati fogása elenyésző mértékű, miközben az ikrájukból készülő kaviár iránti globális kereslet tovább súlyosbítja az állománycsökkenést (BRONZI ET AL., 2019; ORLOV ET AL., 2022).

2.2. A vágótok és kecsege jellemzése

2.2.1. A vágótok és kecsege rendszertani besorolása, morfológiai jellemzői

A tokalakúak (*Acipenseriformes*) rendjébe tartozó vágótok és kecsege az Ország: Állatok (*Animalia*),

↳ Törzs: Gerinchúrosok (*Chordata*),

↳ Altörzs: Gerincesek (*Vertebrata*),

↳ Altörzság: Állkapcsosak (*Gnathostomata*),

↳ Ágazat: Csontosvázúak (*Osteognathostomata*),

↳ Főosztály: Sugarasúszójú halak (*Actinopterygii*),

↳ Osztály: Valódi sugarasúszójúak (*Actinopteri*),

↳ Alosztály: Porcos ganoidok (*Chondrostei*) közé tartozik (BETANCUR ET AL., 2017).

A rend egy ősi leszármazási vonalat képvisel, amelybe két ma is létező élő család sorolható: a kanalastokfélék – (*Polyodontidae* (*Psephurus* és *Polyodon*)) és tokfélék (*Acipenseridae* (*Acipenser*, *Huso*, *Scaphirhynchus* és *Pseudoscaphirhynchus*)) (NELSON ET AL., 2016). Emellett a rend két fosszilis családot is magába foglal; *Chondrosteidae*† és *Peipiaosteidae*† (esetenként ide sorolják az *Errollichthyidae*-t is) (BEMIS ET AL., 1997). Az *Acipenseridae* család összes, Észak-Amerikában és Euráziában előforduló faja veszélyeztetettnek számít, és szerepel a Washingtoni Egyezmény (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora - CITES) mellékleteiben (RAYMAKERS, 2006). A Természetvédelmi Világszövetség (International Union for Conservation of Nature – IUCN) Vörös Listáján az *Acipenseriformes* rendbe tartozó 27 fajból egy kihaltnak (extinct (EX) - *Psephurus gladius*), egy a vadonban kihaltnak (extinct in the wild (EW) - *A. dabryanus*), a többi faj pedig sebezhető (vulnerable (VU)), veszélyeztetett (endangered (EN)) vagy kritikusan veszélyeztetett (critically endangered (CR) státuszba sorolható (IUCN, RED LIST OF THREATENED SPECIES, 2024).

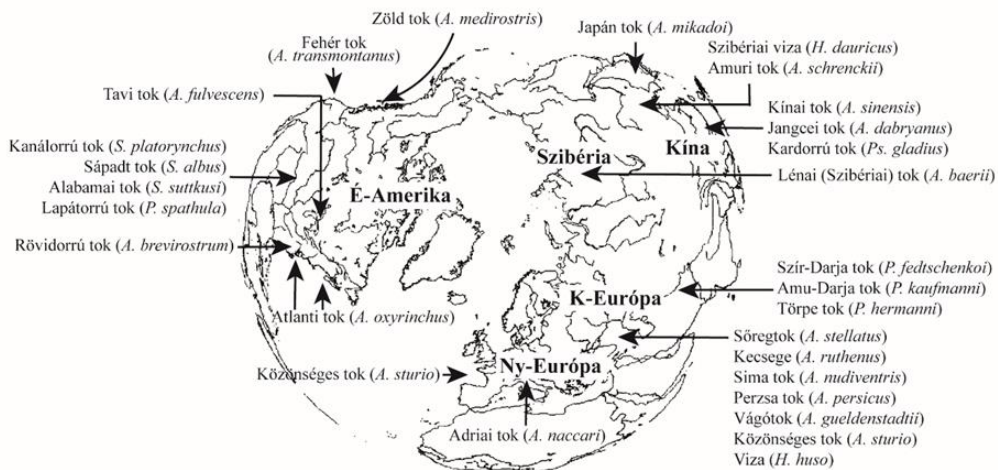
A vágótok teste orsó alakúan megnyúlt, orra tompa, rövid és lekerekített. Alsó állású szája fölött négy, nem rojtozott, rövid bajuszsál található, melyek a felső ajkat nem érik el. Az alsó ajak megszakított. A testet a vértörök között csillag alakú, eltérő méretű, elszórtan elhelyezkedő csontlemezek borítják. A vértörök nagyok, - a faj éles csúcsokról kapta a nevét - számuk a háton 10-18,

a hasi részen 6-12 (HARKA & SALLAI, 2004). Nagy méretű mellűszóinak első sugara elcsontosodott, hátűszója a farokrészen helyezkedik el. Testszíne igen változatos; a hát általában szürkésfekete vagy piszkoszöld, míg az oldalak és a has fehéres, piszkosfehér árnyalatú. A vágótok elérheti akár a 2,3 méteres hosszúságot, 110 kg testtömeget, valamint 50 év körüli életkort. Átlagosan 1,3-1,6 méter testhosszúságú és 20-40 kg tömegű (WEIPERTH, 2023A). A hazánkban Dunakiliténél (1999) fogott vágótok 11 kg tömegű volt és testhossza elérte a 123 cm-t (GUTI, 2000).

A kecsége rendelkezik a tokfélék közül a legkisebb kifejlett testmérettel. Teste megnyúlt, karcsú, orra hegyes és enyhén felfelé ívelt. Szája közepes méretű, az alsó ajak közepén kettéosztott. Az elsődleges jellemzők, amelyek megkülönböztetik a kecségét a nem többi fajának többségétől, a nagyszámú oldalsó vértpikkely és a belső felén rojtozott bajuszszálai, amelyek hátra simítva elérik a felső ajkakát és közelebb állnak a száj széléhez, mint az orr hegyéhez. A háti vérték száma 12-17, a hasi vértéké pedig 12-18 (HARKA & SALLAI, 2004). A megkülönböztető jegynek számító oldalsó vértör vértörainak száma 57-71 (PINTER & PÓCSI, 2002). Bőre érdes, apró csontpikkelyekkel sűrűn fedett, mely pikkelyek a has felé kisebbek. A mellű úszójának első sugara a tokokra jellemzően elcsontosodott és úszóit fehér sáv szegélyezi. A test színe barna, szürkésbarna, hasi oldalon sárgás. A tokfélék között lassú növekedésű fajnak számít. A maximális testhossza elérheti a 90 centimétert és akár a 6 kilogrammos testtömeget. Élettartama meghaladhatja a 20 évet (KÁROLI, 1877; CHEBANOV & GALICH, 2013; WEIPERTH, 2023B).

2.2.2. A vágótok és kecsége elterjedése

A recens és valaha élt fajok is igazolják az Acipenseriformes rend holarktikus elterjedését, mely az északi faunabirodalom részeként Észak-Amerikát és Eurázsia északi részét foglalja magába (WILLIOT ET AL., 2002; BENTACUR-R ET AL., 2017. MÜLLER & STASZNY, 2019). A legnagyobb fajszámmal a Ponto-Kaszpi régióban fordulnak elő, de néhány faj Kelet-Ázsiában és Szibériában, illetve Észak-Amerikában honos (1. ábra).



1. ábra. A tokalakúak rendjébe tartozó fajok elterjedése (Billiard & Lecointre (2001) nyomán módosítva)

A vágótok azon tokfajok közé sorolható, melynek elterjedési területe kifejezetten a Ponto-Kaspi régióban található. A Fekete-tenger, Kaszpi-tenger és Azovi-tenger vízgyűjtőjében és a hozzájuk kapcsolódó folyókban terjedt el, mint például a Volga és annak mellékfolyói, amely az elsődleges ívási területként szolgált a faj számára. A Fekete-tengerből többek között a Dunába és Dnieper-folyóba, az Azovi-tengerből pedig közvetlenül a Don-folyóba is eljutott (MEMİŞ, 2007; CHEBANOV & GALICH, 2013). A középkorban a vágótok gyakori fajnak számított a Duna magyarországi szakaszán is, azonban populációi az utóbbi évszázadok során jelentős hanyatlásnak indultak. Előfordulását észlelték a Drávában, a Vágban, Szávában, Murában és a Tiszában és mellékfolyóiban is (GUTI & GAEBELE, 2009). A Közép-Dunán a faj nem vándorló, teljesen édesvízi életmódra áttért formájának a jelenléte is kimutatható volt, igaz nagyon kis populációban (HENSEL & HOLČIK, 1997). A 16. századtól kezdődően a túlhalászat következtében jelentősen csökkentek a tokfogások, majd a 19. századra a tokhalak mindössze alkalmi fogásoknak számítottak a Közép-Duna felső szakaszán (KÁROLI, 1877; HERMAN, 1887). A Vaskapui vízlépcsők megépítése (1970, 1984) további nyomást gyakorolt a közép-dunai anadrom tokfélék maradványpopulációira, ami végül azok összeomlásához vezetett (GUTI & GAEBELE, 2009). Hazánkban a Ráckevei (Soroksári) Dunában észlelték utoljára 2023-ban (UDVARI & PFEIFER, 2023).

A kecsege őshonos halfajunk, mely a Fekete-tenger vidékéről vándorolt be hazánk területére a jégkorszak után (HARKA & SALLAI, 2004). Természetes elterjedési területe a Ponto-Kaspi-medence folyói (Volga, Ural, Don, Kuban,

Dnyeper, Bug és Duna), előfordulása kimutatható továbbá néhány északabbra fekvő vízrendszerben is, például az Északi-Dvina, az Ob és a Jenyiszej folyóban (CHEBANOV & GALICH, 2013; ORLOV ET AL., 2022). A kecsege a Volga legnagyobb mellékfolyójából, a Káma folyóból a Fehér-tenger medencéjébe (északi Dvina folyó) az 1830-as évek végén hatolt be, megjelenése a Balti-tenger medencéjében pedig a 19. századra tehető, mégpedig a Felső-Volga vízterületein keresztül (KONOVALOV & KONOVALOV, 2016). A kecsege napjainkban a Kárpát-medencében a leggyakrabban előforduló tokféle, amelynek előfordulását a legtöbb hazai vízből jelentették (HARKA & SALLAI, 2004). NYESTE ES MUNKATÁRSAI (2020) felmérése során 2019-ben a faj szórványos előfordulását észlelték hazánkban a Duna, a Tisza, a Szamos, a Maros, a Kettős-Körös, és Hármas-Körös különböző szakaszain, ami azt jelzi, hogy a kecsege kisebb populációi továbbra is jelen vannak a Duna hazai vízgyűjtőjén. Ezen kívül a Duna-deltától a Felső-Dunáig, egészen Regensburg vonaláig megtalálható. Állományai már az 1950-es évek elején hanyatlásnak indultak, feltételezhetően a fokozódó ipari tevékenységek vízszennyező hatása miatt (TÓTH, 1960). A folyók fokozatos duzzasztása tovább növelte a természetes populációkra nehezedő nyomást: táplálkozó- és ívóhelyeik jelentős része eltűnt, ami az állományok erőteljes visszaszorulásához vezetett (GUTI & GAEBELE, 2010).

2.2.3. A vágótok és kecsege biológiai sajátosságai

A vágótok napjaink egyik legértékesebb kereskedelmi értékkel bíró tokhalfaja. Életmódja szerint az anadrom vándorló halfajok közé tartozik, amely élete túlnyomó részét tengeri környezetben tölti, míg az édesvízi folyókba kizárólag ívás céljából vándorol (KHODOREVSKAYA ET AL., 2007; SAFARALIEV ET AL., 2013). Életciklusának további fontos eleme a szezonális táplálkozási vándorlás, amely tengeri környezetben zajlik és jelentős hatással van az állomány méretére és szerkezetére (KHODOREVSKAYA ET AL., 2007). Elterjedésének mintázata és állományának sűrűsége nagymértékben függ a tengeri környezet abiotikus tényezőitől és a rendelkezésre álló táplálékforrásoktól. Táplálkozásában a zoobentosz élőlényei játszanak nagy szerepet, amit alsó állású szája is tükröz. Jellemző táplálékszervezetei közé tartoznak a gyűrűsférgék (*Annelida*), ízeltlábúak (*Arthropoda*), puhatestűek (*Mollusca*), és rákfélék (*Crustacea*) (RUBAN ET AL., 2024). A táplálék felkutatásában a látásnak kisebb szerepe van, ehelyett a szájníylást körülvevő és bajuszszálakat borító receptorok segítik őket. A vágótok

az ivarérettséget viszonylag későn éri el: ez akár 10-20 évig is eltarthat (GUTI, 2000). Az ivarérettség elérését követően 4-5 évente akár 2000 km távolságokat is vándorol ívási céllal, amelyre a nagyobb, lassú sodrású, kavicsos aljzatú édesvízi folyószakaszokon kerül sor (GUTI, 2000). A vágótoknak két formája ismert: téli forma (hiemal) és tavaszi forma (vernal). Az egyes formákon belül további alcsoportok találhatóak, melyek ívási vándorlásuk tulajdonságaiban különböznek, mint például a folyókba való belépés időszaka, halak mérete, édesvízi ívóhelyen való tartózkodás időtartama, szaporodási időszak (CHEBANOV & GALICH, 2013). A vándorlás március-kora áprilistól novemberig tart, a késői vándorlók a folyókban telelnek át. A mederfenéken elszórt ikratételek 100-800 ezer ikraszemből áll, melyek átmérője 3-3,5 mm (HARKA & SALLAI, 2004).

A kecsege a potamodrom faj, vagyis vándorlását kizárólag édesvízben végzi. A gyorsabb folyású, magas oxigéntelítettségű vizeket részesíti előnyben. Táplálkozását tekintve bentikus jellegű, táplálékát a mederfenéken keresi. A kifejlett kecsege táplálékának jelentős részét a tegzesek (*Trichoptera*), a felemáslábú rákok (*Anuoguoisa*), árvaszúnyog lárvák (*Chironomida*), egyéb rovarok (*Diptera*, *Ephemeroptera*), kagylófajok (pl. *Sphaerium corneum*) és férgek (*Oligochaeta*) alkotják (PINTER & PÓCSI, 2002). A legnagyobb kérészünknek, a tiszavirágnak (*Palingenia longicauda*) otthont adó folyószakaszokon is megtalálható, mivel előszeretettel fogyasztja annak lárváját (HARKA & SALLAI, 2004). A kecsege tejesek 4-5 évesen, míg az ikrások 5-6 évesen érik el az ivarérettséget (PINTER, 1977). Az ívási vándorlás során a halak nagyobb rajokba tömörülnek, és folyásiránnyal szemben úsznak az ívóhelyeik felé. Esetenként ivarilag éretlen egyedek is vándorolnak velük. A szaporodási vándorlás a folyón akár 300 km-t is elérheti (HOLČIK, 1989). Az ívás hazánkban nagyjából április végén kezdődik, amikor a vízhőmérséklet eléri a 7-10 °C-ot és egészen június elejéig eltarthat. A tejesekkel ellentétben az ikrás egyedekre nem jellemző az évenkénti szaporodás. Egy szaporodási időszakban az ikrásoknak több részletben zajlik az ívása, testnagyságtól függően egyedenként 4-100 ezer ikrát a folyók mélyebb, homokos és sóderes szakaszain tesz le. Ikrájának átmérője 2,5-3,5 mm (HARKA & SALLAI, 2004). A kecsege az egyetlen faj a renden belül, amely mind Ázsia, mind Európa vizeiben megtalálható, és két különböző kontinensen is létezik ívó állománya (BEMIS & KYNARD, 1997).

2.2.4. A tokállományok természetvédelmi jelentősége, különös tekintettel a vágótokra és a kecségre

A vadon élő tokhalállományt az 1980-as évek vége óta drámaian csökkenő tendencia jellemzi, ami az élőhelyek komoly romlásának, valamint a természetes és a szabadon engedett tokhalak kaviártermelés céljából történő túlhalászásának tudható be (ELHETAWY ET AL., 2023). Úgy vélik, hogy a tokhalakra a Felső-Dunában az élőhelyük romlása, a Közép-Dunában a vándorlási útvonalaik gátépítések miatti megszakadása, míg az Alsó-Dunában és a Fekete-tengerben a szennyezés és a túlhalászás jelenti a legnagyobb veszélyt (BLOESCH ET AL., 2006). A tokfélék jelentőségét számos nemzetközi egyezmény, megállapodás és kezdeményezés ismerte el, mint például a CITES, az Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezet (FAO), a TRAFFIC (The Wildlife Trade Monitoring Network), a WWF (World Wild Fund for Nature), a CMS - Bonni Egyezmény (*Egyezmény a vándorló vadon élő állatfajok védelméről*) és a Berni Egyezmény (*Egyezmény az európai vadon élő állatok és természetes élőhelyek védelméről*), valamint több listán is helyet kaptak (Natura 2000 lista, IUCN Red List). Az IUCN kezdeményezésére 1997-ben a világ összes kereskedelmi célú tokhalfaját felvették a CITES-egyezmény II. mellékletébe. Ezzel nemzetközileg elfogadott kereskedelmi kvótákat vezettek be, elősegítve e súlyosan veszélyeztetett fajok védelmét (CITES EXPORT QUOTAS, 2012).

A vágótok az IUCN Veszélyeztetett Fajok Vörös Könyvének listáján fokozottan veszélyeztetett (CR) faj. Magyarországon 1988 óta védett, természetvédelmi értéke 50 000 Ft. A faj szerepel az 1979-ben létrejött Bonni Egyezmény II. mellékletében (A Bonni Egyezmény II. melléklete azon vándorló állatfajokat sorolja fel, amelyek kedvezőtlen természetvédelmi helyzetben vannak, és megőrzésük nemzetközi együttműködést igényel. Ezekre a fajokra a részes államoknak koordinált intézkedéseket és közös védelmi programokat kell kidolgozniuk). A vágótok a Natura 2000, és az Élőhelyvédelmi irányelv V. mellékletében is szerepel, amely lehetővé teszi a közösségi jelentőségű fajok vadon történő begyűjtésének és hasznosításának igazgatási szabályozását. A tagállamoknak biztosítaniuk kell, hogy ezek a tevékenységek összeegyeztethetőek legyenek a fajok kedvező természetvédelmi helyzetének fenntartásával.

A kecsége az IUCN vörös listáján veszélyeztetett (EN) faj (IUCN, RED LIST, 2024). A kecsége felkerült a Natura 2000 és Élőhelyvédelmi irányelv V.

mellékletébe is. 1974-1982-ig a kecsge védett fajnak minősült hazánkban, majd védett státuszát megszüntették és hasznosítását korlátozó intézkedéseket vezettek be. A csökkenő fogási adatok, a szaporodási problémák, valamint az ivadék-visszatelepítések ellenére fennálló kedvezőtlen tendencia miatt a 133/2013. (XII. 29.) VM rendelet a kecsgét 2014-től a „nem fogható” halfajok közé sorolta. Kifogása után külön engedéllyel vihető csak el, fogásának tilalmi időszaka március 1-május 31. A faj - a vágótokhoz hasonlóan – szerepel a Bonni Egyezmény II. mellékletében, valamint az 1979-ben létrejött Berni egyezmény III. függelékében. Az egyezmény ösztönzi a kipusztulás szélén álló európai fajok visszatelepítését és annak szakmai megalapozását, továbbá rendelkezéseket tartalmaz az idegen fajok betelepülésének ellenőrzése és az ellenük való védekezés érdekében is.

Egy komplex akcióterv is kidolgozásra került a Berni Egyezmény Állandó Bizottságának jóváhagyásával (2005) a dunai tokfélék eltűnésének megakadályozása érdekében: Sturgeon Action Plan, AP 2006. A cselekvési terv 12 célkitűzésen és 72 intézkedésen alapul (BLOESCH ET AL., 2006). Az EU Duna Régió Stratégiájának (EUSDR), tudományos, kormányzati és civil szervezetek támogatásával, 2012 januárjában létrehozta a Duna Tokhal Munkacsoportot (Danube Sturgeon Task Force, DSTF). A DSTF célja, hogy elősegítse az együttműködést a meglévő szervezetek között (például EUSDR (EU Duna Régió Stratégiája), melynek keretében kiemelt cél a tokfélék védelme, amelyet a DSTF koordinál nemzetközi együttműködésben), valamint támogassa a Duna-medencében és a Fekete-tengerben élő őshonos tokfélék védelmét a „Sturgeon 2020” program keretében. A jelenleg is aktív legújabb kezdeményezés a „Páneurópai Cselekvési Terv a Tokokért” (2018) – amelyet a Berni Egyezmény tagállamai, az Európai Bizottság és az úgynevezett Galati-nyilatkozat (egy 2010-es nemzetközi politikai nyilatkozat, amelyben a Duna-menti országok vállalták a vándorló tokhalfajok megóvását és a természetes populációik helyreállítását) is támogatott. Az összes Duna-menti ország aláírta, köztük Magyarország is. A terv célja, hogy nemzetközi szintű együttműködéssel megakadályozza a vándorló tokfélék kipusztulását, visszaállítsa a még meglévő populációk kedvező természetvédelmi státuszát (IUCN: „legkevésbé aggasztó”, Élőhelyvédelmi Irányelv: „kedvező”), valamint helyreállítsa az önfenntartó tokállományokat és élőhelyeiket a történelmi elterjedési területeken, biztosítva ezzel hosszú távú fennmaradásukat. A terv célja, hogy nemzetközi szintű együttműködéssel megakadályozza a vándorló tokfélék kipusztulását, visszaállítsa a még meglévő

populációk kedvező természetvédelmi státuszát (IUCN: „legkevésbé aggasztó”, Élőhelyvédelmi Irányelv: „kedvező”), valamint helyreállítsa az önfenntartó tokállományokat és élőhelyeiket a történelmi elterjedési területeken, biztosítva ezzel hosszú távú fennmaradásukat. A terv időtartama 2029-ig tart, ez idő alatt hatékony és összehangolt helyreállítási/újraélesztési programokat vezetnek be. A program részeként fut a „LIFE-Nature and Biodiversity” elnevezésű, 7 éves projekt is, amelyben Magyarországot a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Halászati Kutató Központja (HAKI, Szarvas) képviseli. A célfajok között szerepel a vágótok és a kecsge, valamint a viza (*Huso huso*) és a söregtok (*A. stellatus*) is.

2.3. Tokfélék tenyésztése és tartása kontrollált körülmények között

A tokfélék indukált szaporítása és nevelése rendkívül gazdag szakirodalmi háttérrel rendelkezik, amely részletesen tárgyalja a termelés technológiai elemeit, mint az anyahalak beszerzése, kiválasztása, tartása és előkészítése és az ahhoz kapcsolódó technológiai megoldásokat, a szaporítás technológiai megoldásait, a lárvakeltetést és technológiai megoldásait, és a biológiai sajátosságokat. Jelen dolgozatomban azonban nem törekszem a teljes spektrum részletes bemutatására, hanem a dolgozat témájához illeszkedően, a lárva- és ivadéknevelés sajátosságaira helyezem a hangsúlyt.

A tokhalfajok tenyésztésének egyik meghatározó jellemzője a vertikálisan integrált rendszer, amelyben a halak teljes életciklusa – a keltetéstől egészen a betakarításig – ellenőrzött körülmények között zajlik (LOBANOV ET AL., 2023). Ez a hosszú életciklusú fajok esetén különösen jelentős, hiszen a termelés gazdaságosságát erősen befolyásolja az idő- és erőforrásigény. A tokfélék lárvastádiumban különösen érzékenyek, ezért a teljes nevelési ciklus során precízen szabályozott környezeti feltételekre van szükség (LOBANOV ET AL., 2023). A leggyakrabban alkalmazott rendszerek az átfolyóvízes technológia, a recirkulációs akvakultúra rendszerek (RAS), a ketreces tenyésztés, valamint ezek kombinációi (BRONZI ET AL., 2019).

2.3.1. Lárva- és ivadéknevelés, növendéktartás kontrollált körülmények között

A tokfélék előnevelése történhet zárt (medencés) rendszerekben, illetve nyílt (tavi) körülmények között. A tavi előnevelés az ivadékok túlélése szempontjából rendszerint alacsonyabb túlélési arányt eredményez, amely a környezeti tényezők

kevésbé kontrollálható jellegéből fakad. Ennek okán célszerű előnyben részesíteni a medencés előnevelési eljárásokat. Ugyanakkor a nevelési szakaszokhoz igazítottan a két technológia kombinációja is alkalmazható, különös tekintettel a költséghatékonyság növelésének vagy a természetes környezethez való fokozatos adaptáció biztosításának céljából. A tavi előnevelési technológia során a lárvákat kezdetben tavi ketrecekben, majd a táplálkozás megindulását követően a sekély, kis vízfelületű ivadéknevelő tavakba helyezik el (MILSTEIN, 1972).

A tokfélék lárvális fejlődésének korai szakaszában jelentős méretű szikhólyaggal rendelkeznek, amelyet a kelést követő napok során a halak fokozatosan felélnek. Ezen időszak alatt az ivadékok kizárólag az endogén tartalékaikra támaszkodnak, exogén vagy a környezetből történő külső táplálékfelvétel nem történik. A szikhólyag kimerülését követően fokozatos áttérés figyelhető meg a külső táplálékforrások felhasználására, amely általában a kelés utáni 8–12. nap között megy végbe. A fejlődési ütemet, beleértve a szikanyag felszívódását is, elsősorban a víz hőmérséklet, valamint a tenyésztett tokfaj határozza meg. A kelés és az exogén táplálkozásra való áttérés közötti időszakban a lárvák tömege fajonként eltérő módon változik. A kikelést követően a lárvákat jellemzően 2,5–3 méter átmérőjű, 5–7 m² alapterületű, kör alakú medencékbe telepítik. A víz áramlási sebessége az idő múlásával növelhető: az első hét során 0,17 l/s-ról a lárvák fejlődésével arányosan 0,34 l/s-ra emelhető (VEDRASCO ET AL., 2002). A tokfélék lárvái a vízoszlopban ún. „gyertyázó” mozgást végeznek, amely természetes környezetben a sodrás által előidézett passzív terjedést segíti elő. A prelarva – amely a halembrió és az önálló táplálkozásra képes lárva közötti átmeneti fejlődési állapot – mozgására jellemző a pozitív fototaxis, azaz a fény irányába történő orientáció (CHEBANOV & GALICH, 2013). Az exogén táplálkozás megindulásának egyik előre jelezhető fiziológiai indikátora a béltraktus végső szakaszában található ún. ’melanin dugó’ kiürülése. Fontos azonban megjegyezni, hogy a táplálékfelvétel a ’melanin dugó’ jelenléte mellett is megkezdődhet (GHELICHI ET AL., 2010). A lárvák exogén táplálkozásának kezdete rendkívül érzékeny és kritikus periódus, amely döntően befolyásolja a későbbi túlélési arányt és növekedési dinamikát. A szikhólyag teljes felszívódását követően akár rövid ideig fennálló táplálékhiány is negatívan hathat a fejlődésre: rendellenes viselkedésformák és morfológiai elváltozások jelentkezhetnek, a tápcsatorna és a törzsizomzat degenerációja léphet fel, valamint csökkenhet a tápanyaghasznosítás hatékonysága és az ivadékok táplálkozási aktivitása (HEMING ET AL., 1982).

A tavi és a medencés előnevelési rendszerek között jelentős különbség mutatkozik a természetes táplálékkínálat tekintetében. Míg jól előkészített tavi körülmények között az élő planktonikus szervezetek szinte korlátlan mennyiségben állnak rendelkezésre, addig zárt rendszerű, medencés környezetben az ivadékok táplálékát teljes mértékben a tenyésztő határozza meg. Noha napjainkban számos kiváló minőségű, kereskedelmi forgalomban kapható, formulázott indító takarmány érhető el, a szakirodalom következetesen hangsúlyozza az élő táplálék kezdeti alkalmazásának fontosságát a sikeres előnevelés érdekében (MOHLER ET AL., 2000; EBRAHIMI & ZARE, 2005; WILLIOT ET AL., 2005). Az élő eleség több szempontból is előnyösnek tekinthető a tokfélék lárvális fejlődésének korai szakaszában. Egyrészt, ebben az időszakban az emésztőenzimek aktivitása még alacsony (ŻÓŁTKOWSKA ET AL., 1999; ASGARI ET AL., 2014), másrészt a bélcsatorna hossza – különösen a lárvák esetében – jelentősen rövidebb, mint az idősebb ivadékoknál, ami az emésztéshez szükséges expozíciós időt is korlátozza (GOVONI, 1986). A mesterséges keveréktakarmányok hatékony emésztése azonban aktív enzimszert igényel, amelyet az élő táplálék természetes módon biztosít (CAHU & ZAMBONINO-INFANTE, 2001). Az elsődleges takarmányozás módjára adott válasz ugyanakkor fajspecifikus eltéréseket mutat. Az élő eleségek további előnye a kedvező tápanyagprofil, valamint az a lehetőség, hogy viszonylag egyszerű módszerekkel dúsíthatók esszenciális tápanyagokkal, például zsírsavakkal, vitaminokkal vagy pigmentekkel, a lárvák specifikus igényeinek megfelelően (KOVEN ET AL., 2001; KANDATHIL RADHAKRISHNAN ET AL., 2020). Az akvakultúrában leggyakrabban alkalmazott élő táplálékorganizmusként említhetők a kerekcsigák vagy Rotatoria (pl. *Brachionus* spp.), a planktonikus rákfajok, mint az ágasesápú rákok vagy Cladocera (pl. *Daphnia* és *Moina* spp.), valamint az evezőlábú rákok vagy Copepoda rend képviselői. Továbbá a *Chironomidae* családba tartozó árvaszúnyoglárva (*Chironomus* spp.) és a *Tubificidae* családba sorolt Tubifex fajok. Mind édesvízi, mind tengeri akvakultúrában kiemelkedő jelentőséggel bír a sórak (*Artemia* spp.) alkalmazása, amely a legszélesebb körben használt élő táplálékforrások egyike (MADKOUR ET AL., 2023). Az élő táplálékok fagyasztott formában történő alkalmazása szintén elterjedt gyakorlat, amely megkönnyíti a tárolást és biztosítja a folyamatos hozzáférést. Az etetés jellemzően 'ad libitum' történik a kezdeti szakaszban, azaz a halakat jóllakásig táplálják. A szakirodalom

szerint a 100%-os etetési ráta megfelelő a korai fejlődési stádiumban, amelyet a növekedés előrehaladtával fokozatosan csökkentenek (RÓNYAI ET AL., 2010).

A tokfélék ivadéknevelésének egyik legkritikusabb szakasza az élő (vagy vegyes) takarmányról történő áttérés a teljesen formulázott, mesterséges táplálékra. Az átállás időzítése és időtartama fajspecifikus eltéréseket mutat, amely elsősorban az egyes fajok táplálékfelvételi viselkedésével és emésztési sajátosságaival áll összefüggésben. Az áttérési folyamat során az élő takarmány mennyisége fokozatosan csökken, míg ezzel párhuzamosan a mesterséges indító takarmány adagolása növekszik. A kereskedelemben elérhető indító takarmányok kis szemcsemérettel készülnek, és összetételüket tekintve a fiatal halak igényeihez igazodnak: általában 50–60% fehérje- és 9–16% zsírtartalommal rendelkeznek (PONOMAREV ET AL., 2002). A tápszemcse mérete, valamint a beltartalmi paraméterek a halak testméretével és fejlődési stádiumával párhuzamosan változnak. A medencés előnevelési rendszerekben különös figyelmet kell fordítani a vízminőségi paraméterek folyamatos monitorozására, valamint azoknak a fajspecifikus optimális tartományban való tartására. A tokfélék esetében az ideális víz hőmérséklet 16–22 °C között alakul, míg az oldott oxigén koncentrációja nem süllyedhet 6 mg/l alá (RÓNYAI ET AL., 2010). Az előnevelés során a vízterek higiéniai állapotának fenntartása kiemelten fontos: a kádakból naponta el kell távolítani a takarmánymaradványokat és az ürüléket, valamint a felületeket 2–3 naponta szivaccsal tisztítani szükséges a fertőzések megelőzése érdekében.

Az előnevelési szakaszt követően a halak további nevelése jellemzően extrudált tápokkal történik. A növendékhalakat ekkor vagy nagyobb, medencés rendszerű ivadéknevelőkbe, vagy tavi medencékbe helyezik ki. A zárt rendszerek előnye, hogy a hőmérséklet és az oxigénszint szabályozható marad; ebben a szakaszban az optimális víz hőmérséklet 18–22 °C, míg az oldott oxigéntartalom továbbra is legalább 6 mg/l kell legyen. A vízminőség további kulcsparaméterei közé tartozik az ammónium-ion (NH_4^+) és a nitrit (NO_2^-) koncentrációja, melyek értéke nem haladhatja meg a 0,1 mg/l-t. A használt takarmány beltartalma ebben a szakaszban jellemzően 42–50% fehérjét és 8–20% zsírt tartalmaz (MÉZES ET AL., 2020).

A növendékhalak tartása az ivarérettség eléréséig vagy természetes vizekbe történő visszatelepítésig földmedrű tavakban, illetve tavi medencékben történik. A „tó a tóban” technológia – mely mesterséges medencék integrációját jelenti természetes tavakba – eredményesnek bizonyult több tokfaj, például a vágótok, a

lénai tok (*Acipenser baerii*) és a kecsge anyahalainak tartásának esetében is (RÓNYAI & BORBÉLY, 2012). E fejlett tartástechnológiai fázisban a takarmányozás kizárólag pelletált tápokkal történik. A növénykhalak megnövekedett testméretük révén már kevésbé érzékenyek a predációra, mint lárvakorban. A saját nevelésű állományokat az őszi lehalászás során ivarérettségi vizsgálatnak vetik alá, majd a kiválasztott „anyajelölt” egyedeket tavasszal tenyészhallá minősítik. Ezt követően az anyahalakat egyedi azonosítóval látják el, és génbanki nyilvántartásba kerülnek.

2.3.2. Tokfélék táplálkozása és takarmányozása

2.3.2.1. A tokfélék emésztőrendszerének és takarmányozásának általános leírása

A tokfélékre jellemző az alsó állású, közepes méretű szájnyílás, mely teleszkópszerűen előre nyújtható. Az ajkak kemények és porcosak, míg az alsó ajak közepén megszakított, a felső ajak az alsó felé kicsit becsúcsosodik. A bentikus életmódhoz alkalmazkodva, a szemek kicsik és nem játszanak szerepet sem a tájékozódásban, sem pedig a táplálékkeresésben (PINTÉR, 1977). Az élelemfelvétel során kemoreceptorok és mechanoreceptorok segítenek a gyenge látás kompenzálásában, melyek a száj körül, az orron, a szájüregben és a bajuszszálakon találhatóak. Az emésztés során a táplálékot a szájüregen keresztül szippantják be, majd a kopoltyúkon keresztül kiszűrrik a nem táplálékul szolgáló részecskéket. A tokfélékben nem találhatóak ránőtt fogak, továbbá a pilorusz függelék biztosítja a tápanyagok felszívódásának megnövekedett hatékonyságát. A hasnyálmirigy a tokfélékben önálló szervként termeli az emésztő enzimek jelentős részét. Bár a bélcsatorna hossza a test teljes hosszának 87%-a, az emésztés hatékonysága a pilorusz függeléknek köszönhetően viszonylag jó. A tápanyagok felszívódása a kehelysejtekben gazdag vékonybél mélyebb rétegeiben zajlik (MÉZES, 2019). Az emészthetőség és a tápanyagfelvétel optimalizálása érdekében mesterséges körülmények között javasolt a táplálékot többször, kis adagokban adagolni (RÓNYAI, 1997).

Medencés körülmények között a külső táplálkozás megkezdése során a takarmányozás természetes élő és fagyasztott, ill. mesterséges granulált tápokkal is kezdhető. A tokfélék korai fejlődése három fázist foglal magába: az első - a szikzacskós lárva-stádium, a második - az aktívan táplálkozó lárva, a harmadik - a metamorfózis, amelynek során az enzimaktivitás eléri a fiatal és felnőtt egyedekre

jellemző szintet (BUDDINGTON, 1985; ŻÓLTOWSKA ET AL., 1999). Hagyományosan a keltetőházban termelt tok lárvákat és ivadékokat élő táplálékon nevelték fel, figyelembe véve azok ragadozó természetét (GISBERT & WILLIOT, 2002). Az élő takarmány alkalmazásának számos előnye van (lásd részletesen a 2.4.1.1. fejezetben), mint például a könnyű elfogadhatósága. Növeli a lárvák ellenállóképességét a stresszhatásokkal szemben az élő eleség különböző tápanyagokkal történő dúsítása, kifejezetten az n-3 többszörösen telítetlen zsírsavak használata. Az *Artemia sp.* nauplii jól alkalmazható a tokivadékok elsődleges táplálására. Költséges beszerezhetősége ellenére, könnyen, nagy mennyiség előállítható a hűtve tárolható száraz cisztákból, mely sokáig eltartható (lásd részletesen 2.4.1.1. fejezet). Az *Artemia* dúsításának folyamata napjainkra már jól kidolgozott (TAMARU ET AL., 2000), és a gyakorlatban többféle, előre elkészített dúsítókészítmény is rendelkezésre áll. A tokfélék lárvakultúrájában emellett az édesvízi zooplankton fajok (pl. *Daphnia*, *Moina*), a chironomidák lárvái (lásd 2.4.1.1. fejezet), a tubificidák és az enchytraeidae férgek is ígéretes táplálékszervezetek. Például FELEDI ES MUNKATÁRSAI (2013) a kecsege európai és szibériai alfajának lárvanevelése során kezdő takarmányként élő *Tubifex* férget használt. Ehhez a tanulmányhoz hasonlóan az 1-2 g testtömegű kecsegék a leggyorsabb növekedést akkor mutatták, amikor tubifex és chironomid-lárvákkal etették őket (WEBER, 1966), míg a vágótok kezdő élő-takarmányozása során a zooplankton használata bizonyult eredményesnek (MEMIŞ ET AL., 2009). Az élő eleség takarmányozásának napi mennyisége 20%-tól egészen 100%-ig változhat tok fajától és a táplálék típusától függően (CHEBANOV & GALICH, 2013; MEZES, 2019). A gyűrűsférgeket és szúnyoglárvákat kezdetben darabolva vagy turmixolva kínálják a kis szájnírással rendelkező lárváknak. A korai életszakaszban történő takarmányozás során kiemelten fontos a takarmányadagolás pontos szabályozása, különös tekintettel táplálék túladagolásának elkerülésére az első napokban. Ennek érdekében javasolt a halakat gyakrabban, kis adagokban takarmányozni. A kezdeti élő tápadagokat kombinált etetés (élő és száraz takarmány) közben fokozatosan érdemes csökkenteni, ezzel egyidejűleg a meseterséges táp mennyiségét fokozatosan növelni a takarmányban, míg teljesen kiváltja azt a kereskedelmi táp (PORTELLA & DABROWSKI, 2008). Számos vizsgálat alátámasztotta, hogy egyes tokfajok lárvái az exogén táplálkozás kezdetétől kizárólag száraz takarmányon is nevelhetők viszonylag kedvező növekedési és túlélési eredménnyel (pl. FASHTOMI & MOHSENI, 2006; HAMLIN ET AL., 2006; NAPORA-RUTKOWSKI ET AL., 2009). Más

fajok esetében azonban az élő takarmány 10-30 napig történő alkalmazása elengedhetetlen a mesterséges táplálékra történő átszoktatás elősegítése érdekében (MOHLER, 2000; EBRAHIMI, 2006). A vágótok lárvája is ebbe a csoportba sorolható (VEDRASCO ET AL., 2002). A száraz táppal történő takarmányozásra való áttérés minél korábbi megvalósítása költség- és munkahatékonysági szempontból előnyös (ZHAO ET AL., 2020), azonban az átszoktatás megkezdésének idejéről és módszertanáról található információk a szakirodalomban nem tekinthetők egységesnek. A jelenleg is széles körben alkalmazott másik módszer a vegyes takarmányozás, mely során természetes és mesterséges száraz tápot egyidejűleg is kínálnak a halaknak. Egy ilyen vegyes takarmányozási módszer (az úgynevezett co-feeding stratégia) során a növekedési ráták nem maradnak el, sőt, egyes esetekben meghaladják a kizárólag élő eleséggel takarmányozott csoportok értékeit (PEOPLE LE RUYET ET AL., 1993). Számos tanulmány írta le a vegyes takarmányozási módszerek sikeres alkalmazását különböző tokfajok esetében (AGH ET AL., 2012; AGH ET AL., 2013; ASGARI ET AL., 2014; LEE ET AL., 2022).

Az ideális tok-lárvatáp kisméretű (0,5-1,4 mm átmérőjű), puha pellet formájában készül, amelyek gyorsan lesüllyednek a nevelőmedence aljára, elősegítve ezzel a lárva táplálékfelvételét (GISBERT & WILLIOT, 2002). Az kezdeti táp ajánlott mennyisége a teljes halbiomassza körülbelül 15 %-át teszi ki, amely fokozatosan 10 %, majd a körülbelül 30 nap után 5 %-ra csökkenthető (GISBERT & WILLIOT, 1997). A halak növekedésével egyidejűleg, a tápméret is változik. A helyesen takarmányozott 33 napos vágótok lárva és a 27 napos kecsge lárva is képes elfogyasztani a 800-1200 µm szemcseméretű takarmányt (MEMIŞ ET AL., 2009; RÓNYAI & FELEDI, 2012). A takarmányadagot és a pelletméretet 2-5 naponta a medence becsült biomasszájához kell igazítani. A korai takarmányozás általában manuálisan történik, napi 5-6 adagban, majd a továbbiakban automata etetőк biztosítják a táp elosztását. A halak növekedésével a tápok tápanyagösszetevői is változnak. Míg a starter tápok magas fehérjetartalommal (akár 60 %) és közepes vagy alacsony zsírtartalommal (10-15%), a nagyobb szemcseméretű növendék tápok ennél alacsonyabb fehérjetartalmi értékekkel (40-48 % körül) és változó energiatartalommal rendelkeznek a tenyésztés céljától függően. A megfelelő fehérjetartalmú táp kiválasztása a tok fajtától is függ, például a lénai tok esetében a 26-32 %-os fehérjetartalmú takarmány is elegendő lehet a megfelelő növekedés és egészségi állapot fenntartása szempontjából (RÓNYAI & BORBELY, 2012). A széles, tokoknak ajánlott tápok kínálatában megtalálhatóak kifejezetten kaviártermelésre

optimalizált tápok is, melyek szintén magas fehérjetartalommal rendelkeznek (48-50 %), azonban a starter tápok fehérjetartalmi értékeit nem érik el. A tokoknak szánt takarmányok halliszt alapúak, emellett szójadara, kukoricaglutén és búza található bennük, amelyeket minimálisan kiegészítenek különböző vitaminokkal, mint például az A-vitamin (15 000NE/kg), C-vitamin (200 mg/kg), D3-vitamin (2000 NE), E-vitamin (300 mg/kg), tiamin, riboflavin, biotin, niacin, folsav és egyéb ásványi anyagok. A takarmány zsírtartalmán belül a fiatal halak igénylik a többszörösen telítetlen zsírsavak jelenlétét, amely halolaj hozzáadásával biztosítható. A későbbi fejlődési fázisokban is fontos biztosítani a növendék halak számára a többszörösen telítetlen zsírsavak magas arányát, vitaminokat és ásványi anyagokat (MEZES, 2019). A napi ajánlott takarmányadag irányadó értékei a vízhőmérséklet és a halak átlagtömegének függvényében a gyártó internetes oldalán vagy a csomagoláson megtalálható.

2.4. Kutatási háttér általános bemutatása

2.4.1. Élő- és teljes értékű keveréktakarmányok jellemzői és a tokfélékre gyakorolt hatásuk

2.4.1.1. Élő táplálék általános jellemzői akvakultúrák temelésben

Az élő szervezetek, - fitoplankton, zooplankton, és rovarlárvák - számos akvakultúra-faj számára alkalmas induló takarmányok, így az akvakultúrában betöltött szerepük nagyon jelentős. A zoo- és fitoplankton magas táplálékanyag-tartalmú makro- és mikrotápanyagokat tartalmaz, ezért általában „élő táplálékkapszuláknak” is nevezik őket. Ezek a vízben szabadon úszó élő takarmányszervezetek folyamatosan elérhetőek a frissen kikelt lárvák számára és a vízoszlopban történő mozgásuknak köszönhetően táplálkozási reakciót váltanak ki bennük (BENGTSON, 2003). A vékony külső vázzal rendelkező, magas víztartalmú (általában 80% <) élő zsákmány alacsonyabb tápanyag-koncentrációval rendelkezik, ízletességük és könnyű fogyaszthatóságuk miatt előnyösebbek lehetnek a lárvák számára, mint a kemény, száraz, formázott takarmányok. Ez utóbbi szempont meglehetősen kritikus a kezdeti táplálkozási fázisban, mivel a takarmányszemeseknek a lárvák szájnnyílásához kell igazodnia, egészben kell a szájba kerülnie (FERNÁNDEZ-DÍAZ ET AL., 1994; BENGTSON, 2003). Ezzel ellentétben, az élő takarmány előnyei közé tartozik a könnyű lenyelhetőség,

könnyű emészthetőség (KINNE, 1997), valamint exogén emésztinzim forrás mivoltuk, amely támogatja a lárvák emésztését (PERSON, 1989), alapvető növekedéshez szükséges zsírsavak és aminosavak tartalmaznak, továbbá nem befolyásolják a vízminőséget (WATANABE ET AL., 1978). Ugyanakkor az élő táplálék használatának hátrányai közé tartozik a költséges beszerezhetőség, valamint, hogy tenyésztése és fenntartása energia-, idő-, hely- és munkaigényes, illetve potenciális biológiai kockázatot jelenthetnek a tenyésztőrendszerekbe behurcolt kórokozók révén (DVORAK, 2009). A zooplankton fontos szerepet tölt be a táplálékláncban, számos hal és garnéla számára alapvető – bizonyos életszakaszaiban vagy akár teljes életciklusán keresztül –táplálékforrásként szolgál.

Az *Artemia* sp. a levéllábú rákok - Branchiopoda osztályba tartozó rákfélék viszonylag kezdetleges formája. Az *Artemia* az akvakultúrában leggyakrabban használt élő zsákmányállat. A beszerzési költsége viszonylag magas a természetben való nehéz fellelhetősége és a megnövekedett kereslete miatt. Nagy népszerűsége mind az akvakultúrában, mind az akvarisztikában főként könnyű kezelhetőségének és tömeges tenyészthetőségének köszönhető. Egyik pozitív tulajdonsága, hogy képes nyugalmi cisztákat képezni, amelyek évekig életképesek maradnak (figyelemre méltó „eltarthatósági idő”), ezért rendkívül kényelmesen szállíthatók, tárolhatók és felhasználhatók. Általában száraz (vákuumcsomagolásban) és hűvös körülmények között tárolhatóak, és szükség esetén egyszerűen rehidratálhatók vízben, majd kedvező környezeti feltételek mellett kevesebb, mint 24 óra alatt kikelnek. A sórák nauplit keltetésének egyszerűsége az elérhető legkényelmesebb és legkevésbé munkaigényes élő táplálékká teszi az akvakultúrában (LAVENS & SORGELOOS, 2000). Az *Artemia nauplius* első fejlődési stádiumában (instar I.) még az endogén tartaléktápanyagaira támaszkodik, emésztőcsöve még fejletlen, a száj és a végbélnyílás pedig zárva van. A kelés után mintegy 8 óra elteltével a nauplius átlép a metanauplius I. (instar II.) stádiumba, amelyben már képes kis táplálékrészecskék (6,8-27,5 μm , optimális esetben 16,0 μm) szűrésére (VAN STAPPEN, 1996; FERNANDEZ, 2001). A metanaupliusok folyamatos, nem szelektív szűrőtáplálkozású szervezetek. Az eltérő *Artemia* fajok és törzsek jelentősen különbözhetnek a ciszták átmérője, a kikelt naupliák hossza (400 - 500 μm között változik), a kelési szinkronitás és hatékonyság (általában 150-250 000 naupliát számolnak egy gramm cisztára), a növekedési sebesség, a biokémiai összetétel

(esszenciális zsírsavak, aszkorbinsav, pigmentek és nyomelemek) és így a táplálkozási érték tekintetében. A frissen kikelt *Artemia* összetétele (szárazanyagra vonatkoztatva értendő) megközelítőleg 56,2% fehérjét, 17,0% lipidet, 3,6% szénhidrátot és 7,6% hamut tartalmaz (GARCIA ET AL., 1998). A frissen kikelt naupli azonnal feletethető a tenyészállománnyal, ugyanakkor szükség esetén 4 °C hőmérsékleten akár 48 órán keresztül is el lehet tárolni anélkül, hogy jelentősen veszítenének a táplálóértékeikből (Bengtson et al., 2018). Noha az *Artemia*-t széles körben használják az akvakultúrában halak és rákfélék lárváinak táplálására, a tápértékük a zsírsavösszetétel szempontjából messze nem ideális (LEGER ET AL., 1987; NAVARRO ET AL., 1992; 1993).

A *Chironomus*, a Diptera rendbe és Chironomidae (árva szúnyogok) családba tartozó, a szúnyogokhoz felületesen hasonlító, mintegy 400 fajt magába foglaló nemzetség (YOO ET AL., 2024). A chironomidák életciklusa négy szakaszban zajló teljes metamorfózist foglal magába: pete - lárva - báb - kifejlett egyed. A lárvastádium vízi, míg a kifejlett egyed szárazföldi életformát folytat és szárnyakkal rendelkezik (SILVA ET AL., 2021). A chironomida-lárvák fontos ökoszisztémafunkciókat töltenek be a ragadozók táplálékforrásaként (ALLERGEIER ET AL., 2019; BROVINI ET AL., 2023), és gyakran dominánsan jelennek meg a szennyezett édesvízi környezetben (PROLUX ET AL., 2013). Az akvakultúrában a chironomida-lárvákat széles körben használják élő takarmányként mind édesvízi, mind tengeri rendszerekben, különösen a fenéklakó fajok, mint például a tokfélék esetében. A testük vörös színét a hemoglobin jelenléte okozza, amely a magas tápérték mellett nagyszerű vasforrásként szolgál (SAHANDI ET AL., 2011). A chironomida-lárvákra jellemzően magas fehérjetartalommal (száraz tömegben körülbelül 55,7%) és széles esszenciális aminosav-spektrummal rendelkeznek (BOGUT ET AL., 2007). Összehasonlító kísérleti vizsgálatok kimutatták, hogy a természetes élő takarmány alkalmazása - különösen vízi rovarlárvák és zooplankton - javítja a korai életszakaszban lévő tokhalak növekedési ütemét és túlélési arányát a kereskedelmi tápokhoz képest (DEDIU ET AL., 2011; KIRSCHBAUM ET AL. 2006; EBRAHIMI & ZARE, 2006; MEYER ET AL., 2016). A chironomida-lárvák kereskedelmi forgalomban is kaphatóak többnyire fagyasztott formában (KAMLER ET AL., 2006; SIKORSKA ET AL., 2018). A természetes fagyasztott táplálék praktikus alternatívát jelent az élő táplálékkal szemben, mivel könnyen szállítható, tárolható és egész évben elérhető (HU ET AL., 2013).

2.4.1.2. Teljes értékű keveréktakarmányok általános jellemzői akvakultúrák termelésben

A száraz takarmányok több előnyös tulajdonsággal is rendelkeznek, amely alkalmassá teszi őket az akvakultúrák rendszerekben való felhasználásra. Beszerzésük költséghatékony, stabil tápanyagminőséggel és eltarthatósági idővel rendelkeznek, emellett könnyen kezelhetők és jól adagolhatók (LEE ET AL., 2018B). Az optimális napi takarmányadag arányának meghatározása nagyon fontos a sikeres haltenyésztés szempontjából. Az optimálistól eltérő takarmányadagok (alul vagy túltáplálás) csökkenthetik a halak növekedési potenciálját, és veszélyeztethetik a halak egészségét és gazdasági veszteséget okozhatnak. A túltáplálás a takarmányköltségek növekedéséhez és a vízminőség romlásához vezethet, ami közvetett hatással lehet a tenyésztett állatok egészségére. Az optimális napi takarmányadag arányának meghatározása több tényező együttes figyelembevételét igényli: a víz hőmérséklet, a takarmány tápanyag- vagy energiatartalma, a halfaj, az életszakasz és méret, valamint fontos a megfelelő takarmányozási stratégia és etetési gyakoriság meghatározása (DENG ET AL., 2003; GIBERSON & LITVAK, 2003; HUNG ET AL., 1995; LUO ET AL., 2015). A tápok elfogadását számos tényező befolyásolja. Ezen tulajdonságok közé tartozik a takarmány összetétele, íze, preferált szaga, formája, mérete és textúrája és az alkalmazott takarmányozási stratégia (PEOPLE LE RUYET ET AL., 1993; BARDI ET AL., 1998). A tokfélék akvakultúrák termelésében gyakran használnak pisztrángok vagy lazacfélék számára kifejlesztett takarmányokat, melyek összetételükben közel állnak a tokfélék tápanyagbeli igényeihez, azonban ezek nem minden esetben hoznak kielégítő eredményeket (HUNG ET AL., 1997; KING, 2004; WARE ET AL., 2006; MEMİŞ ET AL., 2006). A különböző táp fajták között jelentős eltérések lehetnek a nyersfehérje, nyerssír, nyersrost, hamu és metabolizálható energia tartalom tekintetében, melyek százalékos arányban vagy MJ/kg egységben vannak feltüntetve.

2.4.1.3. Tokfélékkel végzett takarmányozási vizsgálatok bemutatása

Számos tokfaj esetében igazolták a száraz eleség alkalmazásának sikerét a táplálkozás kezdeti időszakától fogva. Ennek háttérében az állhat, hogy a toklárvák az exogén táplálkozás kezdetén fejlettebb emésztőrendszerrel rendelkezhetnek összehasonlítva más halfaj egyedeknek lárváival (WEGNER ET AL., 2008), továbbá

az emésztőenzimek jelenléte és összetétele hasonlóságot mutat a felnőtt egyedekével (BUDDINGTON & DOROSHOV, 1986). Emésztési képességük ezáltal sok más halfajhoz viszonyítva fejlettebb, különös tekintettel a szénhidrátok és zsírok felhasználására (BUDDINGTON & DOROSHOV, 1986). Ez a feltételezés számos tokfaj esetében bizonyítást nyert, mint például a kecsge (NAPORA-RUTKOWSKI ET AL., 2009) és a lénai tok (HAMLIN ET AL., 2006). Ezzel szemben a perzsa tok (*A. persicus*) ivadékaiknak takarmányozása során a hirtelen bevezetett száraz táp alkalmazása alacsonyabb túlélési arányt, ugyanakkor magasabb átlagtömeget eredményezett (FASHTOMI & MOHSENI, 2006).

A formázott takarmányok azonban nem minden esetben használhatóak jó eredménnyel a korai életszakaszban. A száraz táp kevésbé sikeres alkalmazását igazolta LACZYNSKA ES MUNKATÁRSAI (2017) kecsge ivadékkal végrehajtott kísérlete, LEE ES MUNKATÁRSAI (2022) és VALENTINE ES MUNKATÁRSAI (2017) tavi tokkal végzett kísérlete is, mely kisebb átlagtömeggel és rosszabb túlélési eredménnyel zárult a táppal takarmányozott csoportok esetében, mint a kizárólag élő táplálékkal etetett lárvák csoportjánál. A kecsge élő táplálék iránti igényét tovább igazolta LACZYNSKA ES MUNKATÁRSAI (2020) tanulmánya, és LUNDOVA ES MUNKATÁRSAI (2018) és RÓNYAI ES FELEDI (2012) korábbi kísérlete is, mely a 14. kelés utáni naptól javasolja a kecsge száraz tápra történő fokozatos átszoktatását vegyes takarmányozást alkalmazva. Az élő takarmány kezdeti alkalmazása kedvező hatással van a kecsge szibériai alfajának termelési mutatóira is (FELEDI & RÓNYAI, 2013A). A vegyes takarmányozás további sikeres alkalmazásáról számoltak be tavi tok, rövidorrú tok (*A. brevirostrum*), perzsa tok és viza esetében is (WARE ET AL., 2006; AGH ET AL., 2013; LEE ET AL., 2022). Bizonyos fajok nehezebben alkalmazkodnak a száraz takarmányhoz, ezért hosszabb ideig tartó élő-takarmányozást igényelnek a kizárólagosan kereskedelmi tápra történő átszoktatás előtt. Ide sorolható az Atlanti tok és a vágótok is (MOHLER ET AL., 2000; VEDRASCO, 2002; PIOTROWSKA ET AL., 2013). A vágótokot magasabb túlélés jellemezte a természetes táplálékkal történő takarmányozás során (DEDIU ET AL., 2011), míg más esetben a vágótok közel egy hónapig tartó élő-takarmányozásával egyidejűleg a 17. élelnaptól kezdve vegyes takarmányozást alkalmazva kiemelkedő megmaradási eredmények születtek (MEMİŞ ET AL., 2009). A vágótok lárvanevelése alatt legjobb kezdő takarmánynak a zooplankton és/vagy bentosz keveréke bizonyult, melyet viszonylag sokáig kínáltak a halaknak (MEMİŞ ET AL., 2009; ROOZBEHFAR ET AL., 2012).

A széleskörű szakirodalmi adatok alapján levonható a következtetés, miszerint a tokfélék kezdeti táplálkozása során az élő takarmány alkalmazása nagyban elősegítheti a halak túlélését és pozitív hatással lehet a növekedési mutatóikra, míg a száraz táp természetes eseléssel vegyesen takarmányozva megkönnyítheti az ivadék átszoktatását a kereskedelmi granulált vagy pelletált takarmányra és a magas táplálóanyagtartalmának köszönhetően hozzájárul az ivadékok gyorsabb növekedéséhez, stressztűrőképességéhez és ezáltal túléléséhez (LEE ET AL., 2022).

2.4.2. Takarmánydúsítás jelentősége és tokfélékre gyakorolt hatása

A keltetőházakban a megfelelő élő takarmányellátásnak létfontosságú szerepe van a hallárvák és ivadékok táplálásában. Az élő takarmányok tápértékének javítása az akvakultúrában mára már a rutinszerűen alkalmazott technikák közé tartozik. A halak fejlődéséhez szükséges leggyakoribb esszenciális zsírsavak (EFA) közé tartoznak a többszörösen telítetlen zsírsavak (PUFA), köztük anagymértékben telítetlen zsírsavak (HUFA), mint a dokozahexaénsav (DHA), az eikozapentaénsav (EPA) és az arachidonsav (ARA), valamint az aminosavak (KANDATHIL RADHAKRISHNAN ET AL., 2020). Az elsődleges táplálásra használt, általánosan alkalmazott élő takarmányok természetüknél fogva hiányosak az alapvető tápanyagkomponensekben. Ezért az élő takarmányok tápanyagminőségének javítását mesterségesen végzik, mielőtt azt felkínálnák a tenyésztett állatoknak. A sórák, *Artemia* sp. az akvakultúrában gyakran használt élő indító takarmány, amely csökkenti az elhullást, és fokozza a lárvák fejlődését és növekedési ütemét (KADHAR ET AL., 2014). Ugyanakkor jól ismert a testösszetételében mutatkozó tápanyagbeli hiányossága, különös tekintettel az EPA és a DHA mennyiségre (NAVARRO ET AL., 1993; HANAEE ET AL., 2005; AKBARY ET AL., 2011). Ezért ezeket a zsírsavakat az artémia-takarmányban a halak szükségleteinek fedezésére biztosítani kell, mivel ezeket a halak nem képesek endogén módon szintetizálni (AKBARY ET AL., 2011). A halak lárváinak zsírsavigénye és az élő táplálék zsírsavtartalmatartalma közötti eltérés vezetett a dúsítási protokollok kidolgozásához (RAINUZZO ET AL., 1994; HAN ET AL., 2001). A HUFA-kat különböző hordozók - természetes mikroalgák, olajemulziók vagy kereskedelmi dúsító termékek - segítségével lehet az artémia-takarmányba bevinni (KANDATHIL RADHAKRISHNAN ET AL., 2020). Az *Artemia* sp. passzív, nem-szelektív szűrőtáplálkozásának köszönhetően (SORGELOOS ET AL., 2001) könnyen dúsítható és felhasználható tápláló- és gyógyászati vegyületek hordozójaként

annak érdekében, hogy javítsa a haltápok tápértékét. A frissen kikelt, I. stádiumú naupliusok még nem táplálkoznak, csak metanauplius stádiumban képesek hasznosítani a dúsításra szánt emulziókat (WAN-LOY, 2004). Az *Artemia* zsírsavösszetételének változását és a dúsítás hatékonyságát a specifikus dúsító emulzió fajtája és a dúsítási körülmények között eltöltött expozíciós idő (12, 24, 36 és 48 óra) befolyásolja (ARUMUGAM ET AL., 2013; CHAKRABORTY ET AL., 2007; FIGUEIREDO ET AL., 2012; HAN ET AL., 2000). A kereskedelemben számos dúsító emulziót forgalmaznak, amelyek trigliceridjeik zsírsavprofiljában különböznek, valamint használnak egyénileg laboratóriumban előállított speciális olajjal készült emulziókat, illetve mikroalgákat a tenyésztett halfajok fajspecifikus zsírsavigényének kielégítésére (NARCISO ET AL., 1999). A HUFA-k mellett az emulziók rendszerint antioxidánsokat is tartalmaznak - E- és C-vitamint -, amelyek megakadályozzák a zsírsavak oxidációját, hozzájárulnak számos biológiai és fiziológiai funkció megfelelő működéséhez, mint például a csontozat fejlődése, a túlélés, az immunaktivitás, valamint a stresszel és a toxikus anyagokkal szembeni ellenálló képesség (SORGELOOS ET AL., 2001; TATINA ET AL., 2010; HAMIDOGHLI ET AL., 2014).

A halak tápanyagigénye és az emésztőenzim-aktivitás az ontogenezis során változik (GAWLICKA ET AL., 2002), így a megfelelő tápanyagellátás különösen fontos a korai fejlődési szakaszokban. A telítetlen zsírsavak és vitaminok tokfélékre gyakorolt pozitív hatását számos tanulmány igazolta. A szibériai tokhal ivadékok növekedési teljesítménye javult a DHA/EPA arány növelésével, a legnagyobb testméret-növekedés és fajlagos növekedési ráta a legmagasabb DHA/EPA-tartalmú táppal etetett lárváknál volt megfigyelhető (LUO ET AL., 2019). Az n-3 PUFA-k fokozták a szibériai tokok szaporodási teljesítményét a nagyobb ikra és magasabb spermiumminőség elérésén keresztül, és hozzájárultak az utódok minőségének javításához, amely a magasabb túlélés és nagyobb növekedési arányban tükröződött. A táplálék n-3 PUFA-val való dúsítása mindkét nem számára előnyös, azonban fontossága hangsúlyosabb a nőstények esetében (LUO ET AL., 2017). A viza, tavi tok és perzsa tok korai életszakaszában is fontos szerepet játszott az EPA és a DHA, ugyanis fogyasztói hosszútávú növekedési és megmaradási előnyökkel rendelkeztek (HAFEZIEH ET AL., 2009; AHMADI ET AL., 2011; YOON ET AL., 2022), míg KAMASZEWSKI ÉS MUNKATÁRSAI (2014A) a vágótok lárva esetében rövidtávon is igazolták annak pozitív hatását. Az Atlanti tokhal és a kecsge túlélésére szintén pozitív hatást gyakorolt az *Artemia* telítetlen

zsírsavakkal való dúsítása, azonban a lárvák növekedésére nem volt kimutatható hatása (KAMASZEWSKI ET AL., 2014B; LUNDOVA ET AL., 2018). A telítetlen zsírsavak a jobb termelési mutatókhoz történő hozzájárulása mellett nagy szerepet játszik a stresszel szembeni ellenállóképeség támogatásában is (LAVENS & SORGELOOS, 1996). A dúsítás ezen funkciója mind akvakultúrás körülmények között, mind pedig a visszatelepítésre szánt halak esetében nagyon fontosak, hiszen a termelési folyamatok elkerülhetetlenül stresszel járnak, illetve a természetes vizekbe történő visszatelepítést követően a halaknak alkalmazkodniuk kell a megváltozott környezethez. Mindazonáltal a dúsító emulziókban lévő vitaminok pozitív élettani hatása is széleskörben ismert, többek között a stressztűrőképesség támogatásában. Ezt igazolta JALALI ES MUNKATÁRSAI (2010) viza ivadékkal végzett tanulmányában, ahol a HUFA-k mellett a C- és E-vitamin használata javította a tok ivadékok környezeti faktorokkal szembeni ellenállóképeségét és túlélését. Továbbá, az *Artemia* egyidejű dúsítása HUFA-kal és a C-vitaminnal az abiotikus körülményekkel szembeni tolerancia növekedését eredményezte perzsa tok és viza esetében (NOORI ET AL., 2011). Habár a táplálék esszenciális zsírsavakkal és vitaminokkal történő dúsításának a tokfélék szervezetére gyakorolt kedvező hatása megkérdőjelezhetetlen, a szakirodalomban előfordulnak olyan esetek is, ahol nem volt szignifikáns eltérés a kísérleti és kontrollcsoportok között (WILLIOT ET AL., 2005; HAMIDOGHLI ET AL., 2014).

2.4.3. A technológiai tényezők és a környezetgazdagítás hatásai a halak viselkedésére

2.4.3.1. Állománysűrűség hatása a termelési paraméterekre

A gazdaságok és keltetőházak számára fontos, hogy lépést tartsanak a hústermelés és a természetes állománypótlás növekvő igényeivel. Az intenzív akvakultúra-rendszerek hatékonysága optimalizálható az állománysűrűség növelésével (AIDOS ET AL., 2018; BARROS ET AL., 2019). Azonban a nagy állománysűrűség hátrányosan befolyásolhatja a haltenyésztést (BARROS ET AL., 2019; BOLASINA ET AL., 2006; LUPATSH ET AL., 2010). Mind a növekedésre, mind a túlélésre hatással lehet a nevelőegységekben lévő lárvák egyedsűrűsége (ALVAREZ-GONZALES ET AL., 2001; EL-SAYED, 2002; SAHOO ET AL., 2004; ŻARSKI ET AL., 2008). A nagyobb állománysűrűséggel fokozódnak a társas interakciók, a táplálékhoz való hozzáférés akadályozottá válik, ezáltal nőhet a méretvariabilitás,

míg a csökkent aktív úszásteljesítmény alacsonyabb táplálékhasznosítást eredményez (MOHSENI ET AL., 2000). A tenyésztési egység túlszűfoltása továbbá ronthatja a vízminőséget és növelheti a krónikus stresszhez kapcsolódó betegségek és fertőzések esélyének kialakulását (MONTERO ET AL., 1999). Úgy tűnik azonban, hogy az állománysűrűség és a növekedési ráta közötti kölcsönhatások mintázatai fajspecifikusak (MERINO ET AL., 2007). A nagy állománysűrűség számos tokhal esetében is környezeti stresszornak bizonyult eltérő életszakaszokat vizsgálva, beleértve a rövidorrú tokhalat (*A. brevirostrum*) (WUERTZ ET AL., 2006), az atlanti tokhalat (*A. oxyrinchus*) (SZCZEPKOWSKI ET AL., 2011), tavi tokhalat (*A. fulvescens*) (Bauman et al., 2015), vizát és sima tokot (*A. nudiventris*) (FESHALAMI ET AL., 2016), ugyanakkor kivételt képez a tokfélék között a szibériai tokhal lárvája (AIDOS ET AL., 2020). Az ikrák és lárvák nagyobb sűrűsége a perzsa tokhal (*A. persicus*), a viza és a sőregtok esetében fokozott deformitásokhoz és csontváz-rendellenességekhez vezethet, ami hozzájárul az alacsony túléléshez (MOHSENI ET AL., 2000). Az állománysűrűség fontos szerepet játszott a lárvák növekedésében a perzsa tok, a viza és sőregtokon végzett vizsgálatok során (MOHSENI ET AL., 2000), a hibrid vicsege (*H. huso* × *A. ruthenus*) (OPREA & OPREA, 2009), atlanti tok (MOHLER ET AL., 2000), viza (NADERI ET AL., 2017) és japán vagy amuri tok (*A. schrenckii*) (NI ET AL., 2016) esetében, ahol a növekedési arány fordítottan arányos volt a lárvák sűrűségével. A növekedés mellett az állománysűrűség hatással lehet a halak túlélésére is. Négy különböző tokfaj esetében (BAUMAN ET AL., 2015; MOHSENI ET AL., 2000) az állománysűrűség nem volt korlátozó tényező a szikzacskós prelárvák túlélésére az endogén táplálkozási fázisban, míg az exogén táplálkozás kezdetén MOHSENI ÉS MUNKATÁRSAI (2000) kimutatták, hogy az állománysűrűség növekedésével nőtt az elhullás aránya.

2.4.3.2. Környezetgazdagítás hatása a halak viselkedésre

A halak az élethosszig tartó neurális plaszticitásnak (idegrendszerben bekövetkező fiziológiai és fizikai változások) köszönhetően képesek reagálni a változó társas és környezeti körülményekre, viselkedésük és fiziológiájuk megváltoztatásával leküzdeni a környezeti kihívásokat (EBBESSON & BRAITHWAITE, 2012). Általánosságban elmondható, hogy a halnevelésre kialakított egységek sima felületű, egyszerű kialakítású kádak vagy medencék, melyekben nem találhatóak fizikai struktúrák, így jellemző rájuk az érzékszervi stimuláció hiánya és a viszonylag állandó nevelési körülmények (JOHNSSON ET AL.,

2014). Az akvakultúrás rendszerekben a tenyésztett állatok jóléte másodlagos szempont a termelés hatékonyságával szemben, így a halak elkerülhetetlenül számos potenciális akut stresszfaktornak vannak kitéve, amíg el nem érik a kívánt méretet. Következésképpen a mesterséges nevelési környezet eltérő viselkedési mintázatok kialakulásához vezethet, amely a vadon élő halaknál, természetes körülmények között nem megfigyelhető (WILLIAMS ET AL., 2009; JOHNSON ET AL., 2014). A keltetőházban nevelt halak gyakran rosszul teljesítenek a vadonban, kedvezőtlen élőhelyeken telepednek meg, nem tudnak hatékonyan táplálkozni, gyenge szociális készségekkel rendelkeznek, és könnyen a ragadozók táplálékává válnak (ROBERTS ET AL., 2014). A szabadon engedés után az egyedek kiszámíthatatlan és változó környezetet tapasztalnak, amellyel a keltetőházban nem találkoztak, és ennek következtében az akut és krónikus stresszorok elnyomhatják a neurális plaszticitást, ami betegségekre való fogékonysághoz és a természetbe engedés utáni gyors elhulláshoz vezet (ZHANG ET AL., 2020). Számos környezetgazdagítási stratégia létezik e problémák kezelésére, amelyek csökkenthetik az abnormális viselkedés kialakulását és a stresszt. Ebben az értelemben az akvakultúrában a környezeti gazdagítás úgy értelmezhető, mint új környezeti ingerek (motoros vagy szenzoros) biztosítása, amelyek segítik a fogságban tartott halakat fiziológiai, viselkedési és pszichológiai szükségleteik kielégítésében (HUNTINGFORD ET AL., 2014). Ebbe az öt elismert kategóriába tartozik az érzékszervi (látás, hallás, szaglás, ízlelés, tapintás), szociális (más egyedek jelenléte, szociális interakciók), foglalkozási vagy monotonitást elkerülő (hidrodinamikai, kiszámíthatóság, változékonyság, játékok) és táplálkozásbeli (táp típusa, etetési stratégia, de nem tápösszetétel) és fizikai (struktúrák, aljzat és ezek kombinációja) környezetgazdagítás (ARECHAVALA-LOPEZ ET AL., 2022). A fizikai környezeti gazdagítást a halak jólétének növelésére és a szabadon engedett halak viselkedésének természetessé tételére irányuló stratégiának tekintik. Célja általában a környezet változatosságának és összetettségének növelése annak érdekében, hogy az állatnak sokoldalú tapasztalatokat nyújtson (NÄSLUND & JOHNSON, 2016). A fizikai struktúra nevelő egységekben történő alkalmazásának másik lényeges szempontja a halak aktivitásának pozitív irányba történő befolyásolása, a felfedező viselkedés elősegítése, az úszásaktivitás növelése, ami magasabb ventilációs aktivitást eredményez, így biztosítja az oxigénellátást, és hozzájárul sejtszinten az oxidatív stressz elkerüléséhez. Továbbá fokozza az agy fejlődését és a kognitív teljesítményt (SALVANES ET AL., 2013; ARECHAVALA-

LOPEZ ET AL., 2020), emellett hozzájárulhat a halak jobb növekedési paramétereinek és túlélési esélyeinek eléréséhez, és ezt követően javíthatja általános jólétüket és az alkalmassággal, rátemettséggel (fitnesz) kapcsolatos képességeiket (CARRERA-GARCÍA ET AL., 2016; LEE ET AL., 2018A).

A különböző fajoknak eltérő lehet a környezeti tényezőkre mutatott igényük, azon belül ezek preferenciák életszakaszok szerint is eltérhetnek, beleértve a fényt, a vízáramlást és az aljzatot (ARECHAVALA-LOPEZ ET AL., 2020). Az aljzat fontos szerepet játszhat számos folyami halfaj életében, különösen tekintettel a korai életszakaszokra. Figyelembe véve az Acipenseridae fajok dinamikus egyedfejlődését, az aljzatpreferenciájuk is gyorsan változik a korai fejlődés során (FALAHATKAR & SHAKOORIAN, 2011). Több tanulmány is kísérletet tett a kavicsos aljzaton történő nevelés tokhalakra gyakorolt hatásának értékelésére, és a szubsztrátum alkalmazásának előnyeiről számoltak be (GESSNER ET AL., 2009; MCADAM, 2011; BOUCHER ET AL., 2014; BOUCHER ET AL., 2018). Ha a fedezék biztosított, a tokhal lárvák láthatóan használják azt (KYNARD & HORGAN, 2002; MCADAM, 2011). Amikor a rövidorrú tok prelárvákat megakadályozták a fedezékkeresésben, gyertyázó és sodródó úszásformákat mutattak (RICHMOND & KYNARD, 1995). A kavicsos szubsztrátumok búvóhelyet biztosítanak, ami csökkenti a kannibalizmus miatti elhullást (GADOMSKI & PARSLEY, 2005; GESSNER ET AL., 2009; MCADAM, 2011). Azonban a halak táplálkozási viselkedését és növekedési ütemét jelentősen befolyásolhatja az aljzat típusa. Bizonyos szubsztrátum a növekedés és túlélés csökkenését eredményezte zöld tok lárvánál (*A. medirostris*), és negatívan befolyásolta az atlanti tok túlélését (NGUYEN ET AL., 2006; WISZNIEWSKI ET AL. 2010).

2.4.3.3. Labirintustesztek alkalmazása viselkedési vizsgálatokban

Az állatok viselkedésének megértése és értékelése számos kutatási területen alapvető fontosságú. A labirintusberendezések alakjuk és méreteik változatossága miatt lehetővé teszik a többféle viselkedés értékelését állatmodellekben (BENVENUTTI ET AL., 2021). Ebben az összefüggésben, számos előnye miatt, több halfaj vált népszerűvé az állati viselkedéskutatásban, mint például a zebrahal (*Danio rerio*), a guppi (*Poecilia reticulata*), a tüskés pikó (*Gasterosteus aculeatus*), és a bölcsőszájúhalfélék (Cichlidae) (TOMS ET AL. 2010). Az elmúlt két évtizedben számos, halakkal kapcsolatos tanulmányt publikáltak eltérő típusú, vízi szervezetekre módosított labirintusok alkalmazásával (KENNEY ET AL., 2020;

BENVENUTTI ET AL., 2021). A labirintusfeladatok során többféle viselkedési paradigma (cselekvési minták rendszere) határozható meg, például tanulmányozva a tanulási és emlékező képességet, valamint a környezetre vonatkozó preferenciát (LUCON-XICCATO & BISAZZA, 2017; BENHAÏM ET AL., 2017; FORD ET AL. 2018). Az állat ismeretlen ingerre adott válasza alapvető fontosságú a túlélés, a fitness és a szaporodás szempontjából (FERRARI ET AL., 2015). A felfedező viselkedés és a merészség hatással van a fitnessre, mely jellemzők befolyásolhatják a területért folytatott versenyt, a szétszóródási hajlandóságot, a fajtársak iránti érdeklődést, növekedést és a túlélést a táplálékkereső viselkedésen, a ragadozók elöl való menekülésre adott válaszon és a kockázatvállaló magatartáson keresztül (BURNS ET AL., 2008, FERRARI ET AL., 2015; LAGESSON ET AL., 2019). A labirintus egyike azon eszközöknek, amelyekkel olyan személyiségjegyek vizsgálhatók, mint a merészség-félénkség, felfedezés-elkerülés, szociális tolerancia és aktivitás (PASQUET ET AL., 2016; COLCHEN ET AL., 2017), valamint mérhető a szorongás szintje is (SACKERMAN ET AL., 2010; VARGA ET AL., 2018; HOPE ET AL., 2019). Habár a tokfélék nem tartoznak a viselkedési vizsgálatokban használt tipikus modell fajok közé, az esetükben is sikeresen alkalmaztak labirintust a preferenciatesztek során vagy személyiségjegyek meghatározására (ELVIDGE ET AL., 2019; XIANG ET AL., 2022).

2.5. A kutatás háttere és tudományos megalapozása

A tokfélék akvakultúrák nevelésének sikere nagyban függ a megfelelő lárvanevelési gyakorlattól. A tokfélék lárvális fejlődési szakasza során számos probléma nehezítheti meg az eredményes tenyésztést, mint a magas elhullás, az alacsony növekedési ütem, a kannibalizmus, a túltáplálás, a bakteriális fertőzések kialakulása és a tápraszkotatás nehézségei (GISBERT & WILLIOT, 2002; LACZYNSKA ET AL., 2020; WILLIOT ET AL., 2018). Ezek az akadályok a nem megfelelő táplálkozással és/vagy a nem megfelelő technológiai beállításokkal hozhatók összefüggésbe. A sikeres toklárvanevelés szempontjából az egyik kulcsfontosságú tényező az állománysűrűség meghatározása, mely jelentős hatással van a növekedési teljesítményre, egészségi állapotra és túlélésre. CHEBANOV ES GALICH (2013) szerint az endogén táplálkozási fázisra vonatkozó norma az állománysűrűség tekintetében 7000 kecsege lárva/m², míg a már táplálkozó lárvákra vonatkozó adatok nincsenek megadva. Számos egyéb szempontú kecsege lárvával foglalkozó kísérleti tanulmány áll rendelkezésre,

amelyekben az általánosan használt állománysűrűség 2,5 - 17 kecsge lárva per liter között van (FELEDI ES RÓNYAI, 2013B; LACZYNSKA ET AL., 2020; LUNDOVA ET AL., 2018; RYBNIKÁR ET AL., 2011), ugyanakkor a telepítési sűrűség közvetlen hatása a termelési mutatókra nem képezte egyik tanulmány tárgyát sem. Tudomásunk szerint eddig nem született olyan összehasonlító tanulmány, melynek tárgya a kecsge-egyedsűrűség hatásának vizsgálata az állattenyésztési jellemzők alakulására és a túlélésre.

A takarmányozási stratégiát és alkalmazott nevelési körülményeket nagyban meghatározza a tenyésztés végső célja. Napjainkban, azokon a területeken, ahol az élőhely helyreállítása nem elegendő a természetvédelmi erőfeszítések során, a keltetőházakban, mesterséges körülmények között nevelt ivadékok telepítését tekintik az utolsó eszköznek az élőhely romlás és a túlhalászás hatásainak ellensúlyozására. Az ex-situ megőrzési módszert kiegészítő eszközként ismerik el a természetes populációk megmentésének és fenntartásának céljából (SOUSA-SANTOS ET AL., 2014; MESTANZA-RAMÓN ET AL., 2020). A visszatelepítési programok sokáig elsősorban a genetikai folyamatok vadon élő populációkra gyakorolt hatására összpontosítottak, azonban manapság már ismert a mesterséges nevelési környezet jelentősége, miszerint az hatással van a visszaengedett egyedek viselkedésére, túlélésére és szaporodási sikerére. Noha a mesterséges nevelési körülmények és azok manipulációja egyre nagyobb figyelmet kapnak az akvakultúra területén is, a környezetgazdagítás vízi élőlények esetében kevésbé ismert és nehézségei megmagyarázzák a szakemberek vonakodását a gyakorlati alkalmazásától. Ezen túlmenően, a viselkedés vizsgálatát megnehezíti a speciális, víz alatti környezet. Számos tanulmány tárgyalja a környezeti manipuláció pozitív vagy negatív hatását a tenyésztett és/vagy fogságban tartott halak viselkedésére és fiziológiájára, azonban ezek a tanulmányok sok esetben a viselkedési tesztekben leggyakrabban használt halfajokra korlátozódnak. Tokfélék esetében viszonylag kevés ilyen tanulmánnyal találkozhatunk, holott a legtöbb tokfaj esetében szükséges lenne a környezet viselkedésre gyakorolt hatásának megállapítása, különös tekintettel a visszatelepítés célú halnevelésre. Habár a kecsget széles körben tenyésztik akvakultúrák körülmények között kicsi testmérete miatt, sem a kecsge, sem pedig a vágótok fizikai struktúrákkal dúsított környezetben történő nevelést követő viselkedéséről és stresszhelyzetekre adott válaszreakciójáról nem sokat tudunk, habár közismert, hogy az állatnak az ismeretlen ingerre adott válasza

alapvető fontosságú a túlélés, a fitness és a szaporodás szempontjából (FERRARI ET AL., 2015).

Habár a tokhalak mesterséges szaporításának módszere napjainkra már részletesen kidolgozott - a vágótok és más *Acipenseridae* fajok embrionális fejlődéséről részletes leírás található (DETTLAFF ET AL., 1993). A különböző fajok tápanyagszükséglete és környezeti igényei a fejlődés későbbi fázisai során fajonként és életszakaszonként eltérhetnek, így azok meghatározása elengedhetetlen az adott faj tenyésztésének sikeréhez. Számos információ áll rendelkezésre a növekedésről más tokfajok esetében, azonban a vágótok tenyésztésével kapcsolatos információk meglehetősen korlátozottan elérhetők angol nyelven a szakirodalomban (NATHANAILIDES ET AL., 2002). A vágótok takarmányozási stratégiájáról hasznos iránymutatás csekély számban ugyan, de található a szakirodalomban, ugyanakkor az alternatív táplálékforrásoknak és az eltérő tápraszkoltatási stratégiának az állattenyésztési változókra és a viselkedésre gyakorolt hatásairól további vizsgálatok szükségesek. A környezetgazdagítás hatásairól vágótok ivadék esetében szintén nem áll rendelkezésre információ.

Ezért, kutatásunk során arra kerestünk a választ, hogy az eltérő telepítési sűrűségek és a környezetgazdagítás alkalmazása milyen hatást gyakorol a kecsge termelési mutatóira és viselkedésére, illetve, hogy az akvakultúrában leggyakrabban használt indító takarmányok és azok alternatívái, illetve az eltérő takarmányozási eljárások és nevelési körülmények milyen hatást gyakorolnak a vágótok lárva- és ivadéknevelése során a termelési és etológiai mutatókra.

3. Anyag és módszer

3.1. A tokfélék intézeten belül zajló szaporítása

A vizsgálatban felhasznált, dunai eredetű kecsge anyahalak a szarvasi Halászati Kutató Központ „ex-situ” génbankjának anyaállományából származtak, amelyeket az intézet mesterségesen kialakított, földmedrű tavaiban neveltek és tartottak. A szaporításra kiválasztott egyedeket előzetesen ősszel, majd tavasszal morfológiai bélyegek alapján válogattuk ki a tenyészállományból. Az anyahalakat a recirkulációs rendszer karantén medencéiben helyeztük el, nemek szerint elkülönítve (1. táblázat).

1. táblázat. A kutatás során mesterséges szaporításhoz használt anyahalak átlagtömege és szórása évenkénti bontásban.

| dátum | faj | darabszám | ikrás tömege (kg) | tejes tömege (kg) | alkalmazott módszer |
|------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 2020.04.06 | kecsege | 12 tejes-12 ikrás | 3,32 ± 0,7 | 2,99 ± 1,0 | RÓNYAI, 2009 |
| 2021.03.05 | kecsege | 5 tejes-6 ikrás | 5,53 ± 1,6 | 3,95 ± 0,7 | LJUBOBRATOVIĆ ET AL., 2022 |
| 2020.12.21 | vágótok | 2 tejes-3 ikrás | 29,02 ± 6,8 | 12,03 ± 1,0 | RÓNYAI, 2009 |
| 2022.03.08 | vágótok | 2 tejes-2 ikrás | 26,45 ± 2,3 | 11,70 ± 0,8 | LJUBOBRATOVIĆ ET AL., 2022 |

A rendszervíz hőmérsékletét a behelyezést megelőzően a nevelőtavak vízhőmérsékletével azonos értékre állítottuk be. Tavasszal, a szaporítási szezonban a víz hőmérséklete általában 14±1,0 °C, míg szezon előtti szaporításkor 6±1,0 °C volt. A halak behelyezését követően a vízhőmérsékletet napi 2 °C ütemben emeltük a kívánt értékre. A halak indukált szaporításához szükséges hormonkezelést a 7. napon végeztük el. A hormonális injekció a halak méretétől függően egy vagy két dózisban intramusculárisan került beadásra (2020 évben zajló szaporítások, RÓNYAI, 2009). A 2021 és 2022-es év során az alkalmazott emlős gonadotrop releasing hormon-analóg (des-Gly10-(d-Ala6)-LH-RH, GnRHa; L4513, Sigma Aldrich) mennyiségének optimalizálását célzó kísérlet sorozatunk nyomán a továbbiakban az anyahalakat egységesen 10 µg/ttkg dózisban stimuláltuk nemtől függetlenül (LJUBOBRATOVIĆ ET AL., 2022). Az anyákat rendszervízzel félig töltött altatókádban szegfűszeg (*Syzygium aromaticum*) olaj (27 ml / 100 l) vizes oldatával bódítottuk. A teljes ikratétel kinyerésének megkönnyítése mind a kecsege, mind a vágótok esetében a petevezeték végső szakaszának óvatos átvágásával (NAIK-HAKI/7-1/2021; MATE-SZIC/1349-1/2022), majd a has masszírozásával történt. A sperma kinyerése a tejesek hasának masszírozásával történt. A spermát felhasználásig hűtőben tároltuk, majd a termékenyítés előtt a keltetőházi gyakorlatnak megfelelően 1:200 arányban a keltető vizével hígítottuk a termékenyítés hatékonyságának növelése érdekében, amelyet két perc keverés követett. Az ikra ragadóságának elvételéhez talkum (Talcum, Magilab Kft.) 50g/l sűrűségű vizes oldatát használtuk. Húsz perc óvatos keverést követően a talkumos oldatot teaszűrő segítségével eltávolítottuk az ikratételről, majd a műveletet további húsz perces ciklusban megismételtük. A továbbiakban az ikrák térfogatát többszöri rendszervízzel történő átöblítés után lemértük, majd Zuger-üvegekbe helyeztük. A keltetőrendszerben folyamatosan biztosítottuk a víz magas oldott oxigéntartalmát (≥9 mg/l) és a keltetővíz hőmérsékletét (15,5±0,5 °C), amelyet naponta kétszer ellenőriztünk. Az inkubációs időszak alatt az ikratételeket a kelés kezdetéig

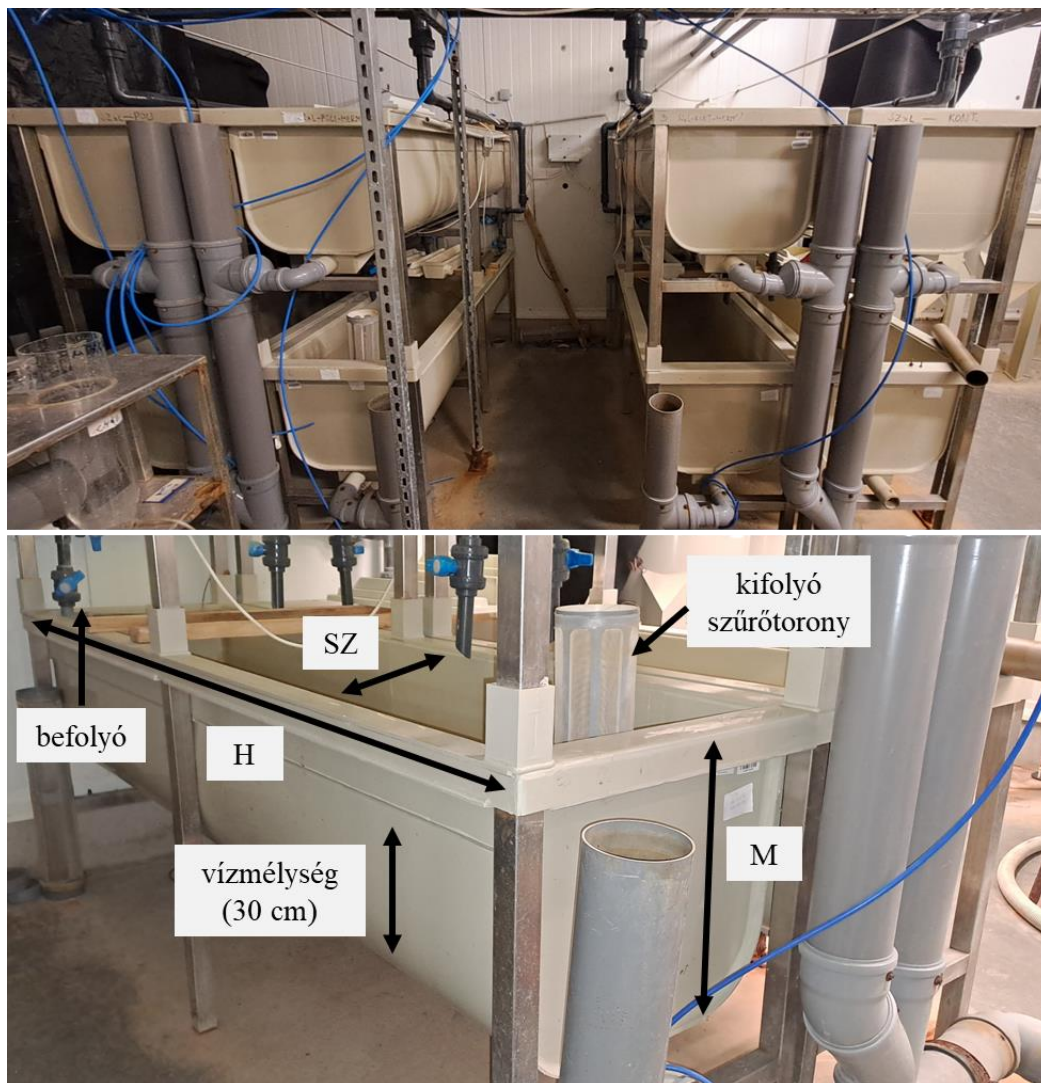
naponta kétszer 10 ml/l jódoldattal kezeltük a gombás fertőzések megelőzése érdekében (LAHNSTEINER & DÜNSER, 2025; ROSBURG ET AL., 2021). A kezelést az átfolyás megszüntetése mellett, egy hosszú műanyagcső segítségével végeztük: a jódoldatot befecskendeztük, gyenge átfolyással elkevertük, majd 10 perc fürdetést követően újraindítottuk a vízátfolyást.

A termékenyülési arányt a második-harmadik osztódási fázistól vizsgáltuk, körülbelül a harmadik inkubációs napon (körülbelül 60 órával a termékenyülést követően). A kelés a termékenyítést követő 5. napon kezdődött, és két napig tartott. A frissen kelt lárvákat egy 1m × 1m-es alapterületű, 30 cm vízoszlopmagasságú kádba gyűjtöttük, ahol az oldott oxigéntartalmat és a vízhőmérsékletet naponta két alkalommal mértük. A kelés elősegítése céljából az ikrátételt egy tálba helyeztük, és a felúszó lárvákat a tartókádba engedték. A folyamatot addig folytattuk, amíg már nem találtunk életképes egyedet. A kelés után a tartókád vízhőmérsékletét fokozatosan a kívánt értékre emeltük. A fertőzések visszaszorítása érdekében a felhalmozódott ikraburkokat és a kelésben gyenge lárvákat naponta eltávolítottuk a tartókádból egészen addig, amíg a lárvákat át nem helyeztük a kísérleti rendszerbe.

3.2. Állománysűrűség vizsgálata a kecsge lárva növekedésére és túlélésére – kísérleti rendszer és kísérleti beállítások

A kecsge szaporításához az anyaállományból 12 tejes és 12 ikrás egyedet választottunk ki (1. táblázat). A termékenyített ikrákat $16,6 \pm 0,3$ °C-on inkubáltuk. A kelést követő (days post hatch – DPH) második napon (2 DPH) véletlenszerűen kiválasztott 31 lárva egyedsúlyát ($10,08 \pm 1,5$ mg) analitikai mérleggel (AG135, Mettler Toledo, Szingapúr), valamint teljes testhosszát ($9,53 \pm 0,5$ mm) lemértem, közvetlenül a recirkulációs akvakultúra-rendszer (RAS) lárvanevelő egységébe történő áthelyezése előtt. A lárvanevelő rendszer hat kísérleti medencéből állt (250 liter, 0,57 m², 2. ábra), melyek szűrését egy gyöngyszűrő, egy mozgóágyas bioreaktor és egy UV-lámpa biztosította. Három különböző állománysűrűséget vizsgáltunk kétszeres ismétlésben hat nevelőmedencében, a 30 napos kísérlet során. A kiválasztott tenyésztési sűrűségek 5, 10 és 20 lárva/liter volt, ami 1250, 2500 és 5000 véletlenszerűen elhelyezett lárvát jelentett nevelési egységenként. A kísérlet során állandó nevelési körülményeket biztosítottunk. A víz oldott oxigéntelítettségét ($101,1\% \pm 1,22\%$; $9,5 \pm 0,1$ mg/l) és 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) tartalmat és a pH-t ($8,33 \pm 0,13$) — hetente kétszer vizsgáltuk. A tartályban a kiinduló vízhozamot 7 l/perc értékre állítottuk be, amelyet a kísérlet végére fokozatosan 12 l/percre növeltünk. Az elhullott egyedeket minden reggel és este eltávolítottuk, megszámoltuk és feljegyeztük.



2. ábra. A lárwanevelő rendszer és tartályparaméterei. H, hosszúság: 193 cm; M, magasság: 46 cm; SZ, szélesség: 48 cm.

3.2.1. A mintavételezés és mért paraméterek

A mintavételezés során ($n = 5$; a 1., 8., 13., 23. és 30. napon) tartályonként 31 véletlenszerűen kiválasztott lárva teljes testhosszát milliméterpapír segítségével lemértük, továbbá analitikai mérleggel (AG135, Mettler Toledo, Szingapúr) az egyedi testtömeget is meghatároztuk. A mérés előtt a mintára kijelölt halakat 2-fenoxietanosol altatóoldatba (0,4 ml/l) helyeztük, elaltattuk, majd testükről a felesleges vizet textilanyagon leittattuk. A mintavételezett halak számát levontuk

az eredetileg behelyezett egyedek számából. A kísérlet végén az összes halat megszámláltuk.

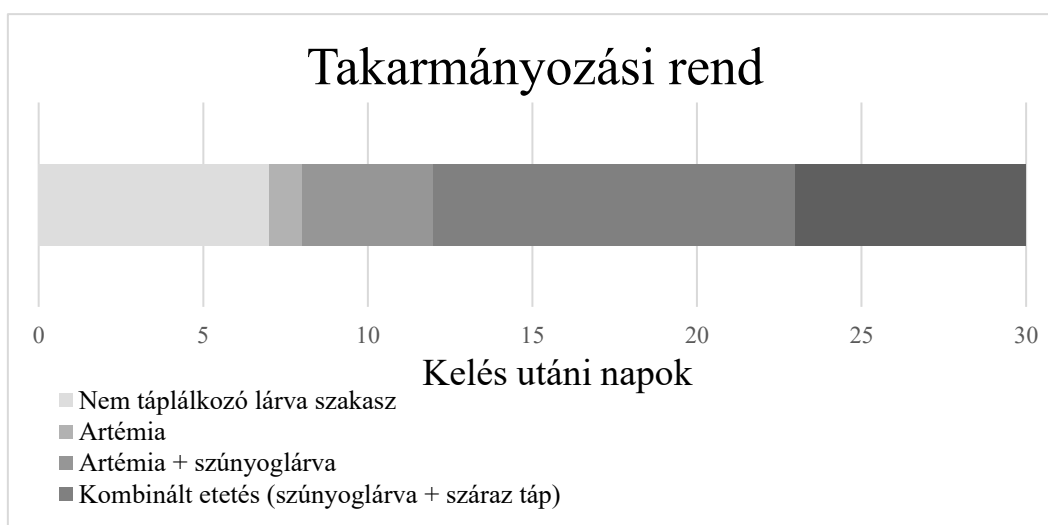
A felmért adatok alapján a következő paramétereket elemeztük:

- végső testtömeg (BW_f , mg) és végső teljes testhossz (TL_f , mm);
- Az állomány szétnövésének mértékét a végső testtömeg variációs együtthatójával (CV_{BW_f} , %) és a végső testhossz variációs együtthatójával (CV_{TL_f} , %) jellemeztük, az alábbi képletek alapján: $CV_{BW_f} = 100 SD_f / w_f$, ill. $CV_{TL_f} = 100 SD_f / l_f$, ahol a CV_{BW_f} ill. CV_{TL_f} - a végső testtömegre, illetve testhosszra számolt variációs együttható, SD_f - a végső egyedi testtömegek és testhosszak szórása; w_f - a végső átlagtömeg; l_f - a végső átlagos testhossz (SHAHZAD ET AL., 2023);
- A halak kondícióját a kondíciós tényező (K) mutatta, amelyet a következőképpen számítottunk ki: $K = 100 w/l_f^3$, ahol w a végső testtömeg, l_f pedig a végső testhossz (LUO ET AL., 2023);
- A túlélési arány (SR, %) számításának a módja a következő volt: a kísérlet végén összeszámlált halak számából kivontuk a mintázás során eltávolított egyedek számát, majd az így kapott értéket elosztottuk a kísérlet kezdetén betelepített halak számával, majd megszoroztuk százszal (KHAN ET AL., 2021);
- A napi elhullási arányt (%) a napi elhullott egyedek számának és a mintázások során a kezdeti állományból eltávolított halak számának levonásával kapott érték hányadosaként határoztuk meg, majd megszoroztuk százszal (KHAN ET AL., 2021);
- A napi fajlagos növekedési rátát (SGR, %/nap) a következőképpen számítottuk ki:
 $SGR = 100 (\ln w_f - \ln w_i) / t$, ahol w_f és w_i a végső, illetve kezdeti egyedi testtömeg, t pedig az eltelt idő napokban kifejezve (KHAN ET AL., 2021);
- A biomassza hozamot (FBG, g/l) az adott térfogati egységre jutó halbiomassza alapján határoztuk meg: $FBG = (B_f) - (B_i)$, ahol a B_f és B_i a végső, illetve kezdeti biomassza értéke (OPREA ET AL., 2015).

3.2.2. A kecsgeelárva etetési ütemterve és az *Artemia* keltetés ismertetése

A frissen kikelt lárvák az adott tenyésztési körülmények között körülbelül 7 napig kizárólag endogén táplálkozást folytattak a szikzacskó tartalmából. A kelést követő 8. naptól természetes takarmányt — frissen kikelt *Artemia* sp. nauplius

lárvákat (Sep-Art Artemia cysts, Ocean Nutrition, Europe, Belgium) és apróra vágott, fagyasztott vörös szúnyoglárvát (*Chironomus sp.*) — kínáltunk, kezdetben napi nyolc, majd napi hat alkalommal, a lárvák 12 napos koráig. A természetes táplálék napi mennyisége a teljes biomassza 100 %-ának felelt meg, amely fele-fele tömeg arányban tartalmazott *Artemia sp.* naupliit és apróra vágott *Chironomus sp.*-t. A 13. naptól vegyes takarmányozást alkalmaztunk: fagyasztott szúnyoglárvát és kereskedelemben forgalmazott tápot kaptak (az alkalmazott tápok összetételét lásd később) a lárvák, miközben a természetes táplálék arányát fokozatosan csökkentettük a száraz táp javára. A vegyes takarmányozási periódus 11 napig tartott (13–24 DPH). A vegyes takarmányozás első négy napja során a testtömeg 5 %-ának megfelelő mennyiségű száraztápot és 50 % vörös szúnyoglárvát adtunk. Ezt követően a száraztáp mennyiségét a testtömeg 10 %-ára emeltük, míg a szúnyoglárvák 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 (3. ábra, 2. táblázat).



3. ábra. A kecsege (*A. ruthenus*) táplálkozási ütemterve a 30 napos kísérlet során.

A kísérlet során kétféle, egyenlő arányban kevert lárvaindító tápot használtunk:

- 0,3–0,6 mm (gr, nyers összetétel: fehérje 64%, zsír 9%, NFE 5%, hamu 13%, rost 1%),
- 0,4 mm (nyers összetétel: fehérje 64%, zsír 8%, NFE 8,9%, hamu 12,1%, rost 1%).

2. táblázat. A kecsge (*A. ruthenus*) takarmányának testtömeg százalékos eloszlása a 30 napos kísérlet során.

| Nap (kelés után) | Artemia (% testtömeg) | Szúnyoglárva (% testtömeg) | Száraztáp (% testtömeg) | Megjegyzés |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|---|
| 8 | 50 | 0 | 0 | Táplálkozás kezdete |
| 9–12 | 50 > fokozatosan csökkentve | 50 | 0 | 18 órás etetési intervallum (09:00–03:00): kézi etetés (napi 8 alkalommal). <i>Artemia</i> mennyiségének fokozatos csökkentése. |
| 13–16 | 0 | 50 | 5 | Vegyes takarmányozás kezdete (09:00–00:00): kézi etetés napi 6 alkalommal. |
| 17–24 | 0 | 50 > fokozatosan csökkentve | 10 | Szúnyoglárva mennyiségét napi 5 %-kal csökkentettük, száraztápot mechanikus etetőgépre helyeztük. 18 órás etetési intervallum (9:00–03:00). |
| 25–30 | 0 | 0 | 7 | Kizárólag száraztáp, 18 órás etetési intervallum (9:00–03:00). |

3.2.3. Az adatok statisztikai analízisének módszere

A statisztikai elemzésekhez az SPSS 22.0 (IBM) szoftvert használtam. Az adatokat átlag \pm standard eltérés (SD) formájában mutattam be. Az elemzés előtt minden százalékos adatot arcsin-transzformációnak vettem alá. A varianciák homogenitását a normális eloszlást igazoló Kolmogorov–Smirnov-tesztet követően Levene-teszttel vizsgáltam.

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. A statisztikai szignifikancia szintjét $p < 0,05$ értékben határoztam meg. Szignifikáns különbség esetén Tukey-féle post-hoc tesztet alkalmaztam.

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

A kísérletet 2021 tavaszán végeztük. A szaporításhoz 5 tejes és 6 ikrás anyahalat használtunk (1. táblázat). A kecsge anyahalak hormonálisan indukált szaporítása LJUBOBRATOVIĆ ÉS MUNKATÁRSAI (2022) módszere szerint történt. A

megtermékenyített ikrákat Zuger-üvegekben, $16,3 \pm 0,2$ °C-os vízhőmérsékletű átfolyásos keltetőrendszerben inkubáltuk. Három héttel az indukált szaporítás előtt négy kísérleti akváriumot ($100 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$; 150 literes tenyésztési térfogattal) állítottunk fel egy hőszabályozott kísérleti helyiségben, ahol az épület ablakainak használatával természetes fotoperiódust biztosítottunk a kísérlet teljes időtartama alatt, mely körülbelül 14 óra nappali megvilágítást és 10 óra sötétséget jelentett (14L:10D). Minden akváriumhoz külön külső szűrőt telepítettünk (Oase FiltoSmart Thermo 100, Hörstel, Németország), amelyeket a kísérlet kezdete előtt biológiai körforgás kialakítása érdekében beüzemeltünk, ezzel maximalizálva a biológiai szűrés hatékonyságát. A külső szűrő óránként 600 liter víz átforgatására volt képes, a további levegőztetést pedig akváriumonként két buborékdifúzorral ellátott levegőztető kompresszor látta el. A külső szűrők kifolyó- és befolyóágát az akváriumok azonos sarkában helyeztük el, így biztosítva a víz teljes körforgását. A mesterséges termékenyítést követő hatodik napon megkezdődött a lárvakelés, amely 24 órán át tartott. Az elúszó lárvákat a kísérleti akvárium-rendszerbe szállítottuk 23 napos előnevelésre. Betelepítéskor 31 véletlenszerűen kiválasztott lárvát 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 kavicsal borítottuk (fehér gyöngykavics 8-16 mm, SZAT P-4), míg a CTRL-egységek aljzat nélküli, csupasz 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 $8,2 \pm 0,1$. Szignifikáns különbséget mutattunk ki a nitrit-nitrogén ($p < 0,001$) és nitrát-nitrogén ($p < 0,05$) szintjében, amelyek magasabbak voltak a CTRL-csoportban. A vízminőség fenntartása érdekében naponta három részleges vízcserét végeztünk a teljes víztömeg 25%-ának megfelelő mennyiségben. Irodalmi adatok alapján minden mért paraméter a kecsge neveléséhez megfelelő, optimális tartományban maradt (RÓNYAI & FELEDI, 2012; KOZŁOWSKI ET AL., 2014; MIHOC ET AL., 2021).

Az akváriumokat minden reggel és este tisztítottuk, az elhullott halakat eltávolítottuk, megszámoltuk és feljegyeztük. Ezentúl heti kétszeri rendszereséggel 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. A kísérleti periódus kezdetén akváriumonként 31 lárvát mértünk le, a fent ismertetett módszer szerint. 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.

3.3.1. Mintavétel és a mért tenyésztéstechnikai-paraméterek bemutatása

A kísérlet során öt alkalommal (23., 30., 37., 51. és 64. DPH) minden akváriumból véletlenszerűen kiválasztottunk 31 halat. A halaknak egyedileg megmértük a tömegét és teljes testhosszát. A napi takarmányadagok pontosítása érdekében hetente végeztük a méréseket. A mintavételezésre kiválasztott egyedeket mérés előtt $0,4$ ml/l koncentrációjú, 2-fenoxietanol vizes oldatában altattuk. A kísérlet végén az akváriumban lévő összes élő halat megszámoltuk.

A mért adatok alapján a következő tenyésztéstechnikai paramétereket elemeztem:

- kezdeti és végső testtömeg (BW_{i-f} , g),
- kezdeti és végső teljes testhossz (TL_{i-f} , mm),
- testtömeg kezdeti és végső variációs együtthatója ($CV_{BW_{i-f}}$, %), (lásd 3.2.1. fejezet)
- testhossz kezdeti és végső variációs együtthatója ($CV_{TL_{i-f}}$, %), (lásd 3.2.1. fejezet)
- kezdeti és végső kondíciós tényező (K_{i-f}), (lásd 3.2.1. fejezet)
- elhullás (%), (lásd 3.2.1. fejezet)
- túlélés (%), (lásd 3.2.1. fejezet)
- halbiomassza gyarapodás (FBG, g/l), (lásd 3.2.1. fejezet)
- fajlagos növekedési ráta (SGR, %/nap), (lásd 3.2.1. fejezet)
- kannibalizmus (%), számítása: $100 \times ((\text{kezdeti halak száma} - (\text{végső halak száma} + \text{elhullott halak száma}))/\text{kezdeti halak száma})$ (KHAN ET AL., 2021).

3.3.2. Az eltérő nevelési körülmények között tartott kecsege 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 egészen a 49. napig száraztáppal is takarmányoztuk a halakat 50-50 % arányban, melynek pelletmérete 300 és 500 µm volt, nyers összetétele pedig: fehérje 58%, lipid 12%, hamu 11,1%, cellulóz 0,5%. Az 50-53. életnap között 1/3-ad arányban bevezettük a 500–800 µm pelletméretű tápot, melynek nyers összetétele: fehérje 56%, lipid 15%, hamu 11,3%, rost 0,3% volt. Az 54. napon a 300 és 500 µm méretű tápot és az 500-800 µm méretű tápot 50-50% arányban kínáltuk a halaknak a kísérlet végéig. A fagyasztott szúnyoglárvák mennyiségét fokozatosan 10%-ra csökkentettük. A száraztáp mennyisége az összbiomassza 3%-át, míg a fagyasztott szúnyoglárváké 10%-át tette ki (3. táblázat).

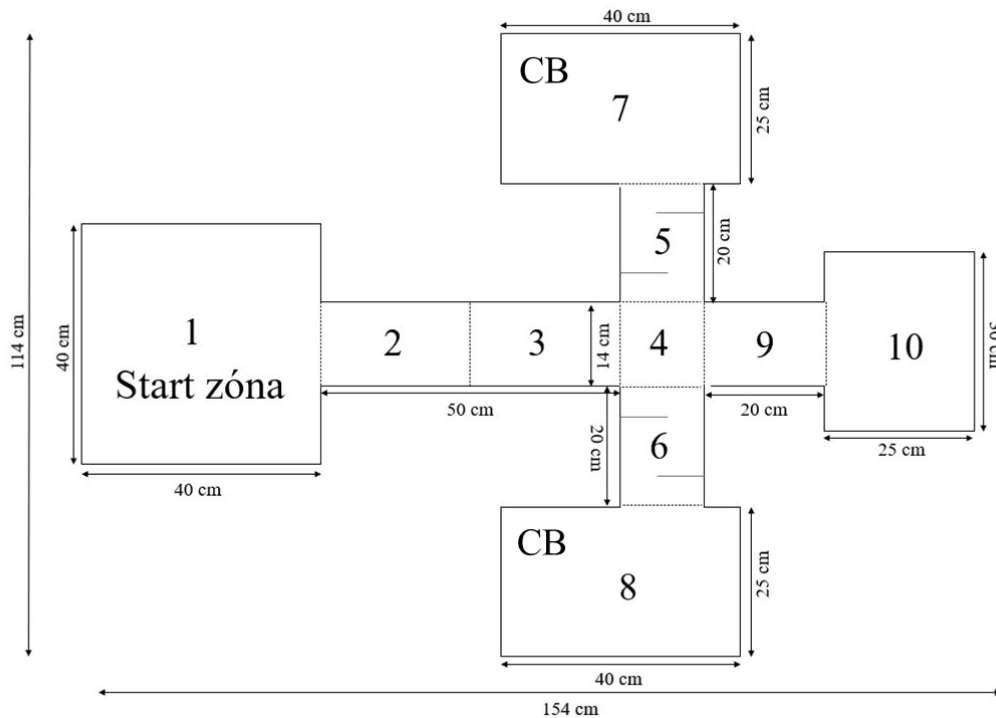
3. táblázat. Takarmányozási rend a hagyományosan és környezetgazdagítva nevelt kecsge esetében.

| Nap (kelés után) | Artemia (% testtömeg) | Szúnyoglárva (% testtömeg) | Száraztáp (% testtömeg) | Megjegyzés |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|
| 9–16 | 50> fokozatosan csökkentve | 50 | 0 | Előnevelés. 12 órás etetési intervallum (08:00–20:00): kézi etetés napi 6 alkalommal. <i>Artemia</i> mennyiségének fokozatos csökkentése. |
| 17–23 | 0 | 50 | 0 | 12 órás etetési intervallum (08:00–20:00): Kézi etetés napi 4 alkalommal. Előnevelés vége. |
| 24–28 | 0 | 50 | 0 | Kísérleti periódus. 12 órás etetési intervallum (08:00–20:00): Kézi etetés napi 4 alkalommal. |
| 29–67 | 0 | 50>10 fokozatosan csökkentve | 1,5<3 fokozatosan emelve | Szúnyoglárva mennyiségét fokozatosan napi 10%-ra csökkentettük, míg a táp mennyiségét 1,5%-ról fokozatosan 3%-ra emeltük: 12 órás etetési intervallum (08:00–20:00). Kísérleti periódus vége. |

3.3.3. Környezetgazdagítás hatásának vizsgálata a kecsge ivadék viselkedésére

3.3.3.1. A labirintus és a teszt protokoll bemutatása

A viselkedési teszteket egy 5 mm vastag, átlátszó plexiüvegből készült, kereszt alakú labirintusban végeztem. A labirintus kialakítása korábbi vizsgálatokon alapult (GOULD, 2010; BRAIDA ET AL., 2014; COLCHEN ET AL., 2017), azonban folyosóit és jutalmazó zónáit az ivadékok méretéhez igazítva kiszélesíttem. 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. E falak elhelyezése megnehezítette a halak bejutását a szélső zónákba. 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 (4. ábra).



4. ábra. A kecsge (*A. ruthenus*) ivadékokon végzett hagyományos és kavicslabirintus tesztekhez (a kelést követő 84., illetve 91. napon) használt keresztlabirintus kialakítása és mérete a rekeszek számával együtt.

Az első teszt során egy üres akváriumhoz hasonló, csupasz labirintust használtam. A második teszt előtt az aljzatra kis méretű (1–2 cm) kavicsokat szórtam szét egyenletesen. A két tesztet két egymást követő héten végeztem, a kelést követő 84. és 91. napon. A tesztelést akkor kezdtem meg, amikor a környezetgazdagított körülmények között nevelt, kisebb testtömegű csoport elérte a legalább 4 g-os testtömeget (84 DPH). Az első viselkedési vizsgálat során összesen 26 halat (kezelésenként 13 egyedet) választottam ki véletlenszerűen mindkét csoportból, majd ugyanezt a mintavételt megismételtem a második tesztperiódus alatt is.

A halak akváriumból történő kiemelését szák helyett egy nagyobb méretű, átlátszó doboz segítségével végeztem, így minimalizáltam a stresszhatásokat, amelyek befolyásolhatták volna a teszt eredményeit. A halakat a nevelőegységektől két méterre elhelyezett labirintus start zónájába tettem, amely nem volt fizikailag elválasztva a labirintus többi részétől. A halak egyenként 10 percet töltöttek a labirintusban. A teszt befejeztével minden egyed testtömegét megmértem, majd visszahelyeztem egy különálló akváriumba, amelyben korábban tesztelt halakat tartottam. Ezeket a halakat a további tesztek során már nem használtam. Az egyes munkamenetek között a labirintust teljesen kiürítettem,

annak érdekében, hogy eltávolítsam a halak által kiválasztott fajspecifikus kémiai jelzőanyagokat. Ezt követően a labirintust friss, levegőztetett, az akváriumokkal megegyező hőmérsékletű édesvízzel töltöttem fel 9 cm vízmagasságig. A labirintus fölé 1 m magasságban egy kamerát (SJCAM SJ4000 WI-FI, Shenzhen Zhencheng Technology Ltd., Kína) szereltem fel, és 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.

3.3.3.2. A kecsége ivadék esetében vizsgált viselkedési változók bemutatása

A halak etológiai mutatóit vizuális megfigyeléssel határoztam meg, és előre megadott viselkedési változóként kódoltam. Minden egyed teljes videofelvételét elemeztem. A „vakmerőség” ('boldness', amelyet az egyedek kockázatvállalási hajlandóságaként lehet definiálni (TEBELMANN & GANSLOSSER, 2024) és a „felderítő magatartás” ('exploration', mely általánosságban úgy definiálható, mint a környezet aktív megismerésének folyamata, amelynek célja információk gyűjtése és a környezet megismerése (FAURE, 2025) értékeléséhez a különböző zónákban tett látogatások számát és az ott eltöltött időt mértem. Kiemelt változók a következők voltak (4. táblázat):

- a kiindulási zónából való kilépés látenciaideje (LES [s]) (MAZUÉ ET AL., 2015; NADERI ET AL., 2016; COLCHEN ET AL., 2017),
- a bal és jobb oldali, kihívást jelentő zónák (CB) látogatásainak száma, a PASQUET ET AL. (2016) által bevezetett „meglátogatott karok száma” koncepció alapján.

Az „aktivitás” és a „felderítő viselkedés” további értékeléséhez a következő változót vizsgáltam:

- a tíz perc alatt meglátogatott zónák teljes száma (TNVZ) (PASQUET ET AL., 2016; COLCHEN ET AL., 2017; ALNES ET AL., 2021).

A stresszt a „szorongás-szerű” viselkedések időtartamával jellemeztem, például:

- „kiszámíthatatlan mozgások” és „szokatlan úszásminták” (S – stressz [s]) (CACHAT ET AL., 2010),

- „mozdulatlanságban eltöltött idő” (FT – fagyás [s]) (CACHAT ET AL., 2010; PASQUET ET AL., 2016; ALNES ET AL., 2021).

4. táblázat. A hagyományos- és kavicslabirintus teszt során elemzett viselkedési változók leírása a hagyományos (CTRL) és dúsított (EE) körülmények között nevelt fiatal kecségéknél *A. ruthenus*.

| Viselkedési változók | Rövidítés | Leírás |
|--|-----------|--|
| látenciaidő | LES | Az az idő, amelyet a hal a kiindulási zónában töltött, mielőtt az egész testével elhagyta azt. |
| zónaváltások száma | TNVZ | A zónaváltások száma a 10 perces megfigyelési időszak alatt. |
| kihívást jelentő zónák | CB | A kevésbé hozzáférhető bal és jobb oldali jutalomzónákba történő belépések száma, amelyekhez a hal a két átláthatatlan fal között áthaladva juthatott el. |
| stresszel-összefüggő úszási viselkedés | S | Az összes idő, amely alatt a halak rendellenes úszási viselkedést mutattak, például rendszertelen mozgást (hirtelen, éles, gyors helyváltoztatás) és gyors, kis sugarú körben történő körkörös úszást. |
| mozdulatlanság | FT | A halak által a 10 perces vizsgálati időszak alatt elmozdulás nélkül eltöltött teljes idő. |

3.3.4. Az adatok statisztikai analízisének módszere

A Shapiro–Wilk-tesztet alkalmaztam néhány mért tenyésztéstechnikai (BW, TL, K, elhullás) és valamennyi viselkedési változó (LES, CB, TNVZ, S, F) normáleloszlásának vizsgálatára. A varianciaelemzéshez F-próbát használtam. Normáleloszlás és megfelelő varianciák esetén kétmintás t-próbát végeztem az összehasonlítandó kezelések átlagainak (K_i , TL_i , BW_8 , F, TNVZ, nitrát-nitrogén) vizsgálatára, eltérő eloszlás vagy variancia esetén pedig a Mann–Whitney-féle nemparaméteres próbát alkalmaztam (BW_i , BW_f , TL_f , K_f , BW_{15-91} , elhullás, LES, S, F, CB, ammónium-nitrogén, nitrit-nitrogén). Chi-négyzet-analízist végeztem a túlélési arány és a kannibalizmus értékeinek összehasonlítása céljából. A BW és a TL, valamint az FBG és az SGR variációs együtthatójának elemzéséhez konfidenciaintervallum-átfedést (CI) használtam. Többszörös Spearman-korrelációkat végeztem a viselkedési és zootechnikai változók (BW_{84} , BW_{91})

között a szignifikáns összefüggések feltárása érdekében. Az adatokat átlag \pm standard eltérés formájában mutattam be, és a különbségeket $p \leq 0,05$ szinten tekintetem szignifikánsnak. Minden statisztikai elemzést az „R” (R Development Core Team, 2013) szoftver segítségével végeztem.

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

A vágótokanyák indukált szaporítást 2021-ben RÓNYAI ÉS MUNKATÁRSAI (2009) 2 tejes és 3 ikrás egyed, 2022-ben pedig LJUBOBRATOVIĆ ÉS MUNKATÁRSAI (2022) módszerei alapján végeztük 2 ikrás és 2 tejes anyahal felhasználásával (1. táblázat). A termékenyítést követően az ikrákat Zuger-edényekben, átfolyásos keltetőrendszerben, $16,7 \pm 0,3$ °C (2021), illetve $15,6 \pm 0,2$ °C (2022) vízhőmérsékleten keltettük hat, illetve hét napon keresztül, amikor a tömeges kelés bekövetkezett. A kikelést követő első napon (DPH) a lárvákat a kísérleti rendszerbe helyeztük át. Ez a rendszer egy RAS részeként nyolc ívelt aljú, egyenként 250 liter térfogatú és $0,57$ m² fenékfelületű kísérleti medencéből, egy gyöngyszűrőből, egy mozgóágyas bioreaktorból és egy UV-lámpából állt. A fotoperiódust (16L:8D) minden tartály fölött úgynevezett dimmelhető (fényerőszabályozható) LED-lámpák biztosították. Mindkét évben ugyanazt a lárvakeltető rendszert alkalmaztuk, medencénként 2500 lárva állománysűrűséggel.

A víz oldottoxigén-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. Az első kísérlet során mért vízminőségi paraméterek értékeit az 5. táblázat szemlélte.

5. táblázat. A kiértékelt vízminőségi paraméterek a 2021-ben zajlott vágótok lárva takarmányozási kísérlet során. Az egyes kombinációk között nem mutatkozott szignifikáns különbség a mért értékek tekintetében (ANOVA, $p > 0,05$).

| Vízminőségi paraméterek | Ammónium-nitrogén (mg/l) | Nitrit-nitrogén (mg/l) | Nitrát-nitrogén (mg/l) | Összes lebegőanyag (mg/l) | Oldott oxigén (mg/l) | Hőmérséklet (°C) |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------|------------------|
| F-N-NChi-W | 0.24 ± 0.1 | 0.02 ± 0.0 | 5.28 ± 2.6 | 4.42 ± 2.0 | 9.57 ± 0.3 | 17.02 ± 0.4 |
| L-E-NChi-W | 0.15 ± 0.0 | 0.02 ± 0.0 | 5.00 ± 2.4 | 3.50 ± 1.7 | 9.54 ± 0.4 | 16.93 ± 0.4 |
| F-N-EChi-Co | 0.15 ± 0.1 | 0.02 ± 0.0 | 5.25 ± 2.9 | 4.25 ± 2.5 | 9.57 ± 0.4 | 16.86 ± 0.4 |
| F-E-NChi-Co | 0.15 ± 0.0 | 0.02 ± 0.0 | 5.00 ± 2.3 | 3.83 ± 2.8 | 9.60 ± 0.3 | 16.87 ± 0.4 |
| L-N-NChi-Co | 0.15 ± 0.0 | 0.02 ± 0.0 | 5.25 ± 2.7 | 3.17 ± 1.6 | 9.54 ± 0.3 | 16.93 ± 0.4 |
| F-E-EChi-W | 0.15 ± 0.0 | 0.02 ± 0.0 | 5.15 ± 2.6 | 3.50 ± 2.5 | 9.59 ± 0.2 | 16.91 ± 0.4 |
| L-E-EChi-Co | 0.15 ± 0.0 | 0.02 ± 0.0 | 5.11 ± 2.4 | 3.00 ± 1.8 | 9.58 ± 0.3 | 16.89 ± 0.4 |
| L-N-EChi-W | 0.14 ± 0.0 | 0.02 ± 0.0 | 5.16 ± 2.6 | 2.75 ± 1.2 | 9.56 ± 0.4 | 16.89 ± 0.4 |

Jelölések: F–N–NChi–W, fagyasztott, nem dúsított *Artemia*, tápraszoktatás 20 DPH-tól; L–E–NChi–W, élő, dúsított *Artemia*, tápraszoktatás 20 DPH-tól; F–N–EChi–Co, fagyasztott, nem dúsított *Artemia* és *Chironomus*, vegyes takarmányozás; F–E–NChi–Co, fagyasztott, dúsított *Artemia*, vegyes takarmányozás; L–N–NChi–Co, élő, nem dúsított *Artemia*, vegyes takarmányozás; F–E–EChi–W, fagyasztott, dúsított *Artemia* és *Chironomus*, tápraszoktatás 20 DPH-tól; L–E–EChi–Co, élő, dúsított *Artemia* és *Chironomus*; vegyes takarmányozás; L–N–EChi–W, élő, nem dúsított *Artemia* és *Chironomus*, tápraszoktatás 20 DPH-tól.

A második kísérlet során mért vízminőségi paraméterek értékeit a 6. táblázat szemlélteti. A kísérlet során a medencéket naponta tisztítottuk, a leülepedett mulmot szifon segítségével eltávolítottuk, a kimeneti szűrőhálót naponta cseréltük, az elhullásokat megszámoztuk és feljegyeztük. A tartályok falán kialakuló vékony baktériumréteget kétnaponta sós szivaccsal távolítottuk el.

6. táblázat. A kiértékelt vízminőségi paraméterek a 2022-ben zajlott vágótok lárva takarmányozási kísérlet során. Az egyes kombinációk között nem mutatkozott szignifikáns különbség a mért értékek tekintetében (ANOVA, $p > 0,05$).

| Vízmin. paraméterek | Ammónium-nitrogén (mg/l) | Nitrit-nitrogén (mg/l) | Nitrát-nitrogén (mg/l) | Oldott oxigén (mg/l) | Hőmérséklet (°C) |
|---------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|------------------|
| E-EChi-W-CTRL | 0.12±0.0 | 0.04±0.0 | 3.89±1.6 | 9.34±0.6 | 16.87±0.3 |
| N-LChi-LW-EE | 0.12±0.0 | 0.04±0.0 | 3.99±1.3 | 9.45±0.5 | 16.85±0.3 |
| E-LChi-W-EE | 0.12±0.0 | 0.04±0.0 | 3.91±1.3 | 9.42±0.6 | 16.84±0.3 |
| E-EChi-LW-EE | 0.12±0.0 | 0.04±0.0 | 3.96±1.4 | 9.40±0.6 | 16.84±0.3 |
| N-EChi-LW-CTRL | 0.11±0.0 | 0.04±0.0 | 3.58±1.4 | 9.45±0.6 | 16.88±0.3 |
| E-LChi-LW-CTRL | 0.12±0.0 | 0.04±0.0 | 4.01±1.3 | 9.51±0.6 | 16.87±0.3 |
| N-LChi-W-CTRL | 0.12±0.0 | 0.04±0.0 | 4.01±1.3 | 9.56±0.5 | 16.88±0.3 |
| N-EChi-W-EE | 0.12±0.0 | 0.04±0.0 | 4.00±1.3 | 9.47±1.2 | 16.88±0.3 |

Jelölések: E-EChi-W-CTRL, dúsított *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszkotatás, hagyományos környezet; N-LChi-LW-EE, nem dúsított *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszkotatás, kavicsokkal dúsított környezet; E-LChi-W-EE, dúsított *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszkotatás, kavicsokkal dúsított környezet; E-EChi-LW-EE, dúsított *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszkotatás, kavicsokkal dúsított környezet; N-EChi-LW-CTRL, nem dúsított *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszkotatás, hagyományos környezet; E-LChi-LW-CTRL, dúsított *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszkotatás, hagyományos környezet; N-LChi-W-CTRL, nem dúsított *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszkotatás, hagyományos környezet; N-EChi-W-EE, nem dúsított *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszkotatás, kavicsokkal dúsított környezet.

3.4.1. Az *Artemia* dúsítás eljárásának ismertetése

Az *Artemia* sp. cisztákat (Sep-Art *Artemia* cysts, Ocean Nutrition Europe, Belgium) a gyártó ajánlásának megfelelően inkubáltuk (lásd 3.2.2. fejezet). Ezt követően megmértük a naupliusok nedves tömegét, majd két részre osztottuk őket. A frissen kikelt, szabadon úszó naupliusok felét további, 18 órás dúsítási folyamathoz használtuk fel, míg a másik felét 25 % sótartalmú, 4 °C alatti hőmérsékletű, megfelelően levegőztetett 20 literes tartályban tároltuk. A vizet jégakkukkal hűtöttük, hogy minimalizáljuk az állatok anyagcseréjét és növekedését.

A dúsítást ugyanabban a kúpos fenekű tartályban végeztük, amelyet friss sós vízzel töltöttünk fel, 20–25 °C közötti hőmérsékletre beállítva. A naupliuszokat alaposan átöblítettük, mielőtt a dúsítótartályokba helyeztük volna őket. A dúsításhoz kereskedelmi forgalomban kapható Easy DHA Selco emulziót (DSelco, INVE Aquaculture, Belgium) használtunk, amelyet a kikelést követő 6. és 12. órában, két részletben, a gyártó által ajánlott 0,6 g/l koncentrációban adagoltunk a dúsítómedencébe. A dúsítás során kiegészítő oxigénbeoldásra volt szükség a dúsításra használt szuszpenzió magas oxigénfogyasztására tekintettel. Az oldott oxigén-szintet naponta többször ellenőriztük. A folyamat végén a dúsítómedencék teljes víztartalmát leengedtük, majd naupliikat gondosan átöblítettük, mielőtt hűtőtárolás céljából tartóedénybe helyeztük volna. A dúsítási módszer és az alkalmazott emulzió típusa a két vizsgálati évben nem különbözött.

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

A kísérlet beállítását megelőzően felvettük a kapcsolatot három jelentős vágótok-termelő vállalat keltetőközpontjának vezetőivel (Rideg Árpád - Rideg & Rideg Fish Farm Kft.; Szilágyi Ákos - Neptun Bt.; Feledi Tibor – Forus Akvakultúra Kft.), hogy feltárjuk a lárwanevelési protokolljaikban tapasztalható ellentmondásokat, és segítséget kérjünk a kísérlet megtervezéséhez. A protokollok és az azok alapján kialakított tényezők főbb eltérései a következők voltak: (1) fagyasztott vagy élő *Artemia* alkalmazása; (2) száraztakarmány etetése vegyes takarmányozás formájában az exogén táplálkozás kezdetétől vagy fokozatos tápraszkotatás egy hetes természetes táplálékellátás után; (3) fagyasztott *Chironomus* alkalmazása. Mivel egyik keltető sem használt *Artemia*-dúsítást a vizsgálat idejéig, e téren nem rendelkeztek gyakorlati tapasztalattal. A szakirodalomban korábban igazolt, a fejlődésre gyakorolt pozitív hatásokkal összhangban (FRANCIS ET AL., 2019; PRUSIŃSKA ET AL., 2020; JOSHUA ET AL., 2022) az *Artemia*-dúsítást negyedik tényezőként határoztuk meg.

A vizsgált rögzített tényezők a következők voltak: *Artemia*-dúsítás (E/N; dúsított vagy nem dúsított), fagyasztott *Artemia* alkalmazása (F/L; fagyasztott vagy élő naupliuszok), fagyasztott *Chironomus* alkalmazása (EChi/NChi; *Chironomus*-szal vagy *Chironomus* nélkül), valamint co-feeding (Co/W; vegyes takarmányozás az exogén táplálkozás kezdetétől vagy hagyományos tápraszkotatás egy héttel később kereskedelmi granulált takarmány alkalmazásával). A száraz takarmány használatát „D”-vel jelöltük. Az általam

alkalmazott etetési ütemtervben résztvevő csoportok és jelöléseik (2021. évi kísérlet, 7. táblázat):

1. Fagyasztott, nem dúsított *Artemia*; tápraszoktatás 20 DPH-tól (F–N–NChi–W)
2. Élő, dúsított *Artemia*; tápraszoktatás 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*; tápraszoktatás 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*; tápraszoktatás 20 DPH-tól (L–N–EChi–W)

7. táblázat. Takarmányozási kombinációk, a takarmányozás menete és alkalmazott takarmánymennyiségek testtömegszázalékos arányban, időszakokra lebontva a vágótok lárva 1. takarmányozási kísérlete során (2021. évi kísérleti ciklus).

| DPH/ KOMBINÁCIÓK | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | F-N-NChi-W | L-E-NChi-W | F-N-EChi-Co | F-E-NChi-Co | L-N-NChi-Co | F-E-EChi-W | L-E-EChi-Co | L-N-EChi-W |
| 1-10 | nem táplálkozik | | | | | | | |
| 11-19 | F-N 50% | L-E 50% | F-N+Chi+D 12,5%+12,5%+2,5% | F-E+D 25%+2,5% | L-N+D 25%+2,5% | F-E+Chi 25%+25% | L-E+Chi+D 12,5%+12,5%+2,5% | L-N+Chi 25%+25% |
| W 20-22 | F-N+D 50-10%+1-6% | L-E+D 50-10%+1-6% | F-N+Chi+D 12,5- 0%+12,5%+2,5% | F-E+D 50-10%+1-6% | L-N+D 50-10%+1-6% | F-E+Chi+D 12,5- 0%+12,5%+2,5% | L-E+Chi+D 12,5- 0%+12,5%+2,5% | L-N+Chi+D 12,5- 0%+12,5%+2,5% |
| 23-29 | D 7% | D 7% | Chi+D 12,5-0%+5% | D 7% | D 7% | Chi+D 12,5-0%+5% | Chi+D 12,5-0%+5% | Chi+D 12,5-0%+5% |
| 30-36 | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% |

Jelölések: DPH, nap kelés után; F-N-NChi-W, fagyasztott, nem dúsított *Artemia*, tápraszoktatás 20 DPH-tól; L-E-NChi-W, élő, dúsított *Artemia*, tápraszoktatás 20 DPH-tól; F-N-EChi-Co, fagyasztott, nem dúsított *Artemia* és *Chironomus*, vegyes takarmányozás; F-E-NChi-Co, fagyasztott, dúsított *Artemia*, vegyes takarmányozás; L-N-NChi-Co, élő, nem dúsított *Artemia*, vegyes takarmányozás; F-E-EChi-W, fagyasztott, dúsított *Artemia* és *Chironomus*, tápraszoktatás 20 DPH-tól; L-E-EChi-Co, élő, dúsított *Artemia* és *Chironomus*; vegyes takarmányozás; L-N-EChi-W, élő, nem dúsított *Artemia* és *Chironomus*, tápraszoktatás 20 DPH-tól. E, dúsított *Artemia*; N, nem dúsított *Artemia*; EChi, *Chironomus* etetés az exogén táplálkozás kezdetétől; NChi, nincs *Chironomus* etetés; F, fagyasztott *Artemia*; L, élő *Artemia*; Co, vegyes takarmányozás; W, tápraszoktatás/nem vegyes takarmányozás, D, száraz táp. A színkódolás az eltérő takarmánytípusok és a hozzájuk tartozó biomasszára vetített százalékos arányt szemlélteti: zöld – *Artemia*; piros – *Chironomus*; sárga – kereskedelmi táp. Ahol kötőjellel összekötve két érték van feltüntetve, az az adott takarmánytípus periódus végére történő csökkentését jelenti.

Az első takarmányozási kísérlet 36 napig tartott. A medencék hőmérsékletét $16,9 \pm 0,05$ °C-on tartottuk. Az első kísérleti beállításnak megfelelő takarmányadagot a 11. kelést követő napon kínáltuk fel a toklárváknak. Ezt követően a halakat naponta hatszor, kézzel, hat egyenlő adagban etettük élő vagy fagyasztott, dúsított vagy nem dúsított *Artemia*-val, a kijelölt csoportokban fagyasztott szúnyoglárvával, illetve a vegyes takarmányozásban részesülő csoportok a természetes táplálék mellett kereskedelmi tápot is kaptak.

Az etetési arányok a következők voltak:

- kizárólag *Artemia*-val etetett csoportokban a halak testtömegének 50%-a;
- *Artemia*- és *Chironomus*-t kapott csoportokban 25%-25%;
- vegyesen takarmányozott (*Artemia*, szúnyoglárva és Coppens Advance kezdőtáp, pelletméret: 200–300 μ m, később 300–500 μ m; nyers összetétel: fehérje 56%, lipid 15%, hamu 11,3%, rost 0,3%; Alltech Coppens, Hollandia) 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%-ával megegyező 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 (7. táblázat).

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

A második takarmányozási kísérletben szintén 8 (24–1) faktoriális kombinációt vizsgáltunk, ugyanazon kísérleti beállítás mellett, mint az előző évben. Az első kísérlet (lásd 3.4.2. fejezet), valamint a kecségével végzett vizsgálat (lásd 3.3. fejezet) alapján a következő fix tényezőket határoztuk meg:

- *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).

Ennek megfelelően a 2. kísérletben a kísérleti kombinációkat a 8. táblázat mutatja be.

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)

8. táblázat. Takarmányozási és környezetgazdagítási kombinációk és a takarmányozás menete és testtömegszázalékos aránya időszakokra lebontva a vágótok lárva 2. takarmányozási kísérlete során (2022-es kísérleti ciklus).

| DPH/ KOMBINÁCIÓK | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | E-EChi-W-CTRL | N-LChi-LW-EE | E-LChi-W-EE | E-EChi-LW-EE | N-EChi-LW-CTRL | E-LChi-LW-CTRL | N-LChi-W-CTRL | N-EChi-W-EE |
| 1-10 | nem táplálkozik | | | | | | | |
| 11-18 | E+Chi 25%+25% | N 50% | E 50% | E+Chi 25%+25% | N+Chi 25%+25% | E 50% | N 50% | N+Chi 25%+25% |
| W 19-25 | E+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% | N+Chi 25%+25% | E+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% | E+Chi 25%+25% | N+Chi 25%+25% | E+Chi 25%+25% | N+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% | N+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% |
| LW 26-32 | D 7% | N+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% | D 7% | E+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% | N+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% | E+Chi+D 22,5+22,5%-5- 5%+1-7% | D 7% | D 7% |
| 33-40 | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% | D 7% |

Jelölések: DPH, nap kelés után; E-EChi-W-CTRL, dúsított *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszkotatás; hagyományos környezet; N-LChi-LW-EE, nem dúsított *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszkotatás, kavicsokkal dúsított környezet; E-LChi-W-EE, dúsított *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszkotatás, kavicsokkal dúsított környezet; E-EChi-LW-EE, dúsított *Artemia*; korai *Chironomus* alkalmazása; késői tápraszkotatás; kavicsokkal dúsított környezet; N-EChi-LW-CTRL, nem dúsított *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszkotatás, hagyományos környezet; E-LChi-LW-CTRL, dúsított *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszkotatás, hagyományos környezet; N-LChi-W-CTRL, nem dúsított *Artemia*; késői *Chironomus* alkalmazása; korai tápraszkotatás; hagyományos környezet; N-EChi-W-EE, nem dúsított *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszkotatás, kavicsokkal dúsított környezet; E, dúsított *Artemia*; N, nem dúsított *Artemia*; EChi, *Chironomus* etetés az exogén táplálkozás kezdetétől; LChi, *Chironomus* etetés egy héttel később; W, tápraszkotatás ('korai'); LW, késői tápraszkotatás; D, száraz

táp; EE, környezetgazdagítás; CTRL, hagyományos környezet. A szinkódolás az eltérő takarmánytípusok és a hozzájuk tartozó biomasszára vetített százalékos arányt szemlélteti: zöld – *Artemia*; piros – *Chironomus*; sárga – kereskedelmi táp. Ahol kötőjellel összekötve két érték van feltüntetve, az az adott takarmánytípus periódus végére történő csökkentését jelenti.

A második takarmányozási kísérlet 40 napig tartott a lárwanevelő rendszerben a fent ismertetett etetési protokollok és környezeti feltételek mellett. Ezt követően a halak a 40. naptól további egy hónapot töltöttek egy recirkulációs akvakultúra-rendszerhez tartozó, nyolc, egyenként 1 m³ térfogatú kör alakú, hagyományos csupasz ivadéknevelő medencében. Az ivadéknevelő kádak automata etetőkkel voltak felszerelve; szűrőrendszere dobszűrőből, mozgóágyas bioreaktorból, valamint UV- és ózonfertőtlenítő egységekből épült fel. A lárwanevelő medencék alján körülbelül 2 cm vastagságban apró kavicsokat (fehér gyöngykavics 8-16 mm, SZAT P-4) helyeztünk el. A medencék hőmérsékletét $16,9 \pm 0$ °C-on tartottuk 67 DPH-ig, majd a viselkedési tesztek megkezdése előtt (73 DPH) fokozatosan $19,3 \pm 0$ °C-ra emeltük. A *Chironomus*-etetés azokon a csoportokon belül - amelyek erre kijelölést kaptak - csak akkor kezdődött (11 DPH), amikor a lárvák több mint fele már aktívan táplálkozott, így megelőzve az el nem fogyasztott táplálék felhalmozódását és a bakteriális szennyeződést.

Az exogén táplálkozás kezdetétől 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 kezelések felében ('korai' tápraszkoltatott, W-csoportok) megkezdtük 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 (pelletméret: 300–500 µm, később 500–800 µm; nyers összetétel: fehérje 56%, lipid 15%, hamu 11,3%, rost 0,3%; Alltech Coppens, Hollandia) és Start Premium (pelletméret: 1,0 és 1,5 mm; nyers összetétel: fehérje 54%, lipid 15%, hamu 12,0%, rost 0,3%; Alltech Coppens, Hollandia) tápokkal etettük, automata szalagos etető segítségével. A takarmány mennyiségét és szemcseméretét folyamatosan a halak aktuális méretéhez igazítottuk.

Az LW-csoportokban a tápraszkoltatást egy héttel később, a kelést követő 26. napon indítottuk el, és ugyanazt a protokollt követtük, mint a W-csoportokban.

3.4.4. Az eltérő takarmányozási protokollok során végzett mintavételek és a vizsgált tenyésztéstechnikai paraméterek

Véletlenszerűen kiválasztott 31 lárva kezdeti testtömege a két vizsgálati évben kissé különbözött egymástól; 2021-ben: $19,7 \pm 1,3$ mg; 2022-ben: $16,0 \pm 0,8$ mg, teljes testhosszuk: 2021-ben: $12,1 \pm 0,5$ mm; 2022-ben: $11,8 \pm 1,8$ mm az egyedi mérések alapján. A kísérleti lárwanevelő rendszerben eltöltött idő alatt öt-öt alkalommal ellenőrző méréseket végeztünk majd a 2022-ben végzett kísérlet második szakaszában az ivadéknevelő rendszerben eltöltött idő alatt további négy mérést végeztünk. 2021-ben a 2., 9., 19., 29. és 36. kelés utáni napon, míg 2022-ben az 1., 11., 19., 26., 33., 39., 46., 53., 61. és 66. kelés utáni napon végeztük az ellenőrző méréseket. Kezelésenként 31 lárva teljes testhosszát és testtömegét ugyanazon mérleg használatával és módszerrel vizsgáltuk, mint az ezt megelőző években (lásd 3.2.1 és 3.3.1. fejezetek).

A mért adatok alapján mindkét kísérlet során következő tenyésztéstechnikai paramétereket elemeztem:

- végső testtömeg (BW_f , g), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- végső teljes testhossz (TL_f , mm), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- testtömeg végső variációs együtthatója (CV_{BW_f} , %) (lásd 3.2.1. fejezet), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- teljes testhossz végső variációs együtthatója (CV_{TL_f} , %) (lásd 3.2.1. fejezet), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- végső kondíciós tényező (K_f), (lásd 3.2.1. fejezet), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- elhullás (%) (lásd 3.2.1. fejezet), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- túlélés (%) (lásd 3.2.1. fejezet), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- halbiomassza gyarapodás (FBG, g/l), (lásd 3.2.1. fejezet), 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;

- fajlagos növekedési ráta (SGR, %/nap) (lásd 3.2.1. fejezet), 2021. évi kísérlet során 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során 40. és 66. kelés utáni életnapon;
- kannibalizmus (%), számítása (lásd 3.3.1. fejezet), amelyet a 2021. évi kísérlet során a 36. kelés utáni életnap; 2022. évi kísérlet során pedig a 66. kelés utáni életnapon határoztunk meg.

3.4.5. Eltérő takarmányozási protokollok alkalmazásának vágótok ivadékok viselkedésére gyakorolt hatásának vizsgálata

3.4.5.1. 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 és részletesen ismertettem (3.3.3.1. fejezet). A tesztet megelőző 18 órában minden csoportból öt halat szállítottam ($10,6 \pm 3,4$ g, 72-84 DPH) a viselkedésvizsgáló helyiség (ahol a labirintus és az akváriumok voltak elhelyezve) nyolc különálló akváriumába. A tesztelés heti négy napon, két héten keresztül zajlott. Kezelésként 19 halat vizsgáltam egyedileg, minden egyedtet csak egyszer. A tesztek befejeztével a halak testtömegét megmértem, majd visszahelyeztem őket a megfelelő akváriumba.

Két különböző kialakítású labirintust alkalmaztunk. Az első négy napon egy csupasz, fizikai szerkezetektől mentes labirintust használtam (hagyományos labirintusteszt), míg a következő négy napon a labirintus alját apró kavicsokkal (1–2 cm) borítottuk (kavics-labirintusteszt). A hagyományos labirintus-tesztben a stresszhelyzetben történő táplálékfelvétel vizsgálatára a labirintus különböző pontjaira fagyasztott *Chironomus sp.* lárvákat helyeztem.

A vizsgálat során az alábbi viselkedési változókat rögzítettem:

- táplálékfelvétel (FI),
- a startzónából való kilépéshez szükséges látenciaidő (LES) (lásd 3.3.3.2. fejezet),
- a zónaváltások, illetve meglátogatott zónák összesített száma (TNVZ) (lásd 3.3.3.2. fejezet),
- mozdulatlanságban eltöltött idő (FT) (lásd 3.3.3.2. fejezet 'FT'),

- stresszhez kapcsolódó úszási viselkedés (S) (lásd 3.3.3.2. fejezet),
- a startzóna meglátogatásának száma (VS),
- a kihívást jelentő jutalom-zónák meglátogatásának száma (VC) (lásd 3.3.3.2. fejezet 'CB').
- a labirintusban megtett távolság (DT).

A viselkedési változók részletes leírását a 9. táblázat tartalmazza.

9. táblázat. A vágótok hagyományos- és kavics-labirintusban vizsgált viselkedési mutatóinak etogramja (viselkedési listája).

| Viselkedési változók | Rövidítés | Leírás |
|---|-----------|--|
| Táplálék felvétel (alkalom) | FI | <i>Chironomus</i> darabszám, melyet a hal a 10 perces tesztidőszak alatt elfogyasztott. |
| Látenciaidő a start zóna elhagyásáig (s) | LES | Az az idő, melyet a hal a start zónában töltött, mielőtt elhagyta volna azt. |
| Start zóna meglátogatásának száma (alkalom) | VS | A start zóna meglátogatásának száma a 10 perces tesztidőszak alatt. |
| A kihívást jelentő zónák meglátogatásának száma (alkalom) | VC | A kihívást jelentő zónák meglátogatásának száma a 10 perces tesztidőszak alatt. |
| Megtett út (cm) | DT | A hal által labirintusban megtett út a 10 perces tesztidőszak alatt. |
| A zónaváltások száma (alkalom) | TNVZ | A zónalátogatások összes száma a 10 perces tesztidőszak alatt. |
| Mozdulatlanság (s) | FT | A 10 perces vizsgálati időszak alatt mozdulatlanul töltött idő. Figyelmen kívül hagyva a farokúszó hullámozását. |
| Stresszel összefüggő úszási viselkedés (s) | S | A halak abnormális úszási viselkedésének teljes időtartama, például gyors, kis sugarú körben történő körkörös úszás, ugrálás, gyors és éles irányváltogatás. |

3.4.6. Nyomkövető szoftver a megtett távolság (DT) méréséhez – AEGEAR

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.

Az Aegear két szakaszból áll: észlelés és követés. Az észlelési szakasz egy U-Net architektúrát használ, egy eredetileg biomedicinális kép szegmentálására kifejlesztett konvolúciós neurális hálózatot (RONNEBERGER ET AL., 2015), amely valószínűségi hő térképet állít elő, kiemelve a halak helyét még texturált vagy zsúfolt környezetben is. A képkockák közötti követéshez az Aegear egy Siamese hálózati megközelítést alkalmaz (BERTINETTO ET AL., 2016), amely összehasonlítja a hal „sablonját” az előző képkockából a jelenlegi képkocka keresési területével, és kiad egy hő térképet, amelyen a csúcs jelzi a legvalószínűbb pozíciót. Ez a kombinált módszer lehetővé teszi a pálya legbiztosabb ábrázolását eltakarások, hirtelen mozgások vagy a halak irányának változásai ellenére is, támogatva a viselkedési paraméterek, például a megtett távolság, az úszási sebesség és a mozgás késleltetésének pontos számszerűsítését.

3.4.7. Az adatok statisztikai analízisének módszere

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). Az 1. kísérletben összesen 9, a 2. kísérletben pedig 18 tenyésztéstechnikai és 10 viselkedési kimeneti változót választottunk ki a további elemzéshez. A varianciahomogenitás feltételeit Levene-teszttel vizsgáltuk. Homogén varianciák esetén Tukey post-hoc tesztet, más esetben Kruskal-Wallis tesztet alkalmaztunk. Az adatokat szükség esetén log-transzformáltuk, és ennek megfelelően végeztük el a további statisztikai elemzéseket.

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 (IBM Corp., 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.). A tenyésztési paramétereket minden mérési pontra külön-külön elemeztük.

A kombinációk rangsorolásához minden kísérleti beállításhoz egy összpontszámot számítottunk, amelyet az összesített z-értékek kumulatív értékéből származtatott ordinális skálán határoztunk meg (EL KERTAOU 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_{BW_f}), (lásd 3.2.1. fejezet)
- végső teljes testhossz variációs együtthatója (CV_{TL_f}), (lásd 3.2.1. fejezet)
- túlélés (%), (lásd 3.2.1. fejezet).

4. Eredmények

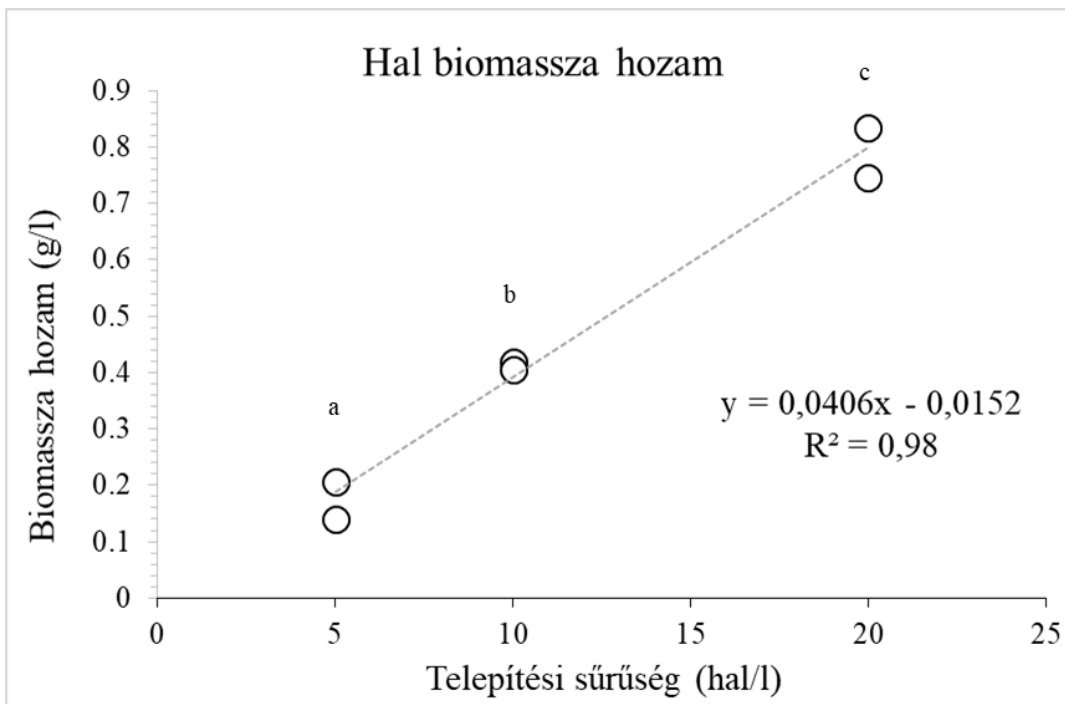
4.1 A kecsége állománysűrűségének hatása a kecsége növekedésére és túlélésére

A Pearson-féle korrelációs elemzés erős összefüggést mutatott az FBG és az állománysűrűség között ($r=0,98$; $p<0,001$, 5. ábra), míg más vizsgált paraméter esetén nem volt szignifikáns kapcsolat ($p>0,05$, 10. táblázat). A vizsgált csoportok között egyetlen statisztikailag igazolható ($p<0,05$) különbség mutatkozott a növekedési paraméterek tekintetében, mégpedig a halak biomasszagyapodásában (ANOVA: $F_{2,3}=94,008$; $p=0,002$; 5. ábra). Minden nagyobb állománysűrűségű kezelés szignifikánsan igazolható (ANOVA, Tukey post-hoc teszt; $p<0,05$), magasabb FBG-t (adott térfogati egységre eső halbiomassza) eredményezett.

10. táblázat. Három különböző állománysűrűség hatása a 30 napos kecsge lárva növekedésére és túlélésére. Az eredményeket átlag \pm szórás feltüntetésével jellemeztem.

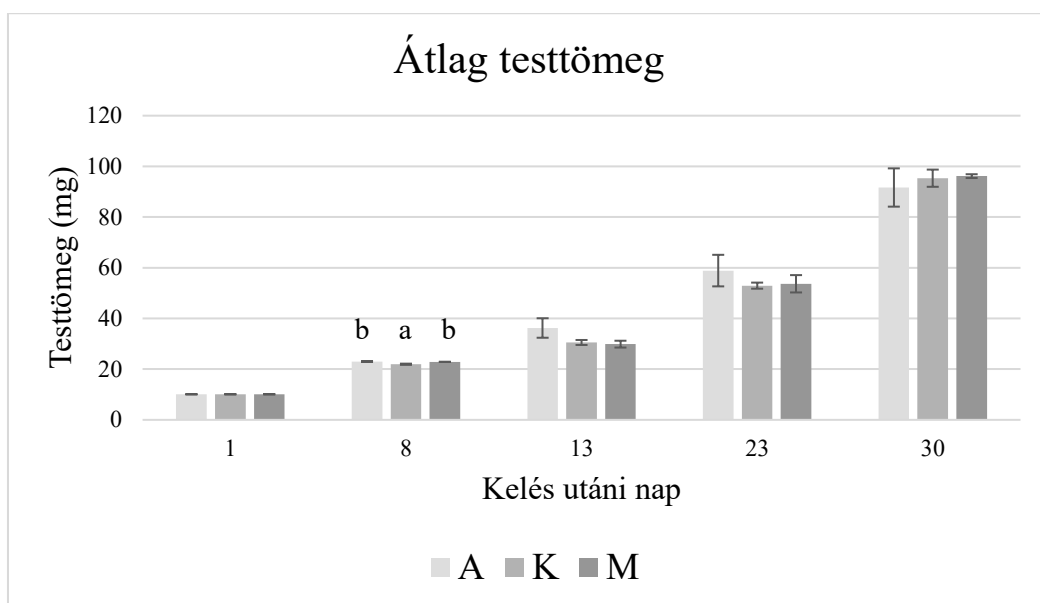
| Paraméter | A | K | M | Pearson's R érték | p-érték |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|---------|
| BW _f (mg) | 91.7 \pm 44.3 | 95.3 \pm 43.6 | 96.1 \pm 44.7 | 0.428 | 0.398 |
| CV _{BW_f} (%) | 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 | <0.001 |
| 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, végső testtömeg; CV_{BW_f}, a végső testtömeg variációs együtthatója; TL_f, végső teljes testhossz; CV_{TL_f}, a végső teljes testhossz variációs együtthatója; K_f, végső kondíciós tényező; 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



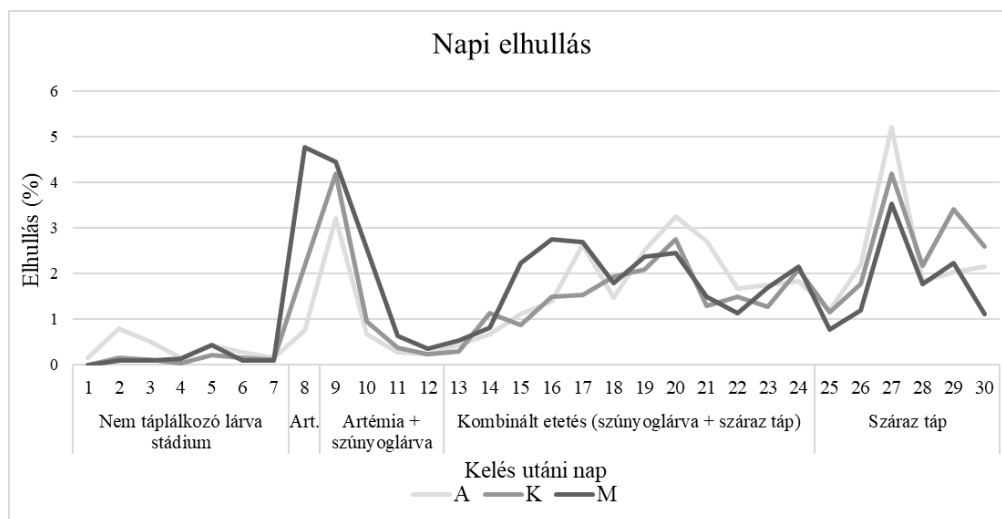
5. ábra. A halak biomassza-gyarapodásának ábrázolása a kecsege három különböző állománysűrűségének függvényében a 30 napos kísérlet végén. Az eltérő betűjelek szignifikánsan igazolható különbségeket jelölnek $p < 0,05$ szinten.

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 (ANOVA, Tukey post-hoc teszt; $p < 0,05$, 6. 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 (ANOVA, Tukey post-hoc teszt; $p > 0,05$).



6. ábra. A kecsége lárvák növekedése a 30 napos kísérlet során. Az eltérő betűjelek szignifikánsan igazolható különbségeket jelölnek $p < 0,05$ szinten. 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

A napi elhullást vizsgálva a legnagyobb csúcsokat az exogén takarmányozásra való áttéréskor (9 DPH) és a tápraszkotatást követő időszakban (27 DPH) figyeltük meg (7. ábra). 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 ($r=0,95$, $p=0,004$; 11. táblázat). A legmagasabb elhullási arányt a 20 lárva/l sűrűségű csoportban észleltük, amely szignifikánsan igazolható módon (ANOVA, Tukey post-hoc test; $p < 0,05$) különbözött a legalacsonyabb telepítési sűrűségű csoport eredményeitől. Az utolsó etetési időszakban a magas telepítési sűrűségű (M) csoport mutatta a legalacsonyabb elhullási arányt, azonban a kísérlet további részében nem észleltünk jelentős különbséget (ANOVA, Tukey post-hoc test; $p > 0,05$) vagy összefüggést az időszakos elhullásban.



7. ábra. A kecsge lárva napi elhullása három különböző állománysűrűségben a 30 napos kísérlet során. 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.

11. táblázat. A kumulatív elhullás százalékos aránya a különböző táplálkozási fázisokban a kecsge lárva három különböző állománysűrűségénél. Az eredményeket átlag ± 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 |
| tápraszkoltatás | 13-23 | 19,68 ± 1,9 | 16,24 ± 1,2 | 20,01 ± 0,3 | 0,235 | 0,654 |
| tápraszkoltatás 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.

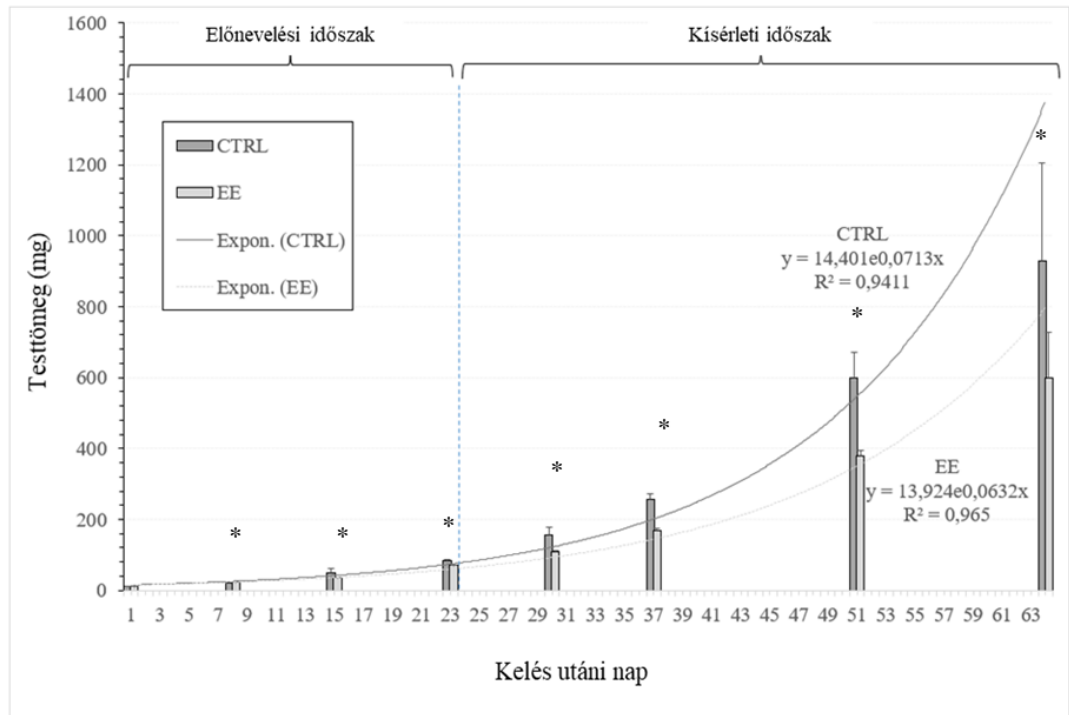
4.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsége növekedésére és túlélésére

A halak testtömege a kísérleti időszak során minden mintavételi ponton eltérést mutatott. A környezetgazdagított körülmények között nevelt (EE) csoportban a halak testtömege szignifikánsan igazolhatóan (Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$) alacsonyabb volt (12. táblázat; 8. ábra). 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 végső 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. Hasonlóképpen, a két kísérleti csoport között szignifikáns eltérés mutatkozott a végső testtömeg variációs együtthatójában ($79,0 \pm 10\%$ vs. $36,0 \pm 10\%$; CI: nincs átfedés), amely a hagyományosan nevelt (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 (12. 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 (9. ábra).

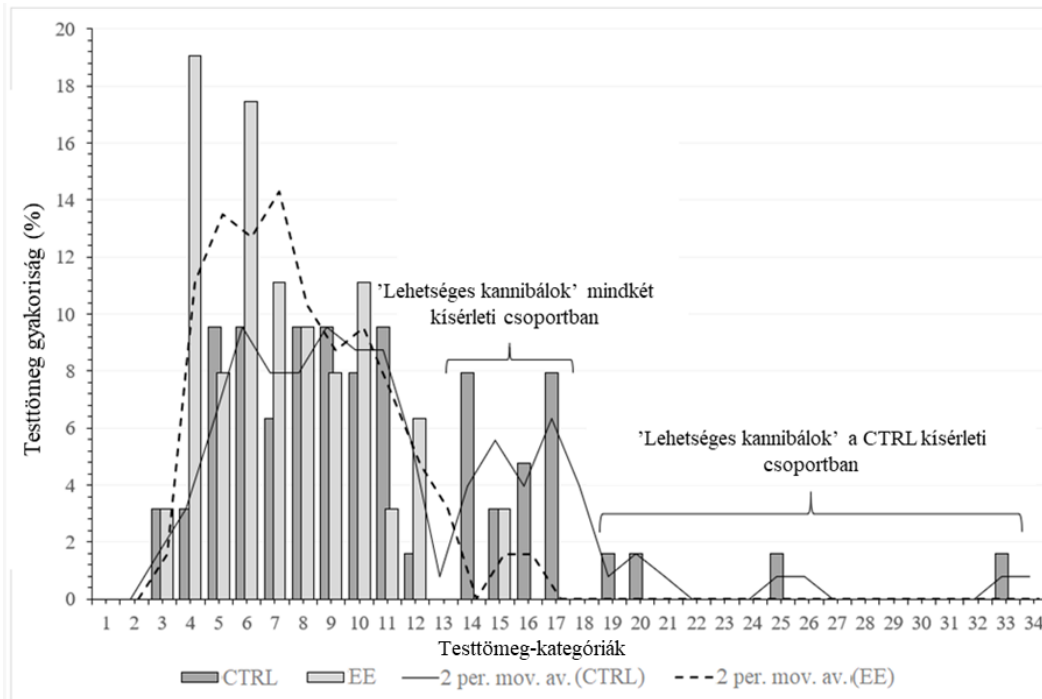
12. táblázat. A környezetgazdagítás hatása a kecsége *A. ruthenus* tenyésztéstechnikai paramétereire a kísérleti időszak alatt (23-64 nappal a kikelés után, DPH) hagyományos (CTRL) és környezetgazdagított (EE) környezeti körülmények között.

| Paraméterek | Rövidítések | Kontroll csoport (CTRL) | Környezetgazdagított körülmények között nevelt csoport (EE) |
|--|----------------------------------|-------------------------|---|
| Kezdő testtömeg | BW _i (g) | 0,08±0,0 ^a | 0,07±0,0 ^b |
| 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 |
| Végső testtömeg | BW _f (g) | 0,9±0,3 ^b | 0,6±0,1 ^a |
| Végső testtömeg variációs együtthatója | CV _{BW_f} (%) | 56,5±7,3 ^b | 44,9±0,7 ^a |
| Végső testhossz | TL _f (mm) | 59,1±5,9 ^b | 47,2±1,3 ^a |
| Végső 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 |
| Végső 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.



8. ábra. A hagyományos (CTRL) és környezetgazdagított (EE) környezeti körülmények között nevelt kecsge lárva és ivadékok növekedése. A szignifikáns különbségeket * jelöli a felső indexben.



9. ábra Hisztogram-diagram a hagyományos (n=31, CTRL) és a környezetgazdagított (n=31, EE) körülmények között nevelt kecsge ivadékok végső testtömegeinek (BW_f , 64 nappal a kikelés után) adatai alapján.

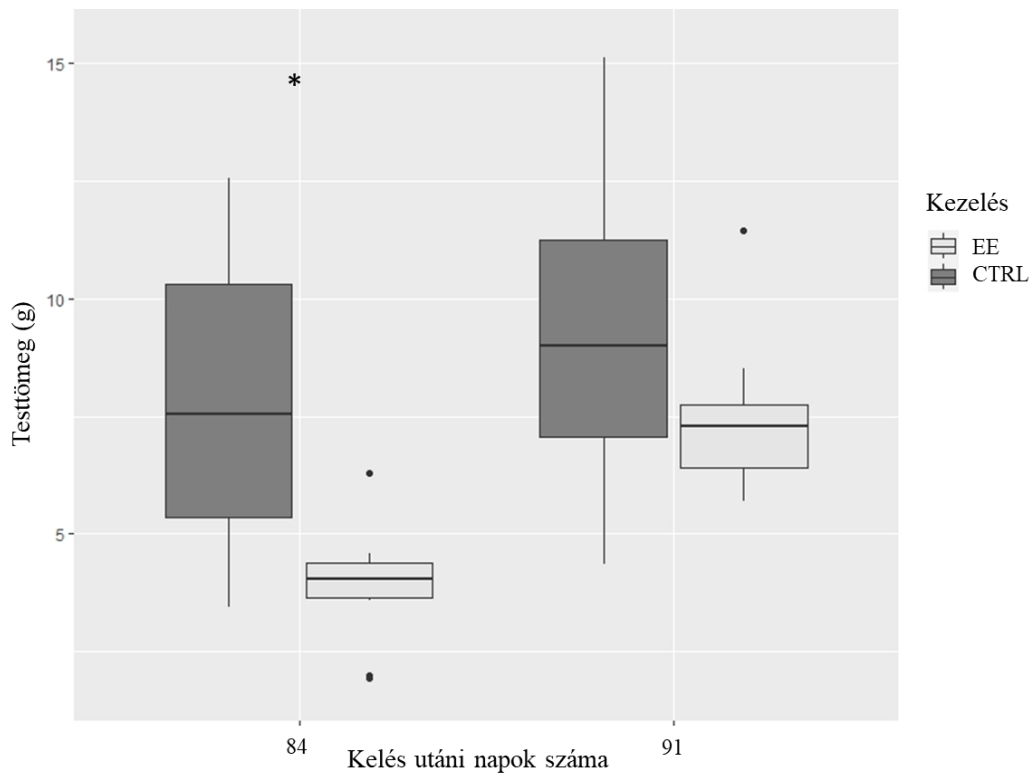
4.3. A környezetgazdagítás hatása a kecsgeivadék viselkedésére

A hagyományos labirintusteszt során a környezetgazdagított körülmények között nevelt (EE) csoport egyedei szignifikánsan kevesebb időt töltöttek stresszhez köthető viselkedés gyakorlásával (CTRL: $165,2 \pm 144,1$ s vs. EE: $55,4 \pm 102,6$ 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 a környezetgazdagított körülmények között nevelt (EE) csoporthoz képest (CTRL: $0,8 \pm 1,1$ vs. EE: $3,2 \pm 3,4$; Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$). A hagyományos labirintusteszt alatt a CTRL egyedek testtömege szignifikánsan nagyobb volt, mint a környezetgazdagítva nevelt egyedek testtömege (Mann-Whitney non-parametrikus teszt; $p < 0,05$) (13. táblázat, 10. ábra). A kavics-labirintustesztben is szignifikáns különbség mutatkozott a stresszhez köthető viselkedés időtartamában, a környezetgazdagított körülmények között nevelt csoportban rövidebb periódusokkal (CTRL: $275,8 \pm 197,4$ s vs. EE: $96,1 \pm 118,3$ s; Mann-Whitney non-

parametrikus teszt; $p < 0,05$), míg a többi vizsgált változó esetében nem volt kimutatható szignifikáns eltérés (13. táblázat).

13. táblázat. A kecsgeivadékkal (*A. ruthenus*) végzett hagyományos labirintusteszt és a kavics-labirintusteszt eredményei. Rövidítések: LES, a startboxból való kilépés látenciaideje; FT, mozdulatlanságban eltöltött idő; S, stresszel összefüggő úszási viselkedés; TNVZ, a meglátogatott zónák száma; CB, kihívást jelentő boxok; BW84,92, testtömeg 84 DPH és 92 DPH mellett. 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 |



10. ábra A hagyományos (CTRL) és környezetgazdagított (EE) körülmények között nevelt kecsge ivadékok átlagos testtömege a hagyományos labirintusteszt (84 nappal a kelés után [DPH]) és a kavics-labirintusteszt (91 DPH) során. A szignifikáns különbségeket * jelöli a felső indexben.

A viselkedési változók közötti összefüggések

A viselkedési változók közötti korrelációkat külön-külön vizsgáltuk a különböző labirintusteszt-típusokban és kezelési csoportokban. A szignifikáns korrelációkat a 14. táblázat szemlélteti. 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 (FT). A TNVZ negatívan korrelált a mozdulatlanságban eltöltött idővel és a stresszel összefüggő úszási viselkedéssel (S) is ($r_s=-0,59$; $p<0,05$). A testtömeg (BW) nem mutatott korrelációt sem a start zónából való kilépés látenciaidejével, sem a stresszhez kapcsolható viselkedéssel.

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 ($r_s=0,62$; $p<0,05$) (14. táblázat).

14. táblázat. Spearman-féle korrelációk (Rho) a hagyományos- (84 nappal a kelés után) és a kavics-labirintusteszt (94 nappal a kelés után) változói között a kétféle környezeti nevelésben részesült kecsge (*A. ruthenus*) ivadékcsoportok esetében. Rövidítések: LES, a start zónából való kilépés látenciaideje; FT, mozdulatlanságban eltöltött idő; S, stresszel összefüggő úszási viselkedés; TNVZ, a meglátogatott zónák száma; CB, kihívást jelentő jutalom zónák látogatásának száma; BW, testtömeg. A táblázatban a statisztikailag igazolhatóan szignifikáns $p<0,05$ eredményeket tüntettem fel.

| Labirintusteszt | Változók | | Kontroll csoport (CTRL) | Környezet gazdagítva nevelt csoport (EE) |
|-----------------------------|-----------|-----------|-------------------------|--|
| | változó 1 | változó 2 | Spearman's rho | Spearman's rho |
| Hagyományos labirintusteszt | BW | TNVZ | 0,59 | 0,64 |
| | LES | TNVZ | -0,58 | |
| | CB | TNVZ | | 0,68 |
| | TNVZ | FT | | -0,59 |
| | TNVZ | S | | -0,59 |
| | BW | F | | -0,07 |
| Kavics-labirintusteszt | BW | TNVZ | 0,56 | 0,62 |
| | LES | S | 0,58 | |
| | BW | CB | 0,64 | |
| | TNVZ | FT | -0,58 | |
| | TNVZ | S | -0,71 | |
| | LES | TNVZ | -0,56 | |
| | LES | BW | -0,77 | |

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

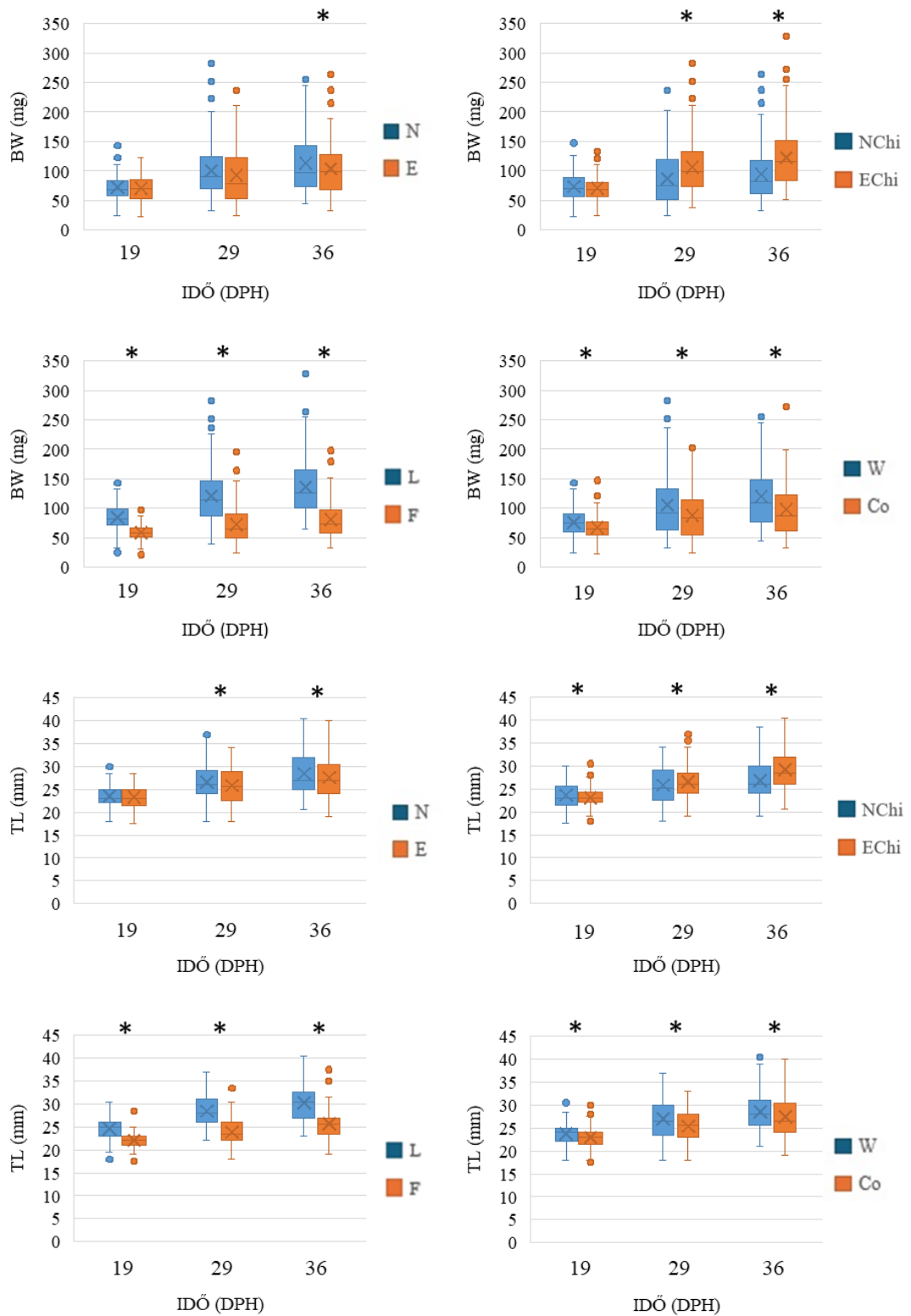
4.4.1. Eltérő takarmányozási protokollok hatása a vágótok növekedésére és túlélésére 2021-ben

A különböző kezelési kombinációk hatását a növekedési, túlélési és kondíciós mutatókra az 15. táblázat mutatja be. Az idő, mint faktor szignifikánsan befolyásolta az elhullás alakulását (GLM, $F_{(2,3,677)}=9.592$; $p<0,05$) 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 (F hatása a testtömegre: GLM, $F_{(1,2)}=23.815$; $p<0,05$; F hatása a testhosszra: GLM, $F_{(1,2)}=30.618$; $p<0,05$; Co hatása a testhosszra: GLM, $F_{(1,2)}=26.596$; $p<0,05$), 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

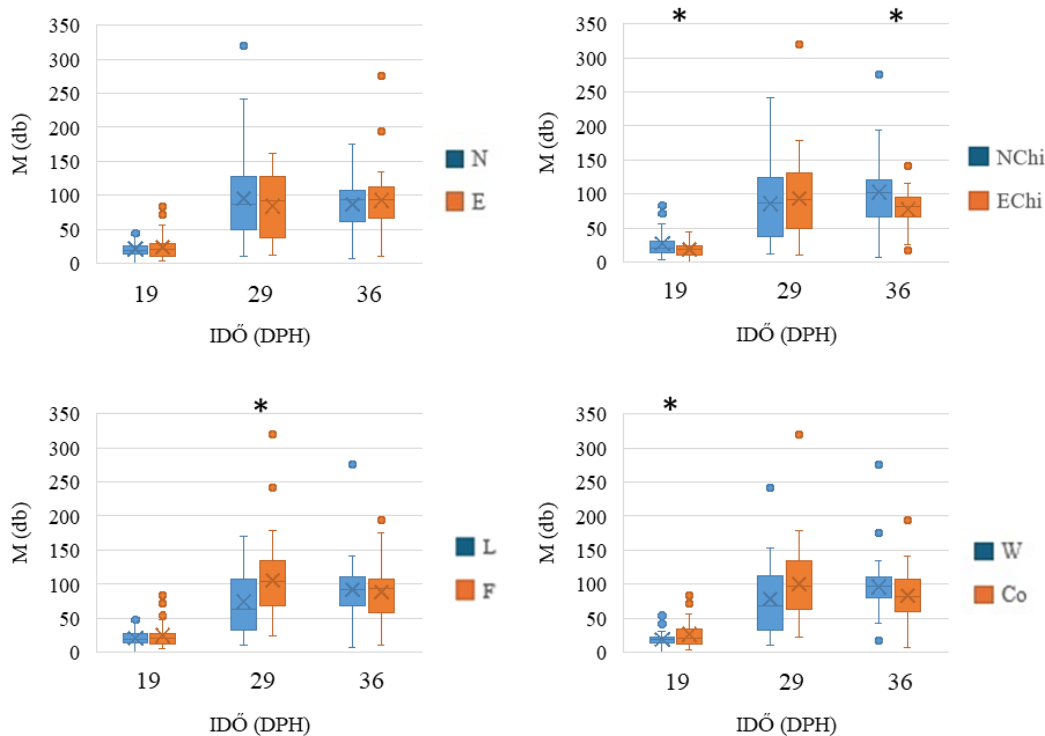
(*Chironomus* hatása a testtömegre az idő függvényében: GLM, $F_{(2,705)}=14.144$; $p<0,05$, *Chironomus* hatása a testhosszra az idő függvényében: GLM, $F_{(2,705)}=16.041$; $p<0,05$; F hatása a testtömegre az idő függvényében: GLM, $F_{(2,705)}=13.070$; $p<0,05$; F hatása a testhosszra az idő függvényében: GLM, $F_{(2,705)}=10.839$; $p<0,05$) illetve az elhullás tekintetében is volt statisztikailag kimutatható hatása (F hatása az elhullásra az idő függvényében: GLM, $F_{(2,209)}=3.960$; $p<0,05$), addig a *Chironomus* hatása az elhullás esetében statisztikailag nem volt szignifikáns, de megközelítette a szignifikanciahatárt (GLM, $F_{(2,209)}=2.965$; $p=0,054$). 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 szignifikanciahatárt 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, $p<0,05$) (11. 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 (12. ábra).

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

| Kombinációk/ Paraméterek | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>Artemia</i> dúsítás | | | + | | + | | + | + | |
| <i>Chironomus</i> alkalmazása | | | | + | | | + | + | + |
| Fagyasztott <i>Artemia</i> | | + | | + | + | | + | | |
| Vegyes takarmányozás | | | | + | + | + | | + | |
| kezdő testtömeg a 9. kelés utáni napon | BW _i (g) 9 DPH | 0,019 \pm 0,0 | 0,019 \pm 0,0 | 0,019 \pm 0,0 | 0,019 \pm 0,0 | 0,019 \pm 0,0 | 0,019 \pm 0,0 | 0,019 \pm 0,0 | 0,019 \pm 0,0 |
| kezdő teljes testhossz a 9. kelés utáni napon | TL _i (mm) 9 DPH | 12,1 \pm 0,5 | 12,1 \pm 0,5 | 12,1 \pm 0,5 | 12,1 \pm 0,5 | 12,1 \pm 0,5 | 12,1 \pm 0,5 | 12,1 \pm 0,5 | 12,1 \pm 0,5 |
| végző testtömeg (g) a 36. kelés utáni napon | BW _f (g) 36 DPH | 0,07 \pm 0,0 | 0,13 \pm 0,1 | 0,09 \pm 0,0 | 0,06 \pm 0,0 | 0,12 \pm 0,0 | 0,10 \pm 0,0 | 0,12 \pm 0,0 | 0,17 \pm 0,1 |
| végző teljes testhossz (mm) a 36. kelés utáni napon | TL _f (mm) 36 DPH | 24,52 \pm 2,1 | 30,02 \pm 3,9 | 27,47 \pm 4,3 | 23,34 \pm 2,3 | 29,37 \pm 3,1 | 27,40 \pm 2,4 | 29,40 \pm 3,7 | 32,48 \pm 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 \pm 0,1 | 0,48 \pm 0,1 | 0,46 \pm 0,1 | 0,44 \pm 0,1 | 0,46 \pm 0,1 | 0,50 \pm 0,1 | 0,47 \pm 0,1 | 0,50 \pm 0,1 |
| specifikus növekedési ráta a 36. kelés utáni napon | 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 |



11. ábra. A vágótok növekedésének változása a rögzített tényezők függvényében az 1. kísérlet mintavételi pontjain. A különböző betűjelek a statisztikailag igazolható különbséget jelölik ($p < 0,05$). 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, tápraszkotatás/nem vegyes takarmányozás; TL, teljes testhossz; BW, testtömeg.



12. ábra. A vágótok elhullásának változása a rögzített tényezők függvényében az 1. kísérlet mintavételi pontjain. A különböző betűjelek a statisztikailag igazolható különbséget jelölik ($p < 0,05$). 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; M, elhullás.

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

A különböző kezelési kombinációk hatását a növekedési, túlélési és kondíciós mutatókra az 16a. és 16b. táblázat mutatja be. Az idő, mint faktor szignifikánsan befolyásolta a testtömeg (BW) (GLM, $F_{(4,3.215)}=80.247$; $p < 0,005$) és testhossz (TL) (GLM, $F_{(4,5.204)}=132,360$; $p < 0,001$) alakulását a lárwanevelés 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 (*Chironomus* hatása: GLM, $F_{(4,1174)}=2,454$; $p < 0,05$; korai tápraszoktatás hatása: GLM, $F_{(4,1174)}=5.578$; $p < 0,05$) és TL (*Chironomus* hatása: GLM, $F_{(4,1175)}=3.081$; $p < 0,05$; korai tápraszoktatás hatása: GLM, $F_{(4,1175)}=5.207$; $p < 0,05$) értékekre, míg a tápraszoktatás időpontja a növekedési mutatókon túl az elhullásra is szignifikáns hatással volt. Az exogén táplálkozás kezdetétől *Chironomus*-t fogyasztó (EChi)

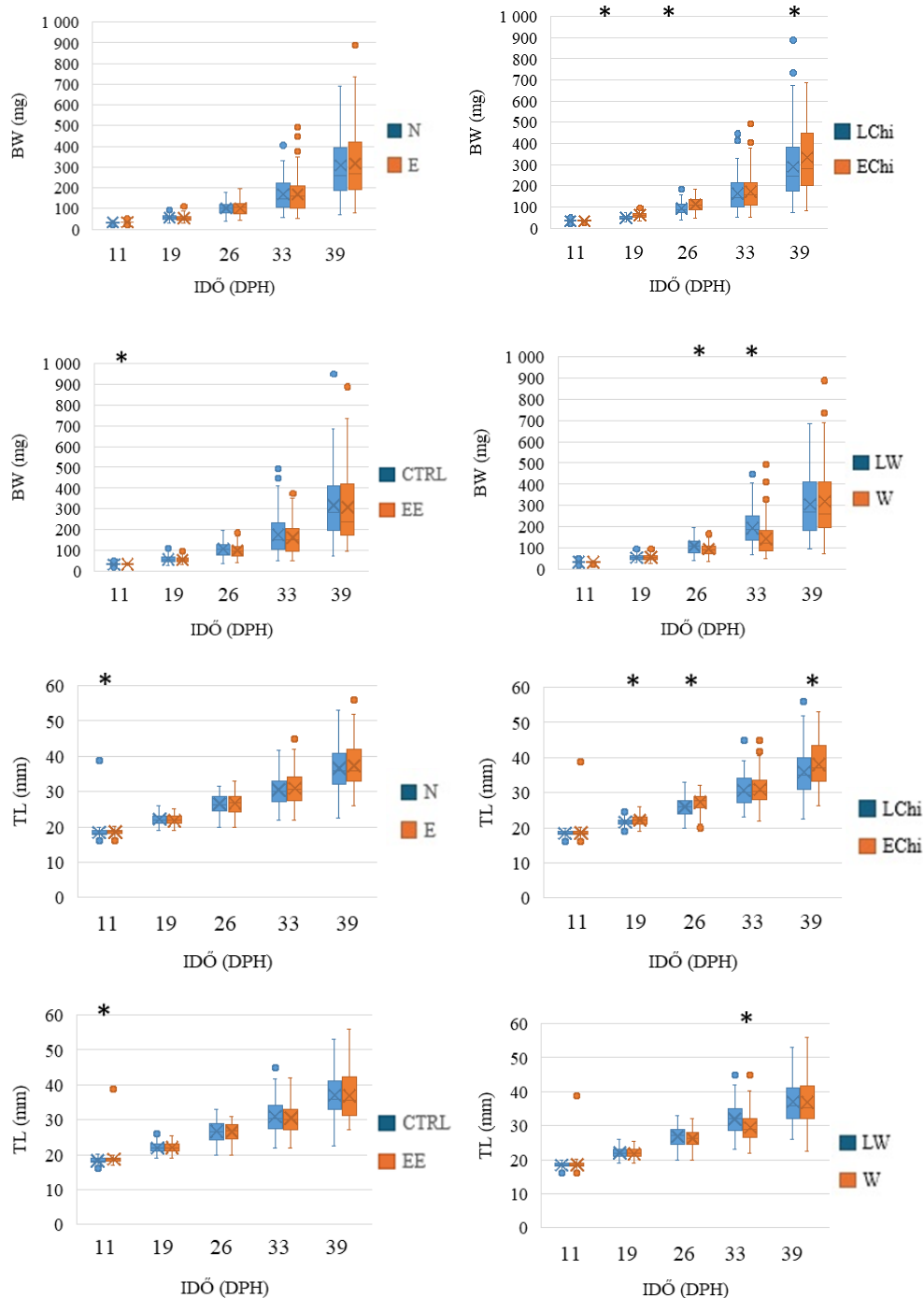
csoporthoz képest, míg a 'korán' tápraszkoltatott (W) csoportban kisebb BW volt megfigyelhető összehasonlítva azt a később tápraszkoltatott (LW) csoport eredményeivel (26 és 33 DPH, Kruskal-Wallis teszt, $p < 0,05$), mely különbség a lárwanevelési periódus végén (39. DPH) már nem volt mérhető. Emellett a W-csoportban az elhullás mértéke is nőtt a lárwanevelési 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 (13. ábra, 14. ábra).

16a. 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.

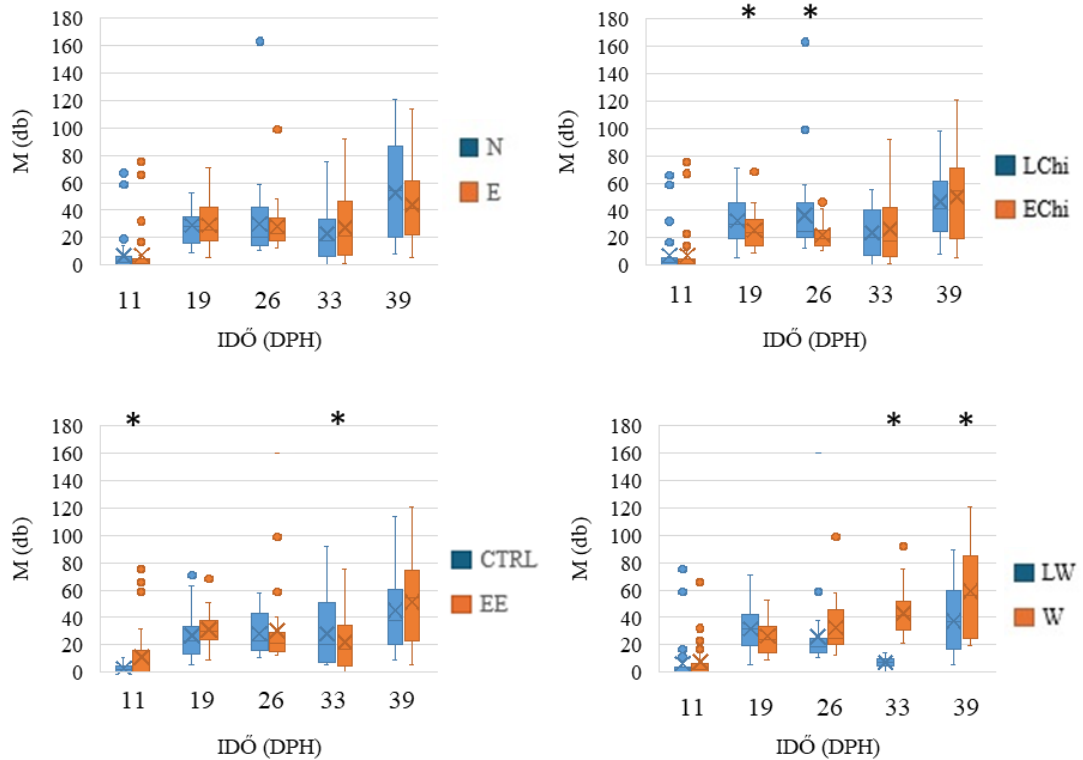
| Teljes magyar név | Rövidítés | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>Artemia</i> dúsítás | E | + | | + | + | | + | | |
| Chi korai bevezetése (<i>Chironomus</i> lárva) | EChi | + | | | + | + | | | + |
| Környezetgazdagítás | EE | | + | + | + | | | | + |
| Tápraszkotatás (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 _{BWf} 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 _{TLf} 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 _{BWf} 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 _{TLf} 66 DPH (%) | 17,72 | 19,47 | 20,29 | 17,13 | 17,26 | 23,11 | 21,19 | 22,24 |

16b. táblázat. A vágótok tenyésztéstechnikai paramétereinek eredményei a 2. takarmányozási kísérlet lárva- 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 | | + | + | + | | | | + |
| Tápraszoktatás (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 biomassa-gyarapodás a 40. napon | FBG 40 DPH | 1,10 | 0,91 | 1,12 | 1,45 | 2,25 | 1,55 | 0,82 | 1,40 |
| fajlagos biomassa-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 |



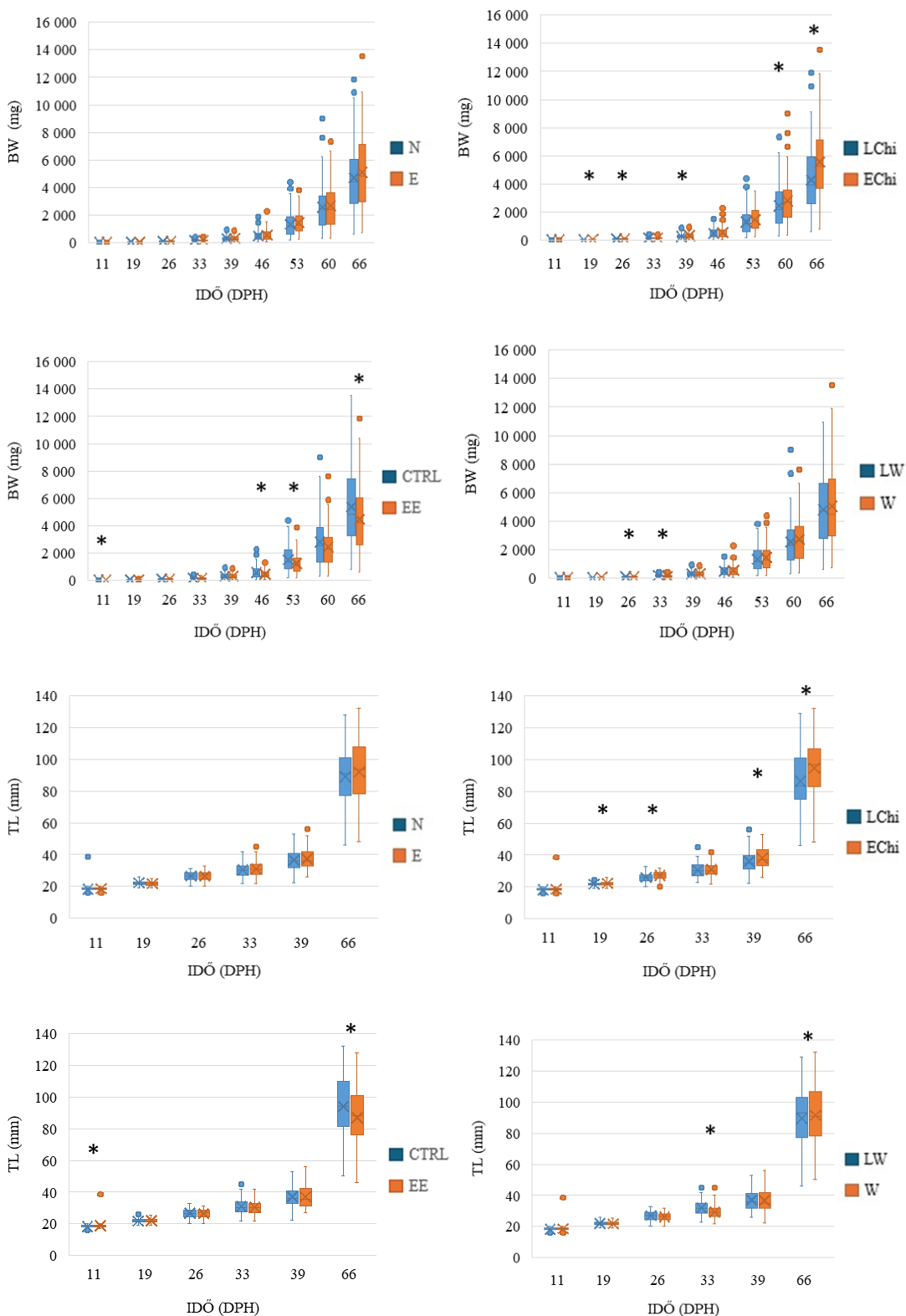
13. ábra. A vágótok (*A. gueldenstaedtii*) növekedésének és elhullásának változása a rögzített tényezők és az idő függvényében különböző mintavételi pontokon a 2. takarmányozási kísérletben a lárwanevelés során. A szignifikáns különbségeket csillaggal jelöltem a felső indexben. Rövidítések: E, dúsított *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; BW, testtömeg; TL, teljes testhossz.



14. ábra. A vágótok (*A. gueldenstaedtii*) elhullásának változása a rögzített tényezők és az idő függvényében különböző mintavételi pontokon a 2. takarmányozási kísérletben a lárwanevelés során. 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; M, elhullás.

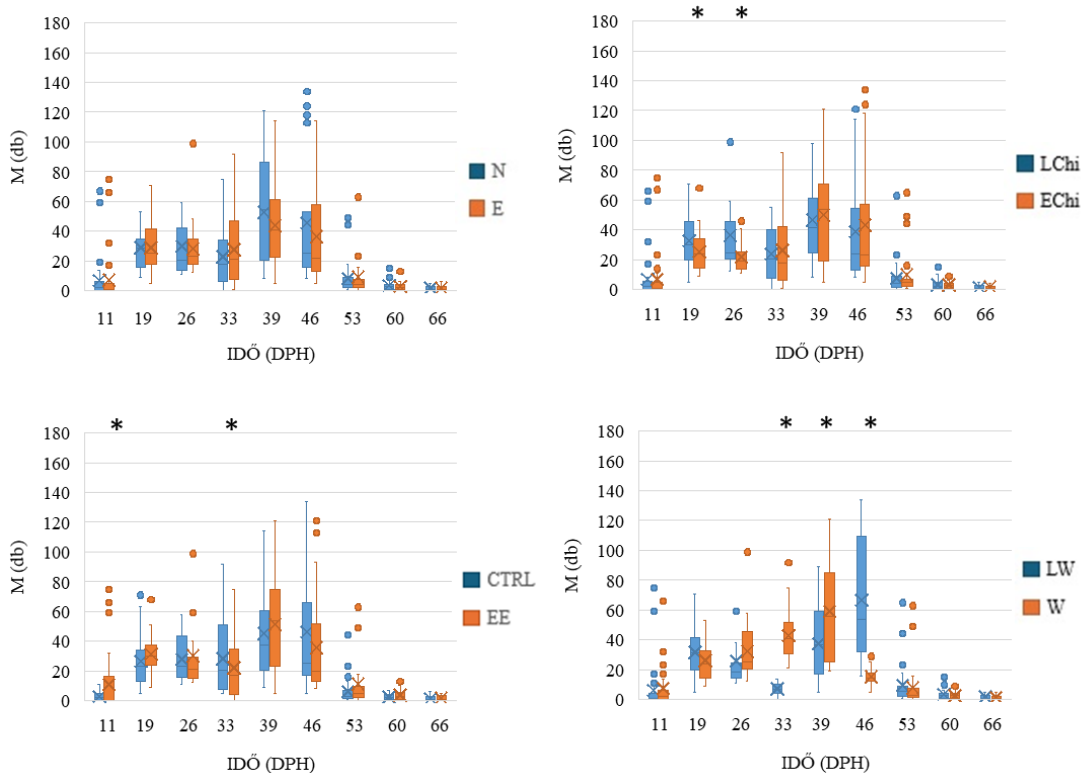
A teljes kísérleti időszakot – vagyis a lárwanevelést és az ivadéknevelést – figyelembe véve az idő faktor továbbra is szignifikáns hatással volt a növekedési mutatókra. A *Chironomus* bevezetésének időpontja mellett az EE is szignifikáns hatást gyakorolt a BW (*Chironomus* hatása: GLM, $F_{(8,2114)}=10.130$; $p<0,05$; EE hatása: ANOVA/GLM, $F_{(8,2114)}=5.525$; $p<0,05$) és a TL (*Chironomus* hatása: GLM, $F_{(5,1410)}=8.941$; $p<0,05$; EE hatása: GLM, $F_{(5,1410)}=7.931$; $p<0,05$) 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, $p < 0,05$) (15. ábra, 16. ábra).



15. ábra. A vágótok (*A. gueldenstaedtii*) növekedésének változása a rögzített tényezők és az idő függvényében különböző mintavételi pontokon a 2. takarmányozási kísérlet teljes nevelési időszakában. 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; BW, testtömeg; TL, teljes testhossz.



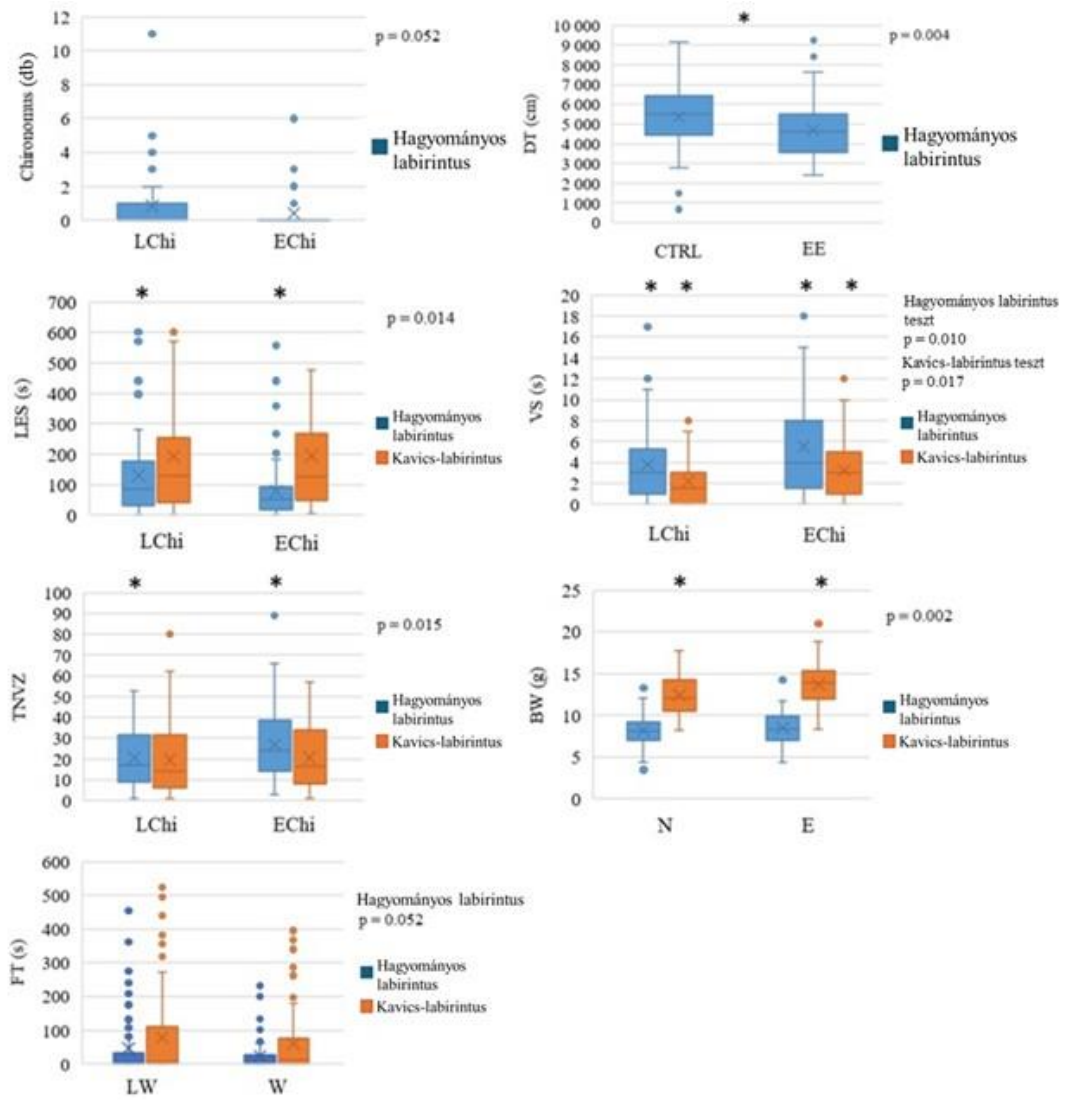
16. ábra. A vágótok (*A. gueldenstaedtii*) elhullásának változása a rögzített tényezők és az idő függvényében különböző mintavételi pontokon a 2. takarmányozási kísérlet teljes nevelési időszaka alatt. A szignifikáns különbségeket csillaggal jelöltem a felső indexben. Rövidítések: E, dúsított *Artemia*;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

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

A rögzített tényezőknek nem volt szignifikáns hatásuk a takarmányfelvételre (FI) a hagyományos labirintus-teszt 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 labirintus-teszt 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-labirintus teszt során nem volt kimutatható.

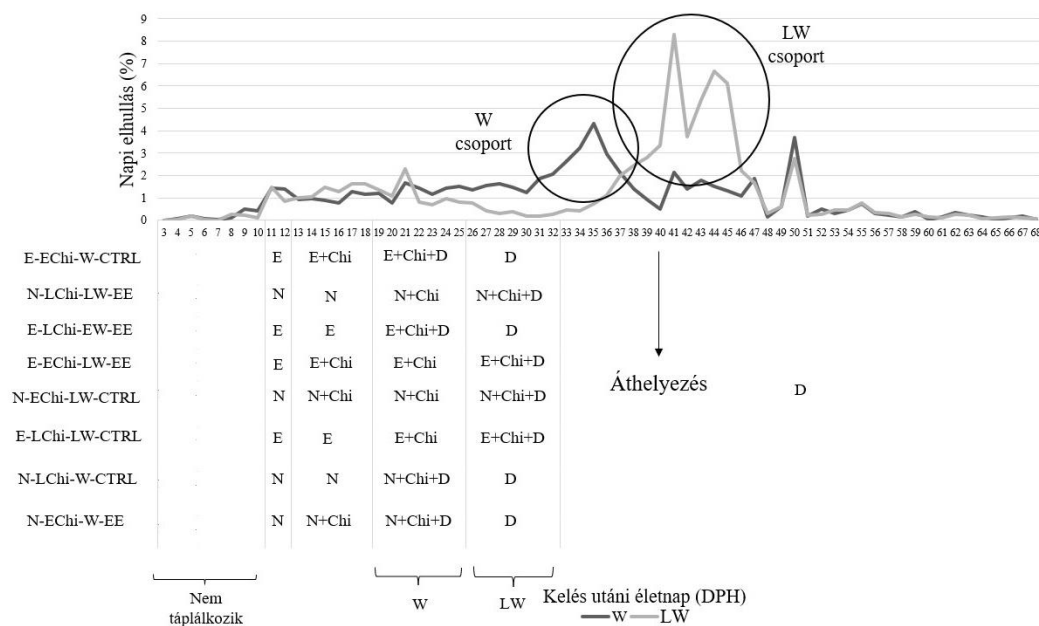
A környezetgazdagítás nélkül nevelt halak szignifikánsan hosszabb utat tettek meg a hagyományos labirintusban, mint az EE-csoportok egyedei (Kruskal-Wallis teszt, $p<0,05$). A TNVZ értékei között azonban nem mutatkozott különbség, noha ez szintén az aktivitás megfelelő mutatójának tekinthető. A rögzített 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 tápraszkoltatott csoportok. Az E (*Artemia* dúsítás) szignifikánsan magasabb testtömeget eredményezett a dúsított *Artemia*-t fogyasztó csoportok esetében a kavics-labirintus teszt eredményei alapján.

Mind a hagyományos, mind a kavics-labirintus teszt 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 (17. ábra).



17. 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, tápraszoktatás; LW, késői tápraszoktatás; 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.



18. ábra. A vágótok napi elhullása a tápraszoktatási idő és a takarmányozási rendszer függvényében a különböző kezelési csoportokban a 2. kísérlet során.

Rövidítések: E–EChi–W–CTRL, dúsitott *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszoktatás; hagyományos környezet; N–LChi–LW–EE, nem dúsitott *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszoktatás, kavicsokkal dúsitott környezet; E–LChi–W–EE, dúsitott *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszoktatás, kavicsokkal dúsitott környezet; E–EChi–LW–EE, dúsitott *Artemia*; korai *Chironomus* alkalmazása; késői tápraszoktatás; kavicsokkal dúsitott környezet; N–EChi–LW–CTRL, nem dúsitott *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszoktatás, hagyományos környezet; E–LChi–LW–CTRL, dúsitott *Artemia*, késői *Chironomus* alkalmazása, késői tápraszoktatás, hagyományos környezet; N–LChi–W–CTRL, nem dúsitott *Artemia*; késői *Chironomus* alkalmazása; korai tápraszoktatás; hagyományos környezet; N–EChi–W–EE, nem dúsitott *Artemia*, korai *Chironomus* alkalmazása, korai tápraszoktatás, kavicsokkal dúsitott környezet; E, dúsitott *Artemia*; N, nem dúsitott *Artemia*; EChi, *Chironomus* etetés az exogén táplálkozás kezdetétől; LChi, *Chironomus* etetés egy héttel később; W, tápraszoktatás ('korai'); LW, késői tápraszoktatás; D, száraz táp; EE, környezetgazdagítás; CTRL, hagyományos környezet.

5. Következtetések, javaslatok

5.1. Kecsege állománysűrűségének hatása a növekedésre és túlélésre

Eredményeim azt mutatták, hogy az alkalmazott különböző állománysűrűség nem gyakorolt kimutatható hatást a kecsgeelárvák növekedésére. Ismert, hogy az akvakultúra-rendszerek termelékenysége növelhető az egy térfogategységre jutó

termelésbe vont egyedek számának emelésével (MONTERO ET AL., 1999; AIDOS ET AL., 2018; BARROS ET AL., 2019). Ugyanakkor 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), amely különböző tokfajok esetében a növekedési sebesség csökkenő tendenciáját eredményezte a lárvák sűrűségének növekedésével (MOHSENI ET AL., 2000; MOHLER ET AL., 2000; OPREA & OPREA, 2009; NI ET AL., 2016; NADERI ET AL., 2017). A jelen vizsgálatban azonban ilyen kedvezőtlen hatás nem volt kimutatható, mivel a növekedési paraméterek nem mutattak szignifikáns eltérést ($p > 0,05$) a kísérleti csoportok között. A növekedésben mindössze az exogén táplálkozás kezdeti időszakában figyeltünk meg különbséget (6. ábra), később azonban a 20 lárva/liter állománysűrűség sem okozott elmaradást a növekedésben. Ebből következően ez a telepítési sűrűség megfelelőnek tekinthető a kecsge-lárvák kezdeti neveléséhez a kikeléstől 100 mg átlagos testtömeg eléréséig.

Az állománysűrűség a növekedés mellett 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), viszont 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 (11. 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).

Bár a nagyobb sűrűség kezdetben magasabb elhullással járt, a kísérlet végére a kezdetben gyengébb túlélést mutató csoportnál csökkenő elhullási tendencia volt megfigyelhető (7. ábra). Ez arra utal, hogy a kecsge-lárvák 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). Korábbi vizsgálatok szerint a csontoshalak életének korai szakaszában a szuboptimális környezethez való

tartós alkalmazkodás később javíthatja a teljesítményt (VALOTAIRE ET AL., 2020), ami a tokféléknél is ígéretes kutatási irányt jelenthet.

Jelen vizsgálatban a magasabb állománysűrűség nagyobb biomassza-növekedéssel párosult, ami összhangban van más fajok esetében végzett kutatási eredményekkel (GOMES ET AL., 2000; SZKUDLAREK & ZAKĘS, 2007), jóllehet ezeknél a növekedés csökkenése is megfigyelhető volt a sűrűség emelésével. A kecsgeénél ilyen visszaesés nem történt, így 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; RYBNIKÁR 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 fiatal kecsgek 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.

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

A tokfélék visszatelepítési programjában a keltetőtelepek kulcsfontosságú szerepet játszanak. A természetes vizekben a kontrollált körülmények között nevelt tokfajok sikerét azonban végső soron a halak alkalmazkodóképessége határozza meg. Az ingerszegény környezetet az egyik olyan tényezőnek tekintik, amely nagymértékben hozzájárul a gyenge fitnessjellemzők kialakulásához és a visszatelepítést követő magas elhullási arányhoz (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 környezet gazdagított körülmények között nevelt halak feltehetően nagyobb úszási aktivitást mutattak a táplálékkeresés közben az előnevelés és a kísérleti időszak során. Ezek az eredmények összhangban vannak más halakfajok egyedeivel végzett vizsgálatokkal, ahol a környezet gazdagítva nevelt csoport kisebb volt, mint a hagyományos, „keltetőházi vagy labor” körülmények között nevelt társaik (BRAITHWAITE & SALVANES, 2005; SPENCE ET AL., 2011). Ezzel ellentétben BOUCHER ÉS MUNKATÁRSAI (2018) megállapították, hogy a kavicsos aljzaton nevelt fehér toklárva (*A. transmontanus*) minden mintavételi időpontban szignifikánsan nagyobbak voltak, mint hagyományosan nevelt társaik.

Jelen vizsgálatban az elhullás szignifikánsan alacsonyabb volt ($p < 0,05$) az EE-csoportokban, ami arra utal, hogy a kavicsok a kísérlet alatt menedéket nyújthattak a halak számára az esetleges kannibalisztikus viselkedéssel szemben. Eredményeinkkel összhangban, a zebradánió és fehér toklárva esetében is magasabb túlélési arányt figyeltek meg a környezetgazdagított csoportokban (BOUCHER ET AL., 2014; LEE ET AL., 2018A). Ugyanakkor CARRERA-GARCÍA ÉS MUNKATÁRSAI (2016) az európai tokkal (*Acipenser sturio*) végzett kísérletük során azt tapasztalták, hogy a környezet gazdagított körülmények között nevelt halak jobban növekedtek, de a túlélésben nem volt különbség. Ez arra utal, hogy a tokfélék esetében a fizikai környezetgazdagításra adott válasz fajspecifikus lehet.

A hagyományos „keltetőházi” körülmények között nevelt kontrol egyedek több stresszel összefüggő úszási viselkedést mutattak a viselkedési tesztek során. Bár mindkét csoportban megfigyelhető volt a szorongásszerű úszási viselkedés, 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). A fizikai környezetgazdagítás fokozta a viselkedési plaszticitást/rugalmasságot (azon képesség, mely lehetővé teszi, hogy az egyén közvetlenül reagáljon a környezeti ingerekre és viselkedését azokhoz igazítsa (COPPENS ET AL., 2010). A vadonban a stresszes élményből való gyors felépülés előnyös lehet a táplálékért folytatott verseny és a halak egészségét érintő kockázatok csökkentése szempontjából (KRAUSE ET AL., 1998).

A természetbe történő kiengedés szintén stresszes folyamat lehet a halak számára. A lazacféléknél az akut stressz hatására a ragadozókkal szembeni védekező viselkedés egy ideig csökkenhet, így a környezetgazdagítás eredményeként megnövekedett menedékkereső viselkedés előnyös lehet a keltetőházi nevelést követő azonnali túlélés szempontjából (AARESTRUP ET AL., 2005; ROBERTS ET AL., 2011; NÄSLUND ET AL., 2013). Ezen felül a fizikai környezetgazdagítás pozitív hatása a fiziológiai stresszválaszban (kortizolszint) is tükröződhet, ami nagyobb ellenálló képességet biztosíthat a stresszel járó eseményekkel szemben. (NÄSLUND ET AL., 2013; ROSENGREN ET AL., 2017; COGLIATI ET AL., 2019; ZHANG ET AL., 2020), Bár úgy tűnik, hogy az EE-csoport esetében megfigyelhető volt a stresszel összefüggő viselkedés csökkenése, a fiziológiai változások mérése nem képezte a jelen vizsgálat tárgyát, így ennek vizsgálata a jövőben – különösen a kecsge és más tokfajok esetében – érdekes és indokolt lehet.

A hagyományos labirintus-teszt 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). A halaknál a bátorság/vakmerőség és a felfedező viselkedés általában viselkedési együttest alkot (WISENDEN ET AL., 2011). Az újszerű, egyszerű környezet (mint a hagyományos labirintus) felfedezésére való nagyobb hajlandóság másik magyarázata a fokozott menedékkereső viselkedéssel hozható összefüggésbe (BRAITHWAITE & SALVANES, 2005). Vizsgálatunkban a környezetgazdagítva nevelt kecsgek hozzászoktak a kavicsos aljzat által biztosított úgynevezett intersticiális-, vagy másnéven kavicsok közötti hézagter használatához (KYNARD ET AL., 2013). A kavicsos környezet hatékony kihasználását bizonyítja a kisebb testméret és a nevelési időszak végén tapasztalt jobb túlélési arány (GESSNER ET AL., 2009). Ez azzal az eredménnyel összhangban van a megfigyeléssel, hogy a kavicsos aljzatú labirintusban a csoportok között nem találtunk szignifikáns különbséget a térbeli mozgásban. Mindez arra utal, hogy az EE-halak a részben ismerős környezetben nem mutattak kiemelkedő felfedező viselkedést, hanem inkább a megnövekedett menedékkeresést részesítették előnyben, ami a viselkedésbeli rugalmasságnak tulajdonítható (SALVANES ET AL., 2007). 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). A fajoktól és a környezetgazdagítás típusától függően eltérő eredmények születtek a kiindulási zóna elhagyásának latenciaidejére vonatkozóan. Egyes esetekben (pl. tőkehal (*Gadus morhua*), *Tor putitora*, szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*)) a heterogén környezetből származó egyedek gyorsabban hagyták el a start zónát az új terület felfedezése céljából (BRAITHWAITE & SALVANES, 2005; BERGENDAHL ET AL., 2016; ULLAH ET AL., 2017), míg más fajok esetében (atlanti lazac (*Salmo salar*), gébek (*Bathygobius cocosensis*)) a környezetgazdagítás kevésbé kockázatos viselkedésre ösztönözte a halakat, így hosszabb látenciát eredményezett (ROBERTS ET AL., 2011; CARBIA & BROWN, 2019). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy környezetgazdagítás hatása fajspecifikus, illetve a megfelelő környezetgazdagítási stratégia biztosítása a nevelési időszak során előnyös lehet a kockázatvállaló magatartás kialakulása szempontjából. 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 a CTRL-egyedek statisztikailag igazolhatóan nagyobb átlagtömeggel rendelkeztek, mint a környezetgazdagítva nevelt halak, de ez a különbség az egy héttel később végzett kavics-labirintusteszt alatt 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 testméretű halak a keltetőházi szelekció hatására vakmerőbb személyiség jeggyel rendelkezhetnek, mindazonáltal a nagy testméretre irányuló szelekció eltolhatja az egyensúlyt a „nagy nyereség-nagy kockázat” fenotípusok javára (JOHNSON, 1993). 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 az északi-tengeri tőkehal kisebb testméretű, de heterogén környezetben nevelt fiatal egyedei bátrabbak voltak, mint a hagyományosan nevelt, nagyobb testméretű társaik. A jelen vizsgálatban a kezeléseken belül a testméret nagyobb hatással volt a viselkedésre, míg a két kezelés között inkább a környezetgazdagítás befolyásolta a viselkedést, nem pedig a kecsege testmérete.

Összefoglalva, eredményeink arra utalnak, hogy ha a kecsegeket 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 kecsegeivadékok általános jólétét.

5.3 Eltérő takarmányozási stratégia és a környezetgazdagítás kombinációjának hatása a vágótokivadék tenyésztéstechnikai paramétereire és viselkedésére

A környezetgazdagított körülmények között (kavicsaljzat) tartott vágótokivadékok (EE) rövidebb utat tettek meg a labirintusban, mint a hagyományosan nevelt csoport halai (CTRL). Azonban az EE és a CTRL kezelési csoportok között nem volt különbség a zónaváltások (TNVZ) tekintetében a 10 perces tesztidőszak alatt, ami szintén megbízhatóan jelzi az aktivitást (ALNES ET AL., 2021), mely mutatót a kecsegevel végzett kísérletem (lásd 3.3.3.2. fejezet) során is használtam. Ezek az eredmények a környezetgazdagított körülmények között nevelt halak alacsonyabb úszási sebességével magyarázhatók, amely nagyobb felfedező viselkedésre utal (PASQUET ET AL., 2016). Ezt a feltételezést alátámasztja a környezet gazdagítva nevelt szivárványos pisztráng esetében megfigyelt alacsonyabb maximális úszási sebesség, amely az alacsonyabb félelemválasznak vagy a nagyobb biztonságérzetnek tulajdonítható (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). Másrészt az EE-halak által megtett rövidebb távolság összefügghet azzal, hogy a zónaváltásokhoz szükséges útvonal megtétele ténylegesen rövidebb pályán valósult meg. A környezeti dúsítással összefüggő változások az agyban hatással voltak a mozgási aktivitásra a szivárványos pisztráng ivadékok esetében (KIHSLINGER & NEVITT, 2006). 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 változatosabb, gazdagabb nevelési környezet hatása a vágótok jólétére már a környezetgazdagítás alkalmazásának szakaszában is megfigyelhető volt. Ez a nevelési mutatókban – például a növekedési ütemben vagy az elhullási arányban – is tükröződött. A környezetgazdagítás a halak 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. Ez arra enged következtetni, hogy a szikzacskós vágótoklárvaik valóban használták a kavicsdúsítás nyújtotta hézagtereket. Az EE-kombinációkból származó méretnövekedés a nagyobb szikanyag-felszívódási hatékonysággal magyarázható (BOUCHER ET AL., 2014). A növekedésben mutatkozó előnyök általában a mozgásszervi aktivitás csökkenésének tulajdoníthatók, mivel míg a csupasz környezetből származó halak inkább a mozgásra, addig a komplex környezetben nevelt egyedek a kavicsok közötti hézagterekben töltött idő során felhasznált energiát a növekedésre fordították (BAMS, 1967; PETERSON & MARTIN-ROBICHAUD, 1995). Ugyanakkor, a halak gyenge úszóképessége miatt ebben a fejlődési fázisban a lárvaik 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 & JOHNSON, 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. Kavics aljzat hiányában az EE-kombinációkban kisebb testmérettel rendelkező halak voltak megfigyelhetők. A jelen kísérletben testtömegbeli lemaradás nem volt

látható a lárvanevelési fázis során az EE-kombinációkban, annak ellenére, hogy a kavicsos aljzat miatt a táplálék nehezebben volt hozzáférhető a halak számára. Ennek az eltérésnek az egyik lehetséges magyarázata, hogy a lárvák neveléséhez használt nevelőmedencék kétszer hosszabbak voltak a jelenlegi kísérletben, mint a kecsgeével végzett vizsgálatban használt akváriumok, így megfelelő úszófelületet biztosítottak a halak számára. Az ivadéknevelésben 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, és a kelés utáni 80. életnapot követően az EE-halak mérete ugyan statisztikailag nem bizonyult különbözőnek ($p > 0,05$), de tendenciájában meghaladta a hagyományos környezetben nevelt csoportokét.

A halak krónikus stresszre adott élettani válaszai alapvetően adaptív (alkalmazkodó) jellegűek, segítve a halakat a perturbáció (zavarás, megzavaró hatás) leküzdésében. (PICKERING & STEWART, 1984). A magas telepítési sűrűség okozta krónikus stresszre adott adaptív válasz volt megfigyelhető a kecsge (lásd 5.1. fejezet) és a ponty (*Cyprinus carpio*) (RUANE ET AL., 2002) esetében is. Eredményeinkkel ellentétben a szikzacskós lárva stádiumban kavicsos szubsztrátumon nevelt, majd csupasz környezetbe helyezett fehér toklárvák az új, környezetgazdagítástól mentes környezetben jobb növekedést mutattak (BAKER ET AL., 2014; BOUCHER ET AL., 2014). A környezetgazdagítás hatása az életszakasztól és alkalmazásának időtartamától függően változhat (AMICHAUD ET AL., 2024). A EE kognitív (gondolkodással és tanulással kapcsolatos) előnyei azonban nem garantáltak, és nem minden esetben tartósak (NÄSLUND ET AL., 2012). Például az atlanti lazacnál beszámoltak a környezetgazdagítás okozta megnövekedett agyméret eltűnéséről hagyományos medencékbe történő áthelyezés után (NÄSLUND ET AL., 2012). A megfelelő környezetgazdagítás fontossága megkérdőjelezhetetlen a fogságban tartott állatok esetében, különösen a természetvédelmi tevékenységek során. 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 annak érdekében, hogy megvizsgálják a környezetgazdagítás hosszabb időn keresztüli alkalmazásának hatását a vágótok-ivadékok növekedésére és viselkedésére, illetve értékeljék a halak fiziológiai stresszre adott válaszát a különböző környezeti feltételek mellett.

A fagyasztott *Artemia* használata a vágótok lárvák és ivadékok testtömegének és testhosszának jelentős csökkenéséhez vezetett a nevelés során, valamint negatívan befolyásolta a túlélést. Ez a megállapítás összhangban van más tokfajokon végzett korábbi vizsgálatokkal (MOHLER ET AL., 2000; VALENTINE ET AL., 2017; PIOTROWSKA ET AL., 2021). A perzsa tokhal (*A. persicus*) lárváinak fokozott növekedését EFATPANAH ET AL. (2024) annak tulajdonította, hogy a lárvák előnyben részesítették az aktívan mozgó zsákmányt a kevésbé mozgékony fagyasztott táplálékkal szemben. Feltételezhető, hogy a fagyasztott formában alkalmazott *Artemia* - akár dúsított, akár dúsítatlan - használata nem elégíti ki a lárvák táplálkozási igényeit, mivel a felolvasztás során az esszenciális zsírsavak és fehérjék nagy része elvész (GRABNER ET AL., 1981; SHARMA & CHAKRABARTI, 2009). Továbbá a fagyasztás megváltoztathatja a táplálék ízét és szagát, ami az egyes aminosavak csökkent arányának tulajdonítható, így közvetlenül befolyásolhatja a táplálék elfogadásának mértékét (GRABNER ET AL., 1981; KASUMYAN & TAUFİK, 1994).

Másrészt az esszenciális zsírsavakkal és vitaminokkal dúsított élő *Artemia* nem mutatott mérhető hatást a tenyésztési paraméterekre a kísérleti időszak alatt. A dúsított *Artemia*-val etetett halak azonban nagyobb testtömeget értek el a kavicslabirintusteszt során (79–84 DPH, $p < 0,005$). Hasonló eredmények figyelhetők meg a tavi toknál is, ahol a táplálék DHA-val való dúsításának pozitív hatását a testtömegre négy hónappal később mutatták ki (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 és a növekedésre (KABARAN & BESLER, 2015). A DHA fontossága az idegrendszer fejlődésében közismert (SARGENT ET AL., 1999A, 1999B), így a bélrendszer idegrendszerének fejlődésén keresztül közvetve befolyásolhatja az emésztési funkciókat (HEUCKEROTH & SCHÄFER, 2016). Eredményeinkkel ellentétben KAMASZEWSKI ÉS MUNKATÁRSAI (2014A) rövid távon is kimutatták a dúsított

Artemia kedvező hatását a vágótok lárvák növekedésére, hasonlóan a perzsa tokhalhoz (*A. persicus*) (HAFEZIEH ET AL., 2009) és a vizához (JALALI ET AL., 2008). Ezért az *Artemia* dúsítása a halak növekedésére gyakorolt hosszú távú pozitív hatása miatt ajánlott, míg fagyasztott formában történő alkalmazása mellőzendő.

Az első etetéstől kezdve fagyasztott *Chironomus*-szal is takarmányozott halak alacsonyabb látenciaidő után hagyták el a start zónát, több zónát látogattak meg a hagyományos labirintusban, és gyakrabban tértek vissza a start zónába. A hagyományos labirintusteszt során hajlamosak voltak kevesebb táplálékot fogyasztani, mint azok, amelyeket csak egy héttel később kezdtek el *Chironomus*-t fogyasztani. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az 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), és az étvágycsökkentő hatás mellett a stressz a táplálkozási viselkedés számos aspektusát is megzavarhatja, például a táplálék keresését, megtalálását és elfogását (BEITINGER, 1990). Mindazonáltal kísérletünkben az EChi-halak a 10 perces labirintus-teszt során valószínűleg inkább a felfedezésre, mint a táplálkozásra fordították energiájukat. Általánosságban elmondható, hogy a felfedezésre hajlamosabb halak nagyobb valószínűséggel használják ki környezetüket táplálékszerzés céljából, ugyanakkor nem zárható ki az sem, hogy a csökkent takarmányfelvétel egy enyhe stresszre adott adaptív, vagy akár egy pozitív élményre adott válasz (MARTINS ET AL., 2012). 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 viselkedésformát több szerző is önjutalmazónak tekinti, mivel elősegíti a környezet kiszámíthatóságának megértését és az afölötti kontroll érzésének kialakulását, ezért szárazföldi haszonállatok pozitív jólétének értékelésére is használható (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). Az azonban továbbra sem egyértelmű, hogy a *Chironomus* lárvák korai használata az exogén táplálkozási fázis kezdetétől, hogyan befolyásolta a halak későbbi

viselkedését. 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* az édesvízi hallárvák számára az egyik legalkalmasabb takarmánynak számít a magas energiatartalom, valamint az esszenciális zsír- és aminosavak jelenléte miatt (BOGUT ET AL., 2007, KAMLER ET AL., 2008). A *Chironomus* magas esszenciális táplálóanyagtartalma az *Artemia*-ban található tápanyagokkal kombinálva fokozhatta a lárvák idegrendszerének fejlődését, és hosszú távú hatást gyakorolt a halak viselkedésére (SARGENT ET AL., 1999A). Hasonlóképpen, más halfajnál is megfigyelték a korai életszakaszban esszenciális zsírsavakban gazdag táp alkalmazásának viselkedésre gyakorolt hosszú távú hatását (süllő – *Sander lucioperca*, LUND ET AL., 2014). A jelen tanulmányban a fagyasztott *Chironomus* exogén táplálkozás kezdetétől történő etetésének kedvező hatásai a BW-re és a TL-re mindkét kísérletben jelentkeztek, illetve a 2. kísérlet során hosszú távon is megmutatkoztak. Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a *Chironomus* exogén táplálkozás kezdetétől történő fogyasztása növekedési előnyökkel jár a vágótok számára. Ez összhangban van a sápadt tokhalivadékkal (*Scaphirhynchus albus*) (MEYER ET AL., 2016) végzett kísérlet eredményeivel, azonban a perzsa toklárva esetében nem volt elmondható (EFATPANAH ET AL., 2024). A táplálkozási szokások nagyfokú plaszticitása jellemző a tokfélékre a korai életszakaszokban (ZAIKINA, 1975; RUBAN, 2020). A zoobentosz, a zooplanktonnal összehasonlítva, magas energiaértékének köszönhetően képes kielégíteni a toklárva magas kalóriaszükségletét, illetve könnyebb hozzáférhetősége előnyösebbé teszi a táplálkozás során (RUBAN, 2020). Továbbá WILLIOT ES MUNKATÁRSAI (2005) megállapították, hogy az európai tokhal ivadékaik nagyon hasonló túlélési arányt és végső testtömeget értek el, függetlenül attól, hogy élő vagy fagyasztott *Chironomidákkal* etették őket. A vágótok lárvanevelése 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 mesterséges takarmány kombinálásának gyakorlatát, az úgynevezett vegyes takarmányozási módszert, jó lehetőségnek tartják a hallárvák sikeres táprászkodtatásának elősegítésére (HALPATI ET AL., 2024; MARINHO ET AL., 2024). Az első kísérlet során a vegyesen

takarmányozott csoportok testmérete végig szignifikánsan kisebb volt a hagyományosan táprászoktatott csoportokénál, továbbá a táprászoktatás kezdete előtt magasabb elhullást mutatkozott ugyanezen csoport esetében. Ugyanakkor sem a táprászoktatás alatt, sem azt követően nem tapasztaltunk jelentős különbséget az elhullási arányokban. Az inert (nem élő, kémiaiilag viszonylag változatlan) mikrotáplálék élő eseléssel való kombinált adagolásának előnye, hogy az élő eselésben található esszenciális mikrotápanyagok, szabadon hozzáférhető aminosavak és enzimek, valamint az ezek által kiváltott emésztőrendszeri mozgás elősegíthetik a kereskedelmi táp könnyebb emésztését (BALLAGH ET AL., 2010; LJUBOBRATOVIĆ ET AL., 2015). Vizsgálatunkban a vegyesen takarmányozott csoportokban tapasztalt alacsonyabb növekedés az inert táplálék élő vagy fagyasztott természetes táplálékhoz képesti gyengébb hasznosulásával magyarázható (PIOTROWSKA ET AL., 2013; AGH ET AL., 2013). Szélsőséges esetekben előfordulhat, hogy a halak a tápanyaghiányt nem képesek kiheverni, még akkor sem, ha a táplálék bőségesen rendelkezésre áll. Ilyenkor elérhetik azt a kritikus pontot („point of no return”), amikor már nem képesek táplálkozni, és felhagynak az evéssel (RAZAK ET AL., 2022). A ponto-kaszpi tokok, mint például a vágótok és a söregtok lárvái esetében ismert, hogy nehezen fogadják el az inert táplálékot, ezért lárwanevelésük során a természetes táplálék használata ajánlott (VEDRASCO ET AL., 2002). MEMIŞ ÉS MUNKATÁRSAI (2009) kutatási eredményei alátámasztják ezt a gyakorlatot: a vágótok lárwanevelése során a kereskedelmi táp bevezetése előtt természetes táplálékkal etették a halakat, így kedvező eredményeket érve el. Mindemellett azonban, több tanulmány is beszámolt a vegyes takarmányozás sikeres alkalmazásáról más tokfajok esetében, akár közvetlenül az exogén táplálkozás megkezdése után (AGH ET AL., 2012; 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 a táprászoktatást egy-két hét kizárólagos természetes táplálék etetését követően kezdtük meg. A korán táprászoktatott csoport (W) testmérete kisebb volt, és a táprászoktatás befejezését követő két hétben (25 DPH) magasabb elhullási, valamint alacsonyabb túlélési arányt mutatott ($41,8 \pm 2,9 \%$ vs. $58,2 \pm 7,9 \%$), mint a később táprászoktatott csoport a lárwanevelési időszak végén (40 DPH). Ezek az eredmények alátámasztják azt a megállapítást, hogy a vágótok lárvák nehezen szoknak hozzá a formázott takarmányhoz (VEDRASCO ET

AL., 2002), és jelzik, hogy a természetes táplálék fogyasztása előnyös a tokfélék korai életszakaszában (VALENTINE ET AL., 2017; LEE ET AL., 2022). Mindazonáltal a korán táprászkoltatott halak elhullása jelentősen alacsonyabb volt az ivadéknevelő rendszerbe történő szállítást követően, mint az egy héttel később táprászkoltatott csoporté. Ennek következtében a 66. kelés utáni életnapon a túlélés hasonló volt mindkét csoportban ($23,43 \pm 1,6$ % a korán táprászkoltatott - W-csoportban; és $27,1 \pm 5,3$ % a későn táprászkoltatott - LW-csoportban). Az elhullási csúcsok vizsgálata (18. ábra) rámutatott arra, hogy mindkét csoportban a táprászkoltatás utáni elhullási csúcs nagyjából három héttel a 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 labirintus-teszt 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 táprászkoltatási folyamat befolyásolja a tóban nevelt süllők viselkedését: a félénkebb, kevésbé felfedező egyedek könnyebben hozzászoktak a száraz pelletált takarmányhoz, elkerülve a bátrabb, dominánsabb egyedekkel való versengést az élő zsákmányért, így eltérő táplálkozási stratégiájuknak köszönhetően nagyobb testméretet értek el (MOLNÁR ET AL., 2018). Jelen vizsgálatunkban azonban valószínűleg az ellenkező jelenség történt: a korán táprászkoltatott halak stressztűrőbbek voltak, kevésbé mutattak szorongásra utaló jeleket a labirintustesztben, és versenyképesebbnek bizonyultak a táprászkoltatás során. Az eltérés oka lehet fajspecifikus, vagy összefügghet a különböző élettörténeti háttérrel, tekintettel arra, hogy vizsgálatunkban a lárvákat folyamatosan intenzív RAS-körülmények között tartottuk.

A táprászkoltatás időzítését illetően nem tapasztaltunk jelentős viselkedésbeli eltéréseket, ugyanakkor a tenyésztéstechnikai szempontból legjobb négy kombinációból három a később táprászkoltatott csoportokhoz tartozott. Ezért a táprászkoltatás időpontjának meghatározásakor célszerű kompromisszumot kötni a kívánt tenyésztési teljesítmény, a lárvanevelő kapacitás és a természetes táplálék fenntartásával kapcsolatos munkaerőköltségek között.

Összegezve a *Chironomus* exogén táplálkozás kezdetétől való használata erősen ajánlott. Eredményeink 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 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 lárvannevelés során, valamint a legmagasabb színvonalú takarmányozási protokoll követése. Ez magában foglalja a *Chironomus*-lárvák és a dúsított *Artemia* korai, két-három hétig tartó alkalmazását a táprászkoltatás befejezése előtt. A lárvannevelő rendszerből az ivadéknevelő egységbe történő szállítást pedig célszerű a táprászkoltatás megkezdését követő harmadik hétre időzíteni.

A tenyésztéstechnikai paraméterek összesített értékelése alapján a vizsgált kombinációk 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 táprászkoltást.

6. 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* exogén táplálkozás kezdetétől legalább két héten keresztül történő használata hosszútávú növekedési és viselkedési előnyöket biztosít a vágótok számára.

7. Az eredmények gyakorlati hasznosíthatósága

A bemutatott vizsgálatok eredményei egyértelműen rávilágítanak arra, hogy a kecsge és az vágótok intenzív nevelése során az induló betelepítési sűrűség, a környezeti gazdagítás, valamint a takarmányozási stratégia kulcsfontosságú tényezők, melyek egyaránt befolyásolják a halak későbbi növekedését, túlélését, viselkedését és jólétét.

A kecsgeelárvák esetében a magasabb betelepítési sűrűség (20 db lárva/liter) a kísérletek alapján az első időszakban is megfelelően alkalmazható, mivel a növekedésben hosszú távon nem volt jelentős eltérés az alacsonyabb telepítési sűrűségekhez képest, és az állomány elhullása a későbbi periódusokban kiegyenlítődött. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy intenzív rendszerekben a nagyobb telepítési sűrűség hatékonyabb helykihasználást és magasabb biomassza-termelést biztosíthat, anélkül, hogy az a halak végső kondícióját rontaná. Ugyanakkor a bevezető etetési fázisban a túl magas sűrűség fokozott kezdeti elhullással járhat, így ilyenkor fokozott figyelem és optimális etetési menedzsment szükséges.

A környezeti gazdagítás – például kavicsos aljzat biztosítása – mind a túlélés, mind a viselkedés szempontjából kedvező hatást gyakorolt a kecsge esetében. A gazdagított környezetben nevelt halak jobb stressztűrőképességgel rendelkeznek, aktívabb úgynevezett „felfedező viselkedést” és „nagyobb bátorságot” mutattak, ami a természetbe történő visszatelepítés során előnyt jelenthet az alkalmazkodásban. A telepítési programok szempontjából ez arra utal, hogy kontrollált környezetben nevelt ivadékokat célszerű strukturált, inger-gazdag környezetben felnevelni, így javítva a túlélési esélyeiket a természetben.

A vágótok takarmányozási stratégiájára vonatkozó eredmények rámutatnak, hogy a korai életszakaszban a magas tápértékű, élő és frissen feldolgozott táplálék – különösen a legalább két hétig adagolt *Chironomus* és a dúsított *Artemia* – hosszú távon kedvező hatással van a növekedésre, a túlélésre és a viselkedési jellemzőkre. Ugyanakkor a fagyasztott *Artemia* és a túl korai koetetési (co-feeding) stratégia kerülendő. A megfelelő tápanyag-ellátás és környezeti gazdagítás együttes alkalmazása javítja a halak jólétét, és mind a kereskedelmi termelésben, mind a

visszatelepítési célú telepítőalapanyag előállításban jelentős minőségi előnyt biztosíthat.

Összességében a három kísérlet gyakorlati üzenete az, hogy a tokfélék intenzív nevelésében a (i) magas telepítési sűrűség, a (ii) strukturált nevelési környezet és a (iii) korai, minőségi takarmányozás együttesen optimalizálják a termelési mutatókat, növelik a túlélést és elősegítik a természetes viselkedési formák kialakulását. Ezek az elvek nemcsak az ipari haltenyésztésben, hanem a fajmegőrzési programokban is közvetlenül alkalmazhatók, hozzájárulva a sikeres visszatelepítésekhez és a populációk fenntartható helyreállításához.

8. Összefoglalás

Az akvakultúra a fenntartható állati fehérjetermelés egyik kulcs ágazata, amely nemcsak az élelmiszertermelésben, hanem a természetes halpopulációkra nehezedő halászati nyomás visszaszorításában is létfontosságú szerepet játszik. Ezen veszélyeztetett halcsoportok közé sorolhatóak a fokozott halászati és környezeti nyomásnak kitett tokfélék – köztük a kecsge és a vágótok –, melyek intenzív termelése napjainkban nemcsak gazdasági, hanem természetvédelmi célokat is szolgál. Ugyanakkor a tokfélék korai életszakasza során mutatott érzékenyséjük miatt a takarmányozási és a nevelési környezeti feltételek optimalizálása kiemelt jelentőségű. Munkám során az intenzív termelésbe vett kecsge és vágótok nevelési körülményeinek, valamint az eltérő takarmányozási stratégiák hatását vizsgáltam a tenyésztéstechnikai- és viselkedési mutatókra.

8.1. A telepítési sűrűség hatása a kecsge növekedésére és túlélésére

A telepítési sűrűség kecsge tenyésztési mutatóira gyakorolt hatásának vizsgálatához három eltérő állománysűrűségben (Alacsony: 5 lárva/l; Közepes: 10 lárva/l; Magas: 20 lárva/l) telepítettük a halakat. A 30 napos kísérlet során hetente végeztem egyedi mintázásokat ($n=31$), mely során megvizsgáltam a testtömeg- és testhossz-növekedést, a napi- és táplálkozási fázisokra vetített összesített elhullási arányt, meghatároztam a medencék aktuális biomasszáját és biomasszagyapodását a kísérlet végére.

Eredményeim alapján elmondható, hogy a 30 napos vizsgálat végén mindegyik magasabb telepítésű kezelés szignifikánsan magasabb biomasszahozamot eredményezett, míg a többi paraméter esetében nem mutattam ki szignifikáns különbséget. A testtömeg-növekedés tekintetében kijelenthető, hogy kizárólag a második mintavétel (8. kelés utáni életnap) alkalmával mutatkozott statisztikailag igazolható különbség, mely során legalacsonyabb átlagtömeggel a közepes, 10 lárva/liter telepítési sűrűségű csoport rendelkezett, ugyanakkor a kísérlet további részében nem találtam különbséget a csoportok között. Elhullási csúcsokat az exogén takarmányozásra való áttérés, illetve a tápraszkotatás utáni időszakban figyeltem meg, azonban az eltérő táplálkozási fázisokra vetített összesített elhullási arányokban kizárólag az exogén takarmányozás kezdetén találtam szignifikánsan magasabb elhullási arányt a magas, 20 lárva/liter telepítési sűrűségű csoport esetében.

Az adott nevelési körülmények között az állománysűrűség nem volt hatással sem a kecsge növekedésére, sem a végső megmaradásra. A táplálkozási fázisokra vetített kumulatív elhullás magasabb elhullási arányt eredményezett az exogén táplálkozás kezdetén a magas telepítési sűrűségű csoportokban, mely a csökkent táplálkozási térrel és a táplálékért zajló megnövekedett kompetícióval magyarázható. A korai lárwanevelés során a magas állománysűrűségű csoport megnövekedett elhullással járó következménye a kísérlet további szakaszában nem volt látható, amely a kecsge lárva intenzívebb nevelési körülményekhez való alkalmazkodóképességét feltételezi. A nagyobb állománysűrűség nagyobb biomassa-gyapodást vont maga után, mely a termelés hatékonyságának szempontjából indokolttá teszi a magasabb állománysűrűség alkalmazását a kecsge korai életszakaszában egészen 100 mg-os méretig.

A kecsgelárva magasabb telepítési sűrűségben (20 lárva/liter) történő nevelése nem járt növekedésbeli és túlélési hátrányokkal, így alkalmazása előnyös lehet a nevelési egységek hatékonyságának optimalizálása érdekében.

8.2. A környezetgazdagítás hatása a kecsge növekedésére, túlélésére és viselkedésére

A környezetgazdagítás hatását a kecsge tenyésztési és etológiai mutatóira két eltérő nevelési környezet felállításával (CTRL, hagyományos, csupasz akvárium; EE, kavicsal környezetgazdagított, heterogén aljzatú akvárium) vizsgáltam. Az előnevelés és a kísérleti periódus az eltérő nevelési környezetben két hónapig tartott, melynek végén mindkét kezelésből 13 – 13 véletlenszerűen kiválasztott kecsge ivadék viselkedését vizsgáltam csupasz (hagyományos labirintus-teszt) és környezetgazdagított (kavics-labirintus teszt) labirintusban. A kísérleti nevelés során heti rendszerességgel végeztem egyedi méréseket (n=31), mely során vizsgáltam a testtömeg- és testhossz-növekedést, meghatároztam a medencék aktuális biomasszáját. A kísérlet végén meghatároztam a környezetgazdagítás hatását a termelési mutatókra és a túlélésre. A labirintustesztek során etológiai mutatókon keresztül elemeztem, hogy a különböző nevelési környezetek miként befolyásolják az állatok stresszre adott válaszait és felfedező viselkedését.

Eredményeim azt mutatják, hogy a környezetgazdagítás nevelőmedencében történő alkalmazása csökkenti a stresszt és hozzájárul a kecsge fitnessjellemzőinek kialakulásához. A labirintusteszt eredményei alapján, kevesebb stresszel összefüggő úszási viselkedést és fokozódó felfedező

viselkedést tapasztaltam a heterogén környezetben nevelt egyedeknél. A heterogén környezetben nevelt halak kisebb testmérettel, azonban hasonló kondíciós értékekkel rendelkeztek, mint a hagyományos körülmények között nevelt csoport, amely egyféle kompromisszumot feltételez a gyors növekedés és a kognitív képességek fejlődése között. Ugyanakkor, a környezetgazdagítás hozzájárult az alacsonyabb elhullás és magasabb túlélés eléréséhez a nevelési időszak alatt, amely a heterogén környezet által biztosított vizuális figyelemterelésnek és a struktúrák által biztosított búvóhelynek köszönhető.

A megfelelő környezeti gazdagítás alkalmazása hozzájárul a kecsege általános jólétének növeléséhez az akvakultúras nevelés során, valamint a fitnessjellemzők kedvező irányú fejlődésének támogatásán keresztül előnyt jelenthet az alkalmazkodóképesség és a túlélési esélyek növelésének szempontjából, mely tulajdonságok kiemelt jelentőségűek a visszatelepítési programok esetén.

8.3. Az eltérő takarmányozási stratégia és környezetgazdagítás hatása a vágótok növekedésére, túlélésére és viselkedésére

Az eltérő takarmányozási stratégia és környezetgazdagítás hatását a vágótok tenyésztési és etológiai mutatóira két kísérleti évben vizsgáltam. Mindkét évben nyolc eltérő beállítási kombinációt teszteltem, továbbá a második évben labirintusteszteket hajtottam végre a takarmányozás és nevelési körülmények viselkedésre gyakorolt hatásának meghatározásához. Az első évben a vágótok ivadékokat 36 napos korukig neveltem akvakultúras lárwanevelő rendszerben. Tíz naponta ellenőrző egyedi méréseket hajtottam végre (n=31), mely során meghatároztam a testtömeg- és testhossz-növekedést, illetve a kísérleti egységek aktuális biomasszáját. A második évben a toklárvákat és ivadékokat 40 napig eltérő környezeti körülmények között lárwanevelő-, további egy hónapig hagyományos ivadéknevelő akvakultúras rendszerben neveltem. Ezúttal heti rendszerességgel végeztem az ellenőrző méréseket, mely során meghatároztam a testtömeg- és testhossz-növekedést, illetve a kísérleti egységek aktuális biomasszáját. Mindkét kísérleti évben öt tenyésztési mutató (végső testtömeg, végső testhossz, a végső testtömeg- és testhossz-variációs együtthatója, túlélési arány) alapján rangsoroltam a kísérleti kombinációkat a legoptimálisabb nevelési stratégia meghatározása érdekében. A második kísérleti évben a vágótokivadékok viselkedését csupasz (hagyományos labirintusteszt), illetve környezetgazdagított (kavics-labirintusteszt) labirintusban vizsgáltam. 19 -19 egyedet teszteltem

egyedileg minden kísérleti csoportból, mely tesztekéről videofelvételt készítettem az etológiai mutatók elemzése céljából.

A legoptimálisabb takarmányozási kombinációnak mindkét kísérleti évben azok a csoportok bizonyultak, melyek az exogén táplálkozástól kezdődően kizárólag *Chironomus*-t és dúsítatlan *Artemia*-t fogyasztottak legalább két héten keresztül. A kizárólagos természetes takarmány korai alkalmazása vágótoklárva esetében jó hatást gyakorolt a tenyésztési mutatókra és fokozta a felfedező magatartást, ugyanakkor a fagyasztott *Artemia* és vegyes takarmányozási módszer a testméret-növekedés visszamaradását és az elhullás növekedését eredményezte. Az *Artemia* dúsítás hatását rövidtávon nem tudtam kimutatni, azonban alkalmazása hosszútávú növekedési előnyökkel járt. A környezetgazdagítás hozzájárult a vágótokivadék félelemválaszának csökkentéséhez, lárwanevelő egységekben történő alkalmazása pedig csökkentette az elhullást a lárwanevelési fázis során, míg a testméret-növekedésre nem volt hatással. Hiánya az ivadéknevelési fázis során a testméret-növekedés visszamaradását eredményezte, mely a halak krónikus stresszre adott fiziológiai válaszának tulajdonítható.

A vágótok korai életszakaszában alkalmazott magas tápanyag-tartalmú takarmány és környezetgazdagítás jelentős növekedési és fejlődési előnyöket biztosít, hozzájárul a környezet hatékonyabb kihasználásához és a kognitív funkciók javításához, illetve támogatja az általános jólétet.

9. Summary

Aquaculture is a pivotal sector in the sustainable production of animal protein, playing a crucial role in both food production and the mitigation of fishing pressure on natural fish populations. These endangered fish groups include sturgeon species exposed to increased fishing and environmental pressure, such as sterlet and Russian sturgeon, whose intensive production today serves not only economic but also conservation purposes. Due to their high sensitivity during early stages of life, the optimisation of feeding and rearing conditions becomes of paramount importance. In this study, the effects of rearing conditions of intensively farmed sterlet and Russian sturgeon, as well as different feeding strategies, on breeding technology and behavioural indicators, were examined.

9.1. The effect of stocking density on the growth and survival of sterlet

In order to examine the impact of different stocking densities on the growth indicators of sterlet, the fish were stocked at three stocking densities (Low: 5 larvae/L; Medium: 10 larvae/L, High: 20 larvae/L). During the 30-day experimental period, weekly sampling was performed (n=31), during which body weight and length were examined, the daily mortality was noted and the total mortality rate was projected onto feeding phases. The current biomass and biomass growth of the treatment groups at the end of the trial were determined.

It is evident from the results obtained that, at the conclusion of the 30-day study, all treatments that employed higher stocking density resulted in significantly higher biomass yield. No significant differences were observed in the other parameters. With regard to body weight gain, a statistically significant difference was only observed at the time of the second sampling (eight days after hatching). The group with the lowest average weight was found to have a stocking density of 10 larvae/L, however no difference was found between the groups in the rest of the experiment. Peaks in mortality were observed during the transition to exogenous feeding and after the weaning period. However, when the mortality rates projected onto the different feeding phases were considered in aggregate, a significantly higher mortality rate was found only at the beginning of the exogenous feeding phase in the group with a high stocking density of 20 larvae/L.

In the context of the established rearing conditions, the stocking density exhibited no significant impact on the growth or survival rate of the groups. The

cumulative mortality rates across different feeding phases revealed that groups with high stocking densities demonstrated elevated mortality rates at the onset of exogenous feeding. This phenomenon can be attributed to decreased feeding space and heightened competition for resources. The consequences of increased mortality in the high stocking density group during the initial larval rearing phase were not evident in the subsequent stages of the experiment, indicating that the sterlet larvae possess the capacity to adapt to more intensive rearing conditions. It was demonstrated that higher stocking density resulted in greater biomass gain, thereby validating the utilisation of higher stocking density in the early life stages of sterlet up to a size of 100 mg in terms of production efficiency.

Rearing sterlet larvae at higher stocking densities (20 larvae/L) had no detrimental effect on growth or survival rate, suggesting that its use may be beneficial for optimising the efficiency of rearing unit.

9.2. The effect of environmental enrichment on the growth and survival of sterlet

The effect of environmental enrichment on the zootechnical and behavioural indicators of sterlet was examined by setting up two different rearing conditions (CTRL, traditional, bare aquarium; EE, aquarium enriched with gravel). The pre-rearing and experimental period lasted two months in the different rearing environments, at the end of the trial the behaviour of 13 - 13 randomly selected sterlet fry from each treatment was examined in a bare (bare maze test) and enriched (gravel maze test) maze. During the experimental rearing phase, weekly individual measurements were performed (n=31). These measurements included examination of body weight and body length growth, in addition to determining the current biomass of the tanks. The effect of environmental enrichment on production parameters and survival was determined at the end of the trial. In the course of the maze tests, the effect of distinct rearing environments on stress coping and exploratory behaviour was examined through the use of ecological indicators.

The findings of this study demonstrate that the implementation of environmental enrichment in rearing tanks has the capacity to reduce stress levels and promote the development of fitness related traits in sturgeon. The result of the maze test revealed a reduced stress-related swimming behaviour and an enhanced exploratory behaviour in fish reared in a heterogenous environment. Fish reared in a heterogenous environment exhibited smaller body size but similar fitness values

to those reared under traditional conditions, suggesting a trade-off between rapid growth and cognitive development. Moreover, environmental enrichment contributed to reduced mortality and enhanced survival during the test period, owing to the visual distraction and hiding places provided by the physical structures.

The provision of suitable environmental enrichment is known to enhance the overall welfare of sterlet during aquaculture rearing. Furthermore, the promotion of the development of fitness related traits may prove beneficial in terms of increasing adaptability and survival chances, which are of particular importance in restocking programmes.

9.3. The effect of different feeding strategies on the growth, survival and behaviour of Russian sturgeon

The present study was conducted with a view to examining the effect of different feeding strategies and environmental enrichment in the production and ethological indicators of Russian sturgeon over a period of two experimental years. In both years, eight different combinations of settings were tested, and, in the second year, maze tests were conducted to determine the effect of feeding and rearing conditions on behaviour. The first experiment lasted 36 days. Individual measurements were performed at 10-day intervals (n=31), during which body weight and length, as well as the current biomass of the experimental units were determined. In the second year, the larvae and fry were reared for 40 days under different environmental conditions in a larval rearing system and for a further month in a traditional nursery aquaculture system. This time, the control measurements were performed weekly in order to ascertain body weight and length growth, and biomass. In both experimental years, a comprehensive ranking of the experimental combinations was established based on five breeding indicators (final body weight, final body length, the coefficient of variation of final body weight and length, survival rate) to assess the most optimal rearing strategy. In the second year, the behaviour of the Russian sturgeon juveniles was examined in a bare maze (bare-maze test) and an enriched-maze (gravel-maze test). The experiment involved the testing of 19 individuals from each experimental group. Video recordings were made of the tests, which were then analysed to provide an overview of the behavioural indicators.

In both experimental years, the most optimal feeding combinations was found to be the groups feeding *Chironomus* from the exogenous feeding and unenriched *Artemia* for a minimum of two weeks. The utilisation of exclusively natural feed had a positive effect on culture parameters and promote the exploratory behaviour in the Russian sturgeon. Conversely, frozen *Artemia* and a co-feeding resulted in stunted growth and increased mortality. The short term impact of *Artemia* enrichment could not be demonstrated in this study, however, its long-term benefits to growth were evident. The findings of the present study suggest that the environmental enrichment contributes to a reduction in fear response of novelty. Furthermore, the use of environmental enrichment in larval rearing units has been shown to reduce mortality during the larval rearing phase, however, no effect on body size growth was observed. Its absence during the nursery phase resulted in stunted growth, which can be attributes to the physiological response of fish to chronic stress.

The provision of high-nutrient feed and environmental enrichment in the early stages of Russian sturgeon has been demonstrated to provide significant growth and development benefits. Furthermore, this has been shown to contribute to more efficient use of the environment and improved cognitive ability, ultimately supporting overall well-being.

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, Prof. Dr. Müller Tamásnak, a Halászatfejlesztési Tanszék egyetemi tanárának, és Dr. Uroš Ljubobratović tudományos főmunkatársnak, akik nemcsak témavezetői és szakmai, hanem baráti támogatásukról is minden esetben biztosítottak.

Köszönöm a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemnek és az Élelmiszertudományi Doktori Iskolának, hogy tanulmányaimat ezen neves intézmények diákjaként végezhettem.

Köszönöm a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet, Halászati Kutatóközpont dolgozóinak, hogy a munkához szükséges feltételeket biztosították. Külön köszönet illeti az Akvakultúra-technológia tudományos osztály tagjait, akik segítettek a munkám kivitelezését, és nélkülözhetetlen segítséget nyújtottak számomra.

Külön hálával tartozom családtagjaimnak, kik mindvégig mellettem álltak, erőfeszítéseimet mindenben támogatták, akikre mindig és mindenben számíthatok.

11. Irodalomjegyzék

1. Aarestrup, K., Jepsen, N., Koed, A., Pedersen, S., 2005. Movement and mortality of stocked brown trout in a stream. *J. Fish Biol.* 66, 721–728. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00634.x>.
2. 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>
3. Agh, N., Noori, F., Makhdom, N.M., 2012. First feeding strategy for hatchery produced Beluga sturgeon, *Huso huso* larvae. *Iran. J. Fish. Sci.* 11(4), 713–723.
4. Ahmadi, F.H., Falahatkar, B., Ershad, L.H., 2011. The influence of different lipid sources and levels on growth, body composition and haematology of *Huso huso*. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 95, 632–641. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01094.x>
5. Aidos, L., Cafiso, A., Serra, V., Vasconi, M., Bertotto, D., Bazzocchi, C., Radaelli, G., Di Giancamillo, A., 2020. How different stocking densities affect growth and stress status of *Acipenser baerii* early stage larvae. *Animals*, 10, 1289. <https://doi.org/10.3390/ani10081289>
6. Aidos, L., Vasconi, M., Abbate, F., Valente, L.M.P., Lanfranchi, M., Di Giancamillo, A., 2018. Effect of stocking density on reared Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) larval growth, muscle development, and fatty acids composition in recirculating aquaculture system. *Aquac. Res.* 50, 588–598. <https://doi.org/10.1111/are.13936>
7. Akbary, P., Hosseini, S.A., Imanpoor, M.R., 2011. Enrichment of *Artemia* nauplii with essential fatty acids and vitamin C: effect on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) larvae performance. *Iran. J. Fish. Sci.* 10, 557–569.
8. Allergeier, S., Kästel, A., Brühl, C.A., 2019. Adverse effects of mosquito control using *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*: Reduced chironomid abundances in mesosm, semi-field and field studies. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 169, 786–796. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.050>

9. 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>
10. Alvarez-Gonzales, C.A., Ortiz-Galindo, J.L., Dumas, S., Martínez-Díaz, S.F., Hernandez-Ceballos, D.E., Grayeb-Del Alamo, T., Moreno-Legoretta, M., Penta-Martínez, R., Civera-Cerecedo, R., 2001. Effect of stocking density on the growth and survival of spotted sand bass *Paralabrax maculatofasciatus* larvae in a closed recirculating system. *J. World Aquac. Soc.* 32, 130–137. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2001.tb00932.x>
11. 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>
12. Arechavala-Lopez, P., Caballero-Froilán, J.C., Jiménez-García, M., Capó, X., Tejada, S., Saraiva, J.L., Sureda, A., Moranta, D., 2020. Enriched environments enhance cognition, exploratory behaviour and brain physiological functions of *Sparus aurata*. *Sci. Rep.* 10, 11252. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68306-6>
13. 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. in Aquac.* 14(2), 704–728. <https://doi.org/10.1111/raq.12620>
14. Arumugam, P., Inbakandan, D., Ramasamy, M.S., Murugan, M., 2013. Encapsulated Spirulina powder feed for the nutritional enrichment of adult brine shrimp (*Artemia salina*). *J. Appl. Aquac.* 25(3), 265–270. <https://doi.org/10.1080/10454438.2013.817182>
15. 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*. *Aquac. Nutr.* 20(6), 595–608.
<https://doi.org/10.1111/anu.12113>
16. Baker, D.W., McAdam, D.S.O., Boucher, M., Huynh, K.T., Brauner, C.J., 2014. Swimming performance and larval quality are altered by rearing substrate at early life phases in white sturgeon, *Acipenser transmontanus* (Richardson, 1836). *J. Appl. Ichthyol.* 30(6), 1461–1472. <https://doi.org/10.1111/jai.12642>
 17. Ballagh, D.A., Fielder, D.S., Pankhurst, P.M., 2010. Weaning requirements of larval mullet, *Argyrosomus japonicus*. *Aquac. Res.* 41(10), e493–e504. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2010.02519.x>
 18. Bams, R.A., 1967. Differences in performance of naturally and artificially propagated sockeye salmon migrant fry, as measured with swimming and predation tests. *J. Fish. Res. Board Can.* 24, 1117–1153. <https://doi.org/10.1139/f67-09>
 19. Bardi, Jr. R.W., Chapman, F.A., Barrows, F.T., 1998. Feeding trials with hatchery produced Gulf of Mexico sturgeon larvae. *Prog. Fish-Cult.* 60, 25–31.
 20. Barros, A.I.B., Villacorta-Correa, M.A., Carvalho, T.B., 2019. Stocking density and water temperature as modulators of aggressiveness, survival and zootechnical performance in matrinxã larvae, *Brycon amazonicus*. *Aquaculture*, 502, 378–383. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.070>
 21. 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>
 22. 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)
 23. Bemis, W.E., Findeis, E.K., Grande, L., 1997. An overview of Acipenseriformes. In: Birstein, V.J., Waldman, J.R., Bemis, W.E. (Eds).

Sturgeon Biodiversity and Conservation (Vol. 48, pp. 25-71), Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/0-306-46854-9_4

24. Bemis, W.E., Kynard, B., 1997. Sturgeon rivers: an introduction to acipenseriform biogeography and life history. *Environ. Biol. Fish.* 48, 167–184.
25. Bengtson, D.A., 2003. Status of marine aquaculture in relation to live prey: past, present and future. In: Strøttrup, J.G. & McEvoy, L.A. (Eds.) *Live Feeds in Marine Aquaculture* (pp. 1-16.), Blackwell publishing, Oxford, UK.
26. Bengtson, D.A., Léger, P., Sorgeloos, P., 2018. Use of *Artemia* as a food source for aquaculture. In: Browne, R.A. (Ed.), *Artemia biology* (pp. 255-286). CRC Press.
27. Benhaïm, D., Ferrari, S., Colchen, T., Chatain, B., Bégout, M.L., 2017. Relationship between individual and group learning in a marine teleost: A case study with sea bass under self-feeding conditions. *Learn. Behav.* 45, 276–286. <https://doi.org/10.3758/s13420-017-0266-1>
28. Benvenuti, R., Marcon, M., Gallas-Lopes, M., Julie de Mello, A., Herrmann, A.P., Piato, A., 2021. Swimming in the maze: An overview of maze apparatuses and protocols to assess zebrafish behavior. *Neurosci. Behav. Rev.* 127, 761–778. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2021.05.027>
29. 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>
30. Bertinetto, L., Valmadre, J., Henriques, J.F., Vedaldi, A., Torr, P.H.S., 2016. Fully-convolutional Siamese networks for object tracking. In: *European Conference on Computer Vision (ECCV) Workshops*. (pp. 850–865). https://doi.org/10.1007/978-3-319-48881-3_56

31. Betancur-R, R., Wiley, E.O., Arratia, G., Acero, A., Bailly, N., Miya, M., Lecointre, G., Orti, G., 2017. Phylogenetic classification of bony fishes. *BMC Evol. Biol.* 17(1), 1–40. <https://doi.org/10.1186/s12862-017-0958-3>
32. Billard, R., Lecointre, G., 2001. Biology and conservation of sturgeon and paddlefish. *Rev. Fish Biol. Fish.* 10(4), 355-392. <https://doi.org/10.1023/A:1012231526151>
33. Bloesch, J., Jones, T., Reinartz, R., Striebel, B., 2006. An Action Plan for conservation of Sturgeons (Acipenseridae) in the Danube River Basin. *Öster. Wasser- und Abfallwirtsch.* 58, 81–88.
34. 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>
35. Bolasina, S., Tagawa, M., Yamashita, Y., Tanaka, M., 2006. Effect of stocking density on growth, digestive enzyme activity and cortisol level in larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 259, 432–443. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.05.021>
36. 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>
37. 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>
38. 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>
39. 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>

40. Braida, D., Ponzoni, L., Martucci, R., Sparatore, F., Gotti, C., Sala, M., 2014. Role of neural nicotinic acetylcholine receptors (nAChRs) on learning and memory in zebrafish. *Psychopharmacol.* 231, 1975–1985. <http://doi.org/10.1007/s00213-013-3340-1>
41. 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>
42. Bronzi, P., Chebanov, M., Michaels, J.T., Wei, Q., Rosenthal, H., Gessner, J., 2019. Sturgeon meat and caviar production: Global update 2017. *J. Appl. Ichthyol.* 35(1), 257–266. <https://doi.org/10.1111/jai.13870>
43. Brovini, E.M., Lobo, H., Mendonça, R.F., Botta, C.M.R., Lima, A.L.R.L., De Deus, B.C.T., Cardoso, S.J., 2023. *Chironomus sancticaroli* (Diptera: Chironomidae) in ecotoxicology: laboratory cultures and tests. *Ecotoxicol.* 32(2), 223-233. <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02631-0>
44. 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>
45. 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>
46. Buddington, R.K., & Doroshov, S.I., 1986. Digestive enzyme complement of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Comp. Biochem. Physiol. Part A: Physiology*, 83(3), 561–567. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(86\)90146-5](https://doi.org/10.1016/0300-9629(86)90146-5)
47. Buddington, R.K., 1985. Digestive secretions of lake sturgeon, *Acipenser fulvescens*, during early development. *J. Fish Biol.* 26, 715–723.

48. Burns, J.G., 2008. The validity of three tests of temperament in guppies (*Poecilia reticulata*). *J. Comp. Psychol.* 122, 344–356. <https://doi.org/10.1037/0735-7036.122.4.344>
49. 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>
50. Cahu, C., Zambonino-Infante, J., 2001. Substitution of live food by formulated diets in marine fish larvae. *Aquaculture*, 200, 161–180. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00699-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00699-8)
51. 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>
52. 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>
53. 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>
54. Chakraborty, R.D., Chakraborty, K., Radhakrishnan, E.V., 2007. Variation in fatty acid composition of *Artemia salina* nauplii enriched with microalgae and baker's yeast for use in larviculture. *J. Agric. Food Chem.* 55(10), 4043-4051.
55. Chebanov, M.S., Galich, E.V., 2013. Sturgeon hatchery manual. FAO fisheries and aquaculture technical paper No. 558. Ankara, FAO, 303 p.

56. CITES Export Quotas. (2012, February 13). The CITES export quotas. Cites.org. Retrieved from <https://www.cites.org/eng/resources/quotas/in>
57. Cogliati, K.M., Herron, C.L., Noakes, D.L.G., Schreck, C.B., 2019. Reduced stress response in juvenile Chinook Salmon reared with structure. *Aquaculture*, 504, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.056>
58. 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>
59. 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.
60. Coppens, C.M., de Boer, S.F., Koolhaas, J.M., 2010. Coping styles and behavioural flexibility: towards underlying mechanisms. *Philos. Trans. R. Soc. B.: Biol. Sci.*, 365(1560), 4021-4028. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0217>
61. Dediu, L., Măreanu, M., Cristea, V., Măreanu, D., 2011. Effect of formulated diet versus live food on growth and survival of Russian sturgeon (*Acipenser guldenstaedti*) larvae starting exogenous feeding. *Bull. UASVM Anim. Sci. Biotechnol.* 68, 130–136. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:68:1-2:6683>
62. Deng, D.F., Koshio, S., Yokoyama, S., Bai, S.C., Shao, Q.J., Cui, Y.B., Hung, S.S.O., 2003. Effects of feeding rate on growth performance of white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) larvae. *Aquaculture*, 217, 589–598. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00461-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00461-1)
63. Dettlaff, T.A., Ginsburg, A.S., Schmalhausen, O.I., 1993. *Sturgeon fishes: Developmental Biology and Aquaculture*. Springer. Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-77057-9>
64. Dvorak, G.D., 2009. Biosecurity for aquaculture facilities in the North Central Region (Extension Fact Sheet No. 8). Ames, IA: North Central Regional Aquaculture Center.

65. Ebbesson, L.O.E., Braithwaite, V.A., 2012. Environmental effects on fish neural plasticity and cognition. *J. Fish. Biol.* 81, 2151–2174. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03486.x>.
66. Ebrahimi, E, Zare, P., 2006. Growth and survival of Beluga (*Huso huso*) and Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) fingerlings fed by live food and artificial diet. *J. Appl. Ichthyol.* 22(S1), 321–324. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00977.x>
67. Ebrahimi, E., 2006. Determination of the best time to transfer Beluga (*Huso huso*) juveniles from natural to commercial diets. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 274–277. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00967.x>
68. Ebrahimi, E., & Zare, P., 2005. Growth, survival and body composition of Beluga and Persian sturgeon fingerlings fed natural and prepared food. In *Proc. 5th Int. Symp. Sturgeon* (pp. 40-43). Ramsar, Iran.
69. 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>
70. 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>
71. 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>
72. 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>
73. 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>
74. El-Sayed, A.F.M., 2002. Effects of stocking density and feeding levels on growth and feed efficiency of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.) fry. Aquac. Res. 33, 621–626. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.2002.00700.x>
75. Elvidge, C.K., Reid, C.H., Ford, M.I., Sills, M., Patrick, P.H., Gibson, D., Backhouse, S., Cooke, S.J., 2019. Ontogeny of light avoidance in juvenile lake sturgeon. J. Appl. Ichthyol. 35(1), 202–209. <https://doi.org/10.1111/jai.13822>
76. Falahatkar, B., & Shakoorian, M., 2011. Indications for substrate preferences in juvenile hatchery-reared great sturgeon, *Huso huso*. J. Appl. Ichthyol. 27(2). <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01695.x>
77. Fashtomi H.R.P., Mohseni M., 2006. Survival and growth of larval and juvenile Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) using formulated diets and live food. J. Appl. Ichthyol. 22, 303–306.
78. Faure, P., 2025. Exploration and behavioral variability. In Handbook of Behavioral Neuroscience (Vol. 32, pp. 357–365). Elsevier.
79. Feledi, T., Adorján, Á., Rónyai, A., 2013. A kecsge dunai (*Acipenser ruthenus ruthenus*) és szibériai (*A. r. marsiglii*) alfaja termelési potenciáljának összehasonlítása. Halászat. 106(4), 22–24.
80. Feledi, T., Rónyai, A., 2013a. A szibériai kecsge (*Acipenser ruthenus marsiglii*) intenzív rendszerben történő ivadéknevelésének előzetes eredményei. Agrártud. Közl., 51.
81. 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
82. Fernandez, R.G., 2001. *Artemia* bioencapsulation I. Effect of particle sizes on the filtering behavior of *Artemia franciscana*. J. Crustac. Biol. 21, 435–442.
83. Fernández-Díaz, C., Pascual, E., Yúfera, M., 1994. Feeding behavior and prey size selection of gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae fed on inert and live food. Mar. Biol. 118, 323–328.
84. Ferrari, M.C., McCormick, M.I., Meekan, M.G., Chivers, D.P., 2015. Background level of risk and the survival of predator-naive prey: Can neophobia compensate for predator naivety in juvenile coral reef fishes? P. R. Soc. Lond., Ser. B: Biol. Sci. 282, 20142197.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2197>
85. Feshalami, M.Y., Amiri, F., Nikpey, M., Mortazavizadeh, S.A., 2016. Influence of stocking density on growth and physiological response of beluga, *Huso huso* (Brandt, 1869), and ship sturgeon, *Acipenser nudiiventris* (Lovetsky, 1828), juveniles in a flow-through system. J. World Aquac. Soc., 48, 611–622. <https://doi.org/10.1111/jwas.12376>
86. Figueiredo, J., Baird, A.H., Cohen, M.F., Flot, J.F., Kamiki, T., Meziane, T., Tsuchya, M., Yamasaki, H., 2012. Ontogenetic change in the lipid and fatty acid composition of scleractinian coral larvae. Coral Reefs, 31(2), 613–619. <https://doi.org/10.1007/s00338-012-0874-3>
87. Ford, M.I., Elvidge, C.K., Baker, D., Pratt, T. C., Smokorowski, K.E., Sills, M., Patrick, P., Cooke, S.J., 2018. Preference of age-0 white sturgeon for different colours and strobe rates of LED lights may inform behavioural guidance strategies. Environ. Biol. Fish, 101, 667–674.
<https://doi.org/10.1007/s10641-018-0727-1>
88. 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>

89. Francis, D.S., Cleveland, B.J., Jones, P.L., Turchini, G.M., Conlan, J.A., 2019. Effects of PUFA-enriched *Artemia* on the early growth and fatty acid composition of Murray cod larvae. *Aquaculture*, 513, 734362. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734362>
90. 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>
91. Gadomski, D.M., Parsley, M.J., 2005. Laboratory studies on the vulnerability of young white sturgeon to predation. *N. Am. J. Fish. Manag.*, 25(2), 667–674.
92. Garcia, O.A., Verreth, J.A.J., Coutteau, P., Segner, H., Huisman, E.A., Sorgeloos, P., 1998. Biochemical and enzymatic characterization of decapsulated cysts and nauplii of the brine shrimp *Artemia* at different developmental stages. *Aquaculture*, 161, 501–514. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00297-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00297-4)
93. 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>
94. Gawlicka, A., Herold, M.A., Barrows, F.T., De la Noüe, J., Hung, S.S.O., 2002. Effects of dietary lipids on growth, fatty acid composition, intestinal absorption and hepatic storage in white sturgeon (*Acipenser transmontanus* R.) larvae. *J. Appl. Ichthyol.* 18(4–6), 673–681. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2002.00371.x>
95. Gessner, J., Kamerichs, C.M., Kloas, W., and Wuertz, S., 2009. Behavioural and physiological responses in early life phases of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchill 1815) toward different substrates. *J. Appl. Ichthyol.* 25, 83–90. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2009.01246.x>
96. Ghelichi, A., Makhdoomi, N., Jorjani, S., Taheri, A., 2010. Effect of water temperature on the timing of initial feeding of Persian sturgeon *Acipenser persicus* larvae. *Int. Aquat. Res.* 2(2), 113.

97. Giberson, A.V. & Litvak, M.K., 2003. Effect of feeding frequency on growth, food conversion efficiency, and meal size of juvenile *Atlantic sturgeon* and *Shortnose sturgeon*. *N. Am. J. Aquac.* 65, 99–105. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2003\)65<99:EOFFOG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2003)65<99:EOFFOG>2.0.CO;2)
98. Gisbert, E., Williot, P., 1997. Larval behaviour and effect of the timing of initial feeding on growth and survival of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) larvae under small scale hatchery production. *Aquaculture*, 156, 63–76.
99. Gisbert, E., Williot, P., 2002. Advances in the larval rearing of Siberian sturgeon. *J. Fish Biol.* 60, 1071–1092. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb01705.x>
100. 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>.
101. Gomes, L.C., Baldisserotto, B., Senhorini, J.A., 2000. Effect of stocking density on water quality, survival, and growth of larvae of the matrinxã *Brycon cephalus* (Characidae), in pond. *Aquaculture*, 180, 73–81. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00288-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00288-4)
102. Gould, G.G., 2010. Modified Associative Learning T-Maze Test for Zebrafish (*Danio rerio*) and Other Small Teleost Fish. In: A.V. Kalueff, J.M. Cachat (Eds.), *Zebrafish Neurobehav. Prot. (Neurometh. Vol. 51, pp. 61–73)*. Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-953-6_5
103. Govoni, J.J., Boehlert, G.W., Watanabej, Y., 1986. The physiology of digestion in fish larvae. *Environ. Biol. Fish.* 16, 59–77.
104. 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)
105. 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>

106. Guti, G., 2000. Vágótok (*Acipenser gueldenstaedti*) a Duna szigetközi szakaszán. Halászat, 2, 96.
107. Guti, G., Gaebele, T., 2009. Veszélyeztetett tokfélék (Acipenseridae) a Duna magyarországi szakaszán. Termvéd. Közl. 15, 57-67.
108. Guti, G., Gaebele, T., 2010. Tokfélék a Duna magyarországi szakaszán, a kecsgeállomány hosszúidejű változása. Hidrol. Közlöny, 90(6), 35–37.
109. Hafezieh, M., Kamarudin, M.S., Bin Saad, C.R., Abd Sattar, M.K., Agh, N. and Hosseipoar, 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>
110. 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>.
111. 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>
112. Hamidoghli, A., Falahatkar, B., Khoshkholgh, M., Sahragard, A., 2014. Production and enrichment of chironomid larva with different levels of vitamin C and effects on performance of Persian sturgeon larvae. N. Am. J. Aquac., 76(3), 289-295. <https://doi.org/10.1080/15222055.2014.911224>
113. Hamlin, H.J., Michaels, J.T., Beaulaton, C.M., Main, K.L., 2006. Refining feeding practices for hatchery production of Siberian sturgeon, *Acipenser baeri*. J. World Aquac. Soc. 37(2), 224–230.
114. Han, K., Geurden, I., Sorgeloos, P., 2000. Enrichment strategies for *Artemia* using emulsions providing different levels of n-3 highly unsaturated fatty acids. Aquaculture, 183(3), 335–347. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00295-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00295-1)

115. Han, K., Geurden, I., Sorgeloos, P., 2001. Fatty acid changes in enriched and subsequently starved artemia *Franciscana* nauplii enriched with different essential fatty acids. *Aquaculture*, 199, 93–105. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00596-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00596-2)
116. Hanaee, J., Agh, N., Hanaee, M., Delazar, A., Sarker, S.D., 2005. Studies on the enrichment of *Artemia urmiana* cysts for improving fish food value. *Anim. Feed Sci. Tech.* 120(1-2), 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.01.010>
117. Harka Á., Sallai Z., 2004. Magyarország halfaunája. *Nimfea Termvéd. Egyes. Szarvas*, pp. 269.
118. Heming, T.A., McInerney, J.E., Alderdice, D.F., 1982. Effect of temperature on initial feeding in alevins of chinook salmon (*Onchorhynchus tshawytscha*). *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* 39, 1154–1162.
119. Hensel, K., Holčík, J., 1997. Past and current status of sturgeons in the upper and middle Danube River. *Env. Biol. Fish.* 48(1), 185–200. <https://doi.org/10.1023/A:1007315825215>
120. Herman, O., 1887. A magyar halászat könyve I-II. (Vol. 1, pp. 860). A Kir. Magyar Természettudományi Társulat, Budapest.
121. 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>.
122. Hochleithner, M., Gessner, J., 2001. The sturgeons and paddlefishes of the world: biology and aquaculture. *Aquatech. Publ*, 106, 81–82.
123. Holčík, J., 1989. The Freshwater Fishes of Europe. 1/II: General Introduction to Fishes/Acipenseriformes. AULA- Verlag, Wiesbaden.
124. Hope, B.V., Hamilton, T.J., Hurd, P.L., 2019. The submerged plus maze as an assay for studying anxiety-like behavior in fish. *MethodsX*, 6, 1832–1837. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.002>

125. Hu, M., Yang, W., Cheung, S.G., Shin, P.K.S., 2013. Comparison of different frozen natural foods on survival and growth of juvenile Chinese horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819): implications on laboratory culture. *Aquac. Res.* 44(4), 567–573. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2011.03059.x>
126. Hung, S.S.O., Conte, F.S., Lutes, P.B., 1995. Optimum feeding rate of white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, yearlings under commercial production conditions. *J. Appl. Aquac.* 5, 45–51.
127. Hung, S.S.O., Storebakken, T., Cui, Y., Tian, L., Einen, O., 1997. High-energy diets for white sturgeon, *Acipenser transmontanus* Richardson. *Aquac. Nutr.* 3(4), 281–286.
128. Huntingford, F.A., Kadri, S., 2014. Defining, assessing and promoting the welfare of farmed fish. *Rev. Sci. Tech. OIE.* 33(1), 233–244. <http://doi.org/10.20506/rst.33.1.2286>
129. Iegorova, V., Psenicka, M., Lebeda, I., Rodina, M., Saito, T., 2018. Polyspermy produces viable haploid/diploid mosaics in sturgeon. *Biol. Repr.* 99(4), 695–706. <https://doi.org/10.1093/biolre/i0y092>
130. International Union for Conservation of Nature (IUCN), 2025. IUCN Red List of threatened species. Version 2025-2. <http://www.iucnredlist.org>
131. 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>
132. Jalali, M.A., Hosseini, S.A., Imanpour, M.R., 2010. Physiological characteristics and stress resistance of great sturgeon (*Huso huso*) juveniles fed with vitamins C, E, and HUFA-enriched *Artemia urmiana* nauplii. *Fish. Physiol. Biochem.* 36, 555–564. <https://doi.org/10.1007/s10695-009-9326-6>

133. Johnsson, J.I., 1993. Big and brave: size selection affects foraging under risk of predation in juvenile rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Anim. Behav.* 45, 1219–1225. <https://doi.org/10.1006/anbe.1993.1143>.
134. Johnsson, J.I., Brockmark, S., Näslund, J., 2014. Environmental effects on behavioural development consequences for fitness of captive-reared fishes in the wild. *J. Fish Biol.* 85(6), 1946–1971. <https://doi.org/10.1111/jfb.12547>
135. Joshua, W.J., Kamarudin, M.S., Ikhsan, N., Yusoff, F.M., Zulperi, Z., 2022. Development of enriched *Artemia* and *Moina* in larviculture of fish and crustaceans: a review. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 50(2), 144-157. <https://doi.org/10.3856/vol50-issue2-fulltext-2840>
136. 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>.
137. Kadhar, A., Kumar, A., Jawahar, A., Akbar, J., 2014. Studies on the Survival and Growth of Fry of *Catla catla* (Hamilton, 1922) Using Live Feed. *J. Mar. Sci.* 2014(1), 842381. <https://doi.org/10.1155/2014/842381>
138. 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. and Aquat. Sci.* 14(4), 929-938. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_4_12
139. Kamaszewski, M., Wójcik, M., Ostaszewska, T., Kasprzak, R., Kolman, R., Prusińska, M. (2014b). Short communication: The effect of essential fatty acid (EFA) enrichment of *Artemia* sp. nauplii on the enzymatic activity of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchill, 1815) larvae—preliminary study. *J. Appl. Ichthyol.* 30, 1256-1258. <https://doi.org/10.1111/jai.12561>
140. Kamler, E., Myszkowski, L., Kamiński, R., Korwin-Kossakowski, M., Wolnicki, J., 2006. Does overfeeding affect tench *Tinca tinca* (L.)

- juveniles? *Aquac. Int.* 14(1), 99–111. <https://doi.org/10.1007/s10499-005-9018-x>
141. 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>
142. Kandathil Radhakrishnan, D., AkbarAli, I., Schmidt, B.V., John, E.M., Sivanpillai, S., Thazhakot, V.S., 2020. Improvement of nutritional quality of live feed for aquaculture: An overview. *Aquac. Res.*, 51(1), 1–17. <https://doi.org/10.1111/are.14357>
143. Károli, J., 1877. A Duna halóriásai. *Termr. Füz.* 1, 77–81.
144. Kasumyan, A.O., Taufik, L.R., 1994. Behavior reaction of juvenile sturgeons (*Acipenseridae*) to amino acids. *J. Ichthyol.* 34(2), 90–103.
145. Kenney, J.W., 2020. Associative and nonassociative learning in adult zebrafish. In: *Behavioral and Neural Genetics of Zebrafish* (pp. 187–204). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817528-6.00012-7>
146. Khan, M.S.K., Salin, K.R., Yakupitiyage, A., Siddique, M.A.M., 2021. Effect of stocking densities on the growth performance, cannibalism and survival of Asian seabass *Lates calcarifer* (Bloch, 1790) fry in different nursery rearing system. *Aquac. Res.* 52(11), 5332–5339. <https://doi.org/10.1111/are.15403>
147. Khodorevskaya, R.P., Ruban, G.I., and Pavlov, D.S., 2007. *Povedenie, migratsii, raspredelenie i zapasy osetrovykh ryb Volgo-Kaspiiskogo basseina* (Behavior, Migrations, Distribution and Stocks of Sturgeon Fish in the Volga-Caspian Basin). Moscow: KMK.
148. Kihlslinger, R.L., Nevitt, G.A., 2006. Early rearing environment impacts cerebellar growth in juvenile salmon. *J. Exp. Biol.* 209(3), 504–509. <https://doi.org/10.1242/jeb.02019>

149. King, K., 2004. Growth, survival, and body composition of juvenile Atlantic sturgeon fed five commercial diets under hatchery conditions. *N. Am. J. Aquac.* 66, 53–60.
150. Kinne, O., 1997. Cultivation of animals. In: *Cultivation Part 2 (Vol. 3, pp. 579-1293.)*, Wiley, London, UK.
151. Kirschbaum, F, Hensel, E.C.K., Willio, P., 2006. Feeding experiments with the European Atlantic sturgeon, *Aciepsner sturio* L., 1758 to accustom large juveniles to a new feed item and the influence of tank size and stocking density on growth. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 307–314.
152. Kiss, I., 1997. Csontos vázúak (Osteognathomata) ágazata. In: Papp L. (Ed.): *Zootaxonomia (pp. 286-290)* Magyar Természettudományi Múzeum & Dabas-Jegyzet Kft., Dabas.
153. 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.
154. Konovalov, A.F., Konovalov, F.Y., 2016. Fishing for sturgeons in the rivers of the Vologda Territory in the 16th–20th centuries. *Vopr. Rybolovstva*, 17(2), pp. 148–164.
155. Koven, W., Barr, Y., Lutzky, S., Ben-Atia, I., Weiss, R., Harel, M., Behrens, P., Tandler, A., 2001. The effect of dietary arachidonic acid (20:4n–6) on growth, survival and resistance to handling stress in gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, 193(1), 107–122. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00479-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00479-8)
156. Kozłowski, M., Szczepkowski, M., Wunderlich, K., Szczepkowska, B., Piotrowska, I., 2014. Polyculture of juvenile pikeperch (*Sander lucioperca* (L.)) and sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) in recirculating system. *Arch. Pol. Fish.* 22, 237–242. <https://doi.org/10.2478/aopf-2014-0024>
157. 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>

158. Kynard, B., Horgan, M. 2002. Ontogenetic behavior and migration of Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*, and shortnose sturgeon, *Acipenser brevirostrum*, with notes to social behavior. *Environ. Biol. Fish.* 63, 137–150.
159. 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>
160. Laczynska, B., Siddique, M.A.M., Liszewski, T., Kucinski, M., Fopp-Bayat, D., 2017. Effects of feeding rate on the growth performance of gynogenetic albino sterlet, *Acipenser ruthenus* (Linnaeus, 1758) larvae. *J. Appl. Ichthyol.* 33(3), 323–327. <https://doi.org/10.1111/jai.13317>
161. 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. Aquac.*, 82(2), 181–189. <https://doi.org/10.1002/naaq.10141>
162. Lagesson, A., Saaristo, M., Brodin, T., Fick, J., Klaminder, J., Martin, J.M., Wong, B.B.M., 2019. Fish and steroids: Temperature-dependent effects of 17 β -trenbolone on predator escape, boldness, and exploratory behaviors. *Environ. Pollut.* 245, 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.116>
163. Lahnsteiner, F., Dünser, A., 2025. A simplified, one step technique for disinfection of non-hardened rainbow trout eggs with tosylchloramide (Chloramine T) and peroxide (Wofasteril) compounds and the effects on bacterial load and microbiome composition in comparison to iodophore disinfection. *J. Genet. Eng. Biotechnol.* 23(3), 100541. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2025.100541>
164. Lavens, P., Sorgeloos, P., 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. (FAO Fisheries Technical Paper No. 361). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

165. Lavens, P., Sorgeloos, P., 2000. The history, present status and prospects of the availability of *Artemia* cysts for aquaculture. *Aquaculture*, 181(3-4), 397-403.
166. Lee, C.J., Paull, G.C., Tyler, C.R., 2018a. Effects of environmental enrichment on survivorship, growth, sex ratio and behaviour in laboratory maintained zebrafish *Danio rerio*. *J. Fish. Biol.* 2018, 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfb.13865>
167. 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>
168. Lee, S., Zhao, H., Li, Y., Binkowski, F., Deng, D., Shepherd, B.S., Hung, S.S.O., Bai, S.C., 2018b. Evaluation of formulated feed for juvenile lake sturgeon (*Acipenser fulvescens*) based on growth performance and nutrient retention. *N. Am. J. Aquac.* 80, 223–236. <https://doi.org/10.1002/naaq.10026>
169. Léger, P., Bengtson, D.A., Sorgeloos, P., Simpson, K.L., Beck, A.D., 1987. The nutritional value of *Artemia*: a review. In: Sorgeloos, P., Bengtson, D.A., Decler, W., Jaspers, E. (Eds.), *Artemia* Research and its Applications: Ecology, Culturing, Use in Aquaculture (Vol. 3, pp. 357–372). Universa Press, Wetteren.
170. Ljubratović, R., 2023. AeGear: Computer vision toolkit for analyzing animal motion in complex aquatic environments. Retrieved from <https://github.com/ljubratovicrelja/aeGear>
171. Ljubratović, U., Bogár, K., Káldy, J., Fazekas, G., Vass, N., Feledi, T., Kovács, G., 2022. Optimizing the gonadoliberein dosage and evaluating the egg quality in the pre-season and seasonal artificial reproduction of pond-reared sterlet *Acipenser ruthenus*. *Anim. Reprod. Sci.* 247, 107097. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2022.107097>
172. Ljubratović, U., Kucska, B., Feledi, T., Poleksić, V., Marković, Z., Lenhardt, M., Peteri, A., Kumar, S., Rónyai, A., 2015. Effects of weaning strategies on growth and survival of Pikeperch, *Sander lucioperca*, larvae.

Turk. J. Fish. Aquat. Sci. 15, 325–331. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v15_2_15

173. Lobanov, V.P., Pate, J., Joyce, J., 2023. Sturgeon and paddlefish: Review of research on broodstock and early life stage management. Aquac. Fish. KeAi Communications Co. 9(6), 871–882. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2023.04.001>
174. Lucon-Xiccato, T., Bisazza, A. 2017. Complex maze learning by fish. Anim. Behav. 125, 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2016.12.022>
175. 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>
176. 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>
177. Luo, L., Ai, L., Liang, X., Hu, H., Xue, M., Wu, X., 2017. n-3 Long-chain polyunsaturated fatty acids improve the sperm, egg, and offspring quality of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). Aquaculture, 473, 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.021>
178. Luo, L., Ai, L., Liang, X., Xing, W., Yu, H., Zheng, Y., Wu, X., Liang, X., Xue, M., 2019. Effect of dietary DHA/EPA ratio on the early development, antioxidant response and lipid metabolism in larvae of Siberia sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt). Aquac. Nutr. 25(1), 239–248. <https://doi.org/10.1111/anu.12848>
179. Luo, L., Li, T.L., Xing, W., Xue, M., Ma, Z.H., Jiang, N., Li, W.T., 2015. Effects of feeding rates and feeding frequency on the growth performances of juvenile hybrid sturgeon, *Acipenser schrenckii* Brandt × *A. baeri* Brandt. Aquaculture, 448, 229–233. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.06.005>

180. Luo, Q., Zhou, Z., Zhao, J., Xu, H., Limbu, S.M., Xu, Q., 2023. Dietary β -conglycinin induces intestinal enteritis and affects glycerophospholipid and arginine metabolism in mirror carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 567, 739257. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739257>
181. Lupatsh, I., Santos, G.A., Schrama, J.W., Verreth, J.A.J., 2010. Effect of stocking density and feeding level on energy expenditure and stress responsiveness in European sea bass *Dicentrarchus labrax*. *Aquaculture*, 298, 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.11.007>
182. Madkour, K., Dawood, M. A., Sewilam, H., 2023. The use of Artemia for aquaculture industry: An updated overview. *Ann. Anim. Sci.* 23(1), 3-10. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0041>
183. 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. de Med. Vet. e Zootec.* 76(2), 323–332. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-13060>
184. 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. and Biochem.* 38, 17–41. <https://doi.org/10.1007/s10695-011-9518-8>
185. 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>
186. Mazué, G.P.F., Dechaume-Moncharmont, F., Godin, J.J., 2015. Boldness–exploration behavioral syndrome: interfamily variability and repeatability of personality traits in the young of the convict cichlid (*Amatitlania siquia*). *Behav. Ecol.* 26, 900–908. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv030>

187. McAdam, S.O., 2011. Effects of substrate condition on habitat use and survival by white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) larvae, and potential implications for recruitment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 68, 812–821.
188. 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)
189. Memiş, D., 2007. Sturgeon aquaculture. In: A. Candan, S. Karatas, Küçüktaş & L. Okumus, (Eds.), *Marine aquaculture in Turkey* (pp. 49–59). Turkish Marine Research Foundation, Istanbul.
190. Memiş, D., Celikkale, M.S., Ercan, E., 2006. Effects of different diets on growth performance and body composition of Russian sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt & Ratzenburg, 1833). *J. Appl. Ichthyol.* 22, 287–290.
191. 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. and Aquat. Sci.* 9(1).
192. Merino, G.E., Piedrahita, R.H., Conklin, D.E., 2007. The effect of fish stocking density on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles. *Aquaculture*, 265, 176–186. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.01.028>
193. Mestanza-Ramón, C., Henkanaththege-dara, S.M., Vásquez, D.P., Vargas, T.Y., Sánchez, C.M., Constante, M.D., Jimenez, G.M., Charco, G.M., Mestanza, R.P., 2020. In-situ and Ex-situ biodiversity CONservation in Ecuador: A Review of Policies, Actions and Challenges. *Diversity* 12(8), 315. <https://doi.org/10.3390/d12080315>
194. Meyer, H.A., Chipps, S.R., Graeb, B.D., Klumb, R.A., 2016. Growth, food consumption, and energy status of juvenile pallid sturgeon fed natural or

- artificial diets. *J. Fish Wildl. Manag.* 7(2), 388–396.
<https://doi.org/10.3996/082015-JFWM-076>
195. Mézes, M., 2019. A toktalakúak táplálkozása. In: Urbányi, B., Horváth, Á. (Eds.): *A toktalakúak biológiája és tenyésztése* (77 pp.). Vármédia Pr. Kft., Gödöllő.
196. Mézes, M., Bokor, Z., Csorbai, B., Ferincz, Á., Staszny, Á., Hegyi, Á., Eszterbauer, E., Urbányi, B., 2020. *Halászat, haltenyésztés* (176 pp.). Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft., Budapest.
197. Mihoc, N., Mihailov, S., Lalescu, D., Grozea, A., 2021. Study on the effects of polyculture of sterlet (*Acipenser ruthenus*) fingerlings and European catfish (*Silurus glanis*) on bioproductive performances of these species in recirculating aquaculture systems. *Sci. Papers Anim. Sci. Biotechnol.* 54, 197–203.
198. 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>
199. Milstein, V.V., 1972. Sturgeon culture. *Piș. Prom. Moscow*, 129 pp. (in Russian).
200. Mohler, J.W., 2000. Early culture of the North American Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus* Mitchill, 1815 and preliminary stocking trials. *Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* 16, 203–208.
201. 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. Aquac.*, 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)
202. 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.

203. 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>
204. 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>
205. Müller, T., Staszny, Á., 2019. Rendszertan és evolúció. In: Horváth, Á. és Urbányi, B. (Eds.): Tokalakúak biológiája és tenyésztése. Vármédia Pr. Kft., Gödöllő, pp. 19–23.
206. 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>
207. Naderi, M., Jamwal, A., Ferrari, M.C.O., Niyogi, S., Chivers, P.D., 2016. Dopamine receptors participate in acquisition and consolidation of latent learning of spatial information in zebrafish (*Danio rerio*). Prog. Neuro-Psychopharm. Biol. Psychi. 67, 21–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnpbp.2016.01.002>
208. Napora-Rutkowski, L., Kamaszewski, M., Bielawski, W., Ostaszewska, T., Wegner, A., 2009. Effects of starter diets on pancreatic enzyme activity in juvenile sterlet (*Acipenser ruthenus*). Isr. J. Aquac. Bamidgeh, 61(2), 143–150.
209. Narciso, L., Pousao-Ferreira, P., Passos, A., Luís, O., 1999. HUFA content and DHA/EPA improvements of *Artemia* sp. with commercial oils during different enrichment periods. Aquac. Res. 30(1), 21–24. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00293.x>
210. Näslund, J., Aarestrup, K., Thomassen, S.T., Johnsson, J.I., 2012. Early enrichment effects on brain development in hatchery-reared Atlantic

- salmon (*Salmo salar*): No evidence for a critical period. *Can. J. Fish. and Aquat. Sci.* 69(9), 1481–1490. <https://doi.org/10.1139/F2012-074>
211. 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>
212. Näslund, J., Rosengren, M., Del Villar, D., Gansel, L., Norrgard, J., R., Persson, L., Winkowski, J., J., Kvingedal, E., 2013. Hatchery tank enrichment affects cortisol levels and shelter-seeking in Atlantic salmon (*Salmo solar*). *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.* 70, 585–590. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0302>
213. Nathanailides, C., Tsoumani, M., Papazogoly A., Paschos, I., 2002. Hatching time and post-hatch growth in Russian sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii*. *J. Appl. Ichthyol.* 18, 651–654.
214. Navarro, J.C., Amat, F., Sargent, J.R., 1993. The lipids of the cysts of freshwater-and marine-type *Artemia*. *Aquaculture*, 109(3-4), 327–336. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90172-U](https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90172-U)
215. Navarro, J.C., Amat, F., Sargent, J.R., 1992. Fatty acid composition of coastal and inland *Artemia* sp. populations from Spain. *Aquaculture*, 102(3), 219–230. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90150-J](https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90150-J)
216. Nelson, J.S., Grande, T.C., Wilson, M.V.H., 2016. *Fishes of the World*. John Wiley & Sons.
217. Nguyen, R.M., Crocker, C.E., 2006. The effects of substrate composition on foraging behavior and growth rate of larval green sturgeon, *Acipenser medirostris*. *Environ. Biol. Fish.* 76, 129–138. <http://doi.org/10.1007/s10641-006-9002-y>
218. 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. [doi:10.1111/are.12620](https://doi.org/10.1111/are.12620)

219. Noori, F., Takami, G.A., Van Speybroeck, M., Van Stappen, G., Sorgeloos, P., 2011. Feeding *Acipenser persicus* and *Huso huso* (*Acipenseriformes*) larvae with *Artemia urmiana* nauplii enriched with HUFA and vitamin C: II. Effect on tolerance to shock exposure of environmental factors. *J. Appl. Ichthyol.* 27, 787–795. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2011.01700.x>
220. Nyeste, K., Somogyi, D., Sallai, Z., Antal, L., 2020. Adatok a tokfélék (*Acipenseridae*) Kárpá-medencei recens előfordulásairól. *Pisces Hung.* 14, 107–114.
221. 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.
222. Oprea, L., Mocanu, M.C., Vanghelie, T., Sandu, P.G., Dediu, L., 2015. The influence of stocking density on growth performance, feed intake and production of common carp, *Cyprinus carpio* L., at one summer of age, in ponds aquaculture systems. *Aquac., Aquar., Conserv. Legislat. Int. J. Biofl. Soc.*, 8(5), 632-639.
223. Orlov, A.M., Interesova, E.A., Dyldin, Y.V., Romanov, V.I., 2022. The endangered Eurasian freshwater sturgeons. *Imperiled: The Encycl. Conserv.* 545–553. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00135-5>
224. 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>
225. People Le Ruyet, J.P., Alexandre, J.C., Thébaud, L., Mugnier, C., 1993. Marine fish larvae feeding: formulated diets or live prey? *J. World Aquac. Soc.* 24(2), 211–224. <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.1993.tb00010.x>
226. Person, L., 1989. Early weaning of marine fish larvae onto microdiets: Constraints and perspectives. In *Adv. in Trop. Aquac., Workshop at Tahiti, French Polynesia*, pp. 625–642. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/1422/>

227. Peterson, R.H., Martin-Robichaud, D.J., 1995. Yolk utilization by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) alevins in response to temperature and substrate. *Aquac. Eng.* 14(1), 85–99. [https://doi.org/10.1016/0144-8609\(94\)P4428-E](https://doi.org/10.1016/0144-8609(94)P4428-E)
228. 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>
229. Pintér, K., 1977. A kecsége (*Acipenser ruthenus* L.). 23(70),2.
230. Pintér, K., Pócsi, L., 2002. A hal. Mezőgazd. Kiadó, Budapest
231. 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>
232. 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>
233. Ponomarev, S.V., Gamygin, E.A., Nikonorov, S.I., Ponomarev, E.N., Grozesku, Yu.N., Bakhareva, A.A., 2002. Technology of rearing and feeding of aquaculture objects in the south of Russia (pp. 263). Nova plus. (In Russian)
234. Portella, M.C., Dabrowski, K., 2008. Diets, physiology, biochemistry and digestive tract development of freshwater fish larvae. In: Cyrino, J.E.P., Bureau, D., Kapoor, B.G. (Eds.): *Feeding and digestive functions of fishes* (pp. 227-279). Science Publishers, CRC Press, Boca Raton, Florida.
235. Prolux, I., Martin, J., Carew, M., Hare, L., 2013. Using various lines of evidence to identify *Chironomus* species (Diptera: Chironomidae) in eastern Canadian lakes. *Zootaxa*, 3741(4), 401–458.
236. Prusińska, M., Nowosad, J., Jarmołowicz, S., Mikiewicz, M., Duda, A., Wiszniewski, G., Sikora, M., Biegaj, M., Samselska, A., Arciuch-

- Rutkowska, M., Targońska, K., Otrocka-Domogała, I., Kucharczyk, D., 2020. Effect of feeding barbel larvae (*Barbus barbus* (L, 1758)) Artemia sp. nauplii enriched with PUFAs on their growth and survival rate, blood composition, alimentary tract histological structure and body chemical composition. *Aquac. Rep.* 18, 100492. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100492>
237. R Development Core Team, 2013. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>
238. Rainuzzo, J.R., Reitan, K.I., Olsen, Y., 1994. Effect of short and long-term lipid enrichment on total lipids, lipid class and fatty acid composition in rotifers. *Aquac. Int.* 2, 19–32. <https://doi.org/10.1007/BF00118530>
239. Raymakers, C., 2006. CITES, the Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora: its role in the conservation of Acipenseriformes. *J. Appl. Ichthyol.* 22, 53–65. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00929.x>
240. Razak, A.S., Valentine, S., Marsh, T., Bauman, J., Mohd-Assaad, N., Scribner, K. T., 2022. Compositional dynamics of gastrointestinal tract microbiomes associated with dietary transition and feeding cessation in lake sturgeon larvae. *Microorg.* 10(9), 1872. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10091872>
241. Reinartz, R., Slavcheva, P., 2016. Saving sturgeons—A global report on their status and suggested conservation strategy. WWF, Vienna.
242. Richmond, A.M, Kynard, B. 1995. Ontogenic behavior of shortnose sturgeon *Acipenser brevirostrum*. *Copeia* 1995, 172–182.
243. 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>
244. Roberts, L.J., Taylor, J., Gough, P.J., Forman, D.W., Garcia de Leaniz, C., 2014. Silver spoons in the rough: can environmental enrichment improve

- survival of hatchery Atlantic salmon *Salmo solar* in the wild. J. Fish. Biol. 85, 1972–1991. <https://doi.org/10.1111/jfb.12544>
245. 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.
246. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T., 2015. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In: International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI). (pp. 234–241). https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28
247. Rónyai, A., 1997. A lénai tok (*Acipenser baeri*) növekedése, takarmányhasznosítása és testsúly szerinti homogenitása különböző népesítési sűrűségek és takarmányozási gyakoriságok hatására. Halászat, 90(2), 91–96.
248. 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.). Aquac. Res. 40(3), 315-321. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02094.x>
249. Rónyai, A., Borbély, Gy., 2012. „Tó a tóban” rendszerekben nevelhető néhány halfaj tartástechnológiai eredményeinek rövid összefoglalása. Halászat, 105(4), 19–20.
250. Rónyai, A., Feledi, T., 2012. Co-feeding as a weaning procedure in Sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) larvae. Aquac. Res., 44(9), 1489–1491. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03167.x>
251. Roozbehfar, R., Jamali, H., Hematian, R., 2012. The potential of Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) in exploitation of *Artemia urmiana* in comparison with *Daphnia* sp. and its mixture. World Appl. Sci. J. 20(6), 776-780. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2012.20.06.6573>
252. Rosburg, A.J., Enright, C., Voorhees, J.M., Barnes, M.E., 2021. Water hardness does not influence iodine-induced mortality of rainbow trout eyed

- eggs. Int. J. Fish. Aquac. 13(1), 40-44.
<https://doi.org/10.5897/IJFA2021.0804>
253. Rosengren, M., Kvingedal, E., Naslund, J., Johnsson, J., I., Sundell, K., 2017. Born to be wild: effect of rearing density and environmental enrichment on stress, welfare and smolt migration in hatchery reared Atlantic salmon. *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.* 74, 396–405.
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0515>
254. 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>
255. 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>
256. Ruban, G.I., Konopleva, I.V., Osipov, F.A., Dergunova, N.N., Zhang, X., Petrosyan, V. G., 2024. Ecological Niche and Spatial Distribution Models of the Russian Sturgeon *Acipenser gueldenstaedtii* Brandt et Ratzeburg (1833) in the Northern Part of the Caspian Sea Based on Long-Term Monitoring Data (1992–2011) in the Summer Period. *Russ. J. Biol. Invasions*, 15(2), 212-239.
257. Rybníkář, J., Prokeš, M., Mareš, J., Cileček, 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>
258. Sackerman, J., Donegan, J.J., Cunningham, C.S., Nguyen, N.N., Lawless, K., Gould, G.G. 2010. Zebrafish Behavior in Novel Environments: Effect of Acute Exposure to Anxiolytic Compounds and Choice of *Danio rerio* Line. *Int. J. Comp. Psychol.* 23, 43–61.
259. 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>

260. Safaraliev, I.A., Konopleva, I.V., and Smirnova, L.V., 2013. Summer distribution of Russian sturgeon and stellate sturgeon depending on food organisms in pastures of the Caspian Sea. *Rybn. Khoz.* 5, 85–89.
261. Sahandi, J., 2011. Natural food production for aquaculture: cultivation and nutrition of Chironomid larvae (Insecta, Diptera). *Adv. in Environ. Sci.* 3(3), 268–271. <http://www.aes.bioflux.com.ro>
262. Sahoo, S.K., Giri, S.S., Sahu, A.K., 2004. Effect of stocking density on growth and survival of *Clarias batrachus* (Linn.) larvae and fry during hatchery rearing. *J. Appl. Ichthyol.* 20, 302–305. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2004.00534.x>
263. Salvanes, A.G., Moberg, O., Braithwaite, V.A., 2007. Effects of early experience on group behaviour in fish. *Anim. Behav.* 74, 805-811. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.02.007>
264. Salvanes, A.G.V., Moberg, O., Ebbesson, L.O E., Nilsen, T.O., Jensen, K.H., Braithwaite, V.A., 2013. Environmental enrichment promotes neural plasticity and cognitive ability in fish. *Proc. the R. Soc.* 280, 20131331. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.1331>
265. 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)
266. 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)
267. 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).
268. Shahzad, U., Ahmad, I., García-Luengo, A.V., Zaman, T., Al-Noor, N.H., & Kumar, A., 2023. Estimation of coefficient of variation using calibrated estimators in double stratified random sampling. *Mathemat.*, 11(1), 252. <https://doi.org/10.3390/math11010252>

269. 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.
270. Sikorska, J., Kondera, E., Kamiński, R., Ługowska, K., Witeska, M., Wolnicki, J., 2018. Effect of four rearing water temperatures on some performance parameters of larval and juvenile crucian carp, *Carassius carassius*, under controlled conditions. *Aquac. Res.* 49(12), 3874-3880. <https://doi.org/10.1111/are.13855>
271. Silva, C.J.M., A.L.P. Silva, D. Campos, A.L. Machado, J.L.T. Pestana and C. Gravato. 2021. Oxidative damage and decreased aerobic energy production due to ingestion of polyethylene microplastics by *Chironomus riparius* (Diptera) larvae. *J. Hazard. Mater.* 402(15), 123775.
272. Sorgeloos, P., Dhert, P., Candreva, P., 2001. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 200(1), 147–159. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00698-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00698-6)
273. Sousa-Santos, C., Gil, F., Almada, V.C., 2014. *Ex situ* reproduction of Portuguese endangered cyprinids in the context of their conservation. *Ichthyol. Res.* 61, 193–198. <https://doi.org/10.1007/s10228-013-0383-6>
274. 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>
275. 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)
276. Szczepkowski, M., Szczepkowska, B., Piotrowska, I., 2011. Impact of higher stocking density of juvenile Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus* Mitchill, on fish growth, oxygen consumption, and ammonia excretion. *Fish. Aquat. Life*, 19, 59–67. <https://doi.org/10.2478/v10086-011-0007-6>
277. Szkudlarek, M., Zakęś, Z., 2007. Effect of stocking density on survival and growth performance of pikeperch, *Sander lucioperca* (L.), larvae under

- controlled conditions. *Aquac. Int.* 15, 67–81.
<https://doi.org/10.1007/s10499-006-9069-7>
278. Tamaru, P.D., Ako, H., Pang, L., 2000. Enrichment of *Artemia* for use in freshwater ornamental fish production. *Cent. Trop. Subtrop. Aquac. Publ. No.* 133.
279. 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>
280. Tatina, M., Bahmani, M., Soltani, M., Abtahi, B., Gharibkhani, M., 2010. Effects of different levels of dietary vitamins C and E on some of hematological and biochemical parameters of sterlet (*Acipenser ruthenus*). *J. Fish. Aquat. Sci.* 5(1), 1–11.
281. Tebelmann, H., & Ganslosser, U., 2024. Differences in boldness between Eurasian and American wolves (*Canis lupus*) might be based on adaptive mechanisms. *Ecol. Evol.* 14(8), e70178.
<https://doi.org/10.1002/ece3.70178>
282. Toms, C.N., Echevarria, D.J., Jouandot, D.J., 2010. A methods review of personality-related studies in fish: Focus on the shy-bold axis of behavior. *Int. J. Comp. Psychol.* 23, 1–25.
283. Tóth, J., 1960. Kecsege a magyar Dunán. *Halászat* 7(6), 116–117.
284. Udvari, Zs., Pfeifer, A., 2023. Két vágótok a Ráckevei (Soroksári) Dunából. *Halászat* 116(1), 10.
285. Ullah, I., Zuberi, A., Khan, K.U., Ahmad, S., Thörnqvist, P.O., Winberg, S., 2017. Effects of enrichment on the development of behaviour in an endangered fish mahseer (*Tor putitora*). *Appl. Anim. Behav. Sci.* 186, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2016.10.016>
286. 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>

287. Valotaire, C., Borel, F., Leterrier, C., Guilloteau, L. G., Colson, V., 2020. Early chronic hypoxia does not impact rainbow trout behavior later in life. *Aquac. Rep.*, 18, 1004554. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100454>
288. Varga, Z.K., Zsigmond, A., Pejtsik, D., Varga, M., Demeter, K., Mikics, E., Haller, J., Aliczki, M., 2018. The swimming plus-maze test: a novel high-throughput model for assessment of anxiety-related behaviour in larval and juvenile zebrafish (*Danio rerio*). *Sci. Rep.* 8, 16590. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34989-1>.
289. Vedrasco, A., Lobchenko, V., Pirtu, I., Billard, R., 2002. The culture of live food for sturgeon juveniles, a mini review of the Russian literature. *Int. Rev. of Hydrobiol.: A J. Cover. all Asp. Limnol. and Mar. Biol.* 87(5-6), 569–575. [https://doi.org/10.1002/1522-2632\(200211\)87:5/6<569::AID-IROH569>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/1522-2632(200211)87:5/6<569::AID-IROH569>3.0.CO;2-0)
290. Wan-Loy, C., 2004. Live feeds in marine aquaculture. *J. Appl. Phycol.* 16, 77–78. <https://doi.org/10.1023/B:JAPH.0000019141.28971.38>
291. Ware, K.M., Henne, J.P., Hickson, B.H., Charlesworth, K., 2006. Evaluation of six feeding regimens for survival and growth of shortnose sturgeon fry. *N. Am. J. Aquac.* 68(3), 211–216. <https://doi.org/10.1577/A05-003.1>
292. Watanabe, T., Oowa, F., Kitajima, C., Fujita, S., 1978. Nutritional quality of brine shrimp, *Artemia salina*, as a living feed from the viewpoint of essential fatty acids for fish. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 44, 1115–1121. <https://doi.org/10.2331/suisan.44.1115>
293. Weber, E., 1966. Fütterungs- und Wachstumsversuche mit *Acipenser ruthenus*, Sterlet. *Wass. Abwass.* 166, 18–33.
294. Wegner, A., Ostaszewska, T., Kamaszewski, M., 2008. Morphological change in digestive tract of sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) larvae during yolk feeding. In: *Aquaculture Europe 2008*, Sep. 15–18, Krakow (pp. 685–686).

295. Weiperth, A., 2023a. Hazai fajok bemutatás: Vágó tok. p. 75–77. In: Ferincz, Á., Staszny, Á., Dérer, I., Urbányi, B.: Magyar Halkönyv. Magyar Országos Horgász Szövetség, Budapest.
296. Weiperth, A., 2023b. Hazai fajok bemutatás: Kecsege. p. 80–82. In: Ferincz, Á., Staszny, Á., Dérer, I., Urbányi, B.: Magyar Halkönyv. Magyar Országos Horgász Szövetség, Budapest.
297. 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>
298. Williams, T.D., Readman, G.D., Owen, S.F., 2009. Key issues concerning environmental enrichment for laboratory-held fish species. *Lab. Anim.* 43, 107–120. <https://doi.org/10.1258/la.2007.007023>
299. Williot, P., Arlati, G., Chebanov, M., Gulyas, T., Kasimov, R., Kirschbaum, F., Patriche, N., Pavlovskaya, L.P., Poliakova, L., Pourkazemi, M., Kim, Y., Zhuang, P., Zholdasova, I.M., 2002. Status and management of Eurasian sturgeon: an overview. *Intern. Rev. Hydrobiol.: A J. Cover. all Asp. Limnol. and Mar. Biol.* 87(5–6), 483-506. [https://doi.org/10.1002/1522-2632\(200211\)87:5/6<483::AID-IROH483>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/1522-2632(200211)87:5/6<483::AID-IROH483>3.0.CO;2-K)
300. 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.
301. Williot, P., Nonnotte, G., Chebanov, M., 2018. The Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). Vol. 1 -Biology. Springer.
302. Wisenden, B.D., Sailer, C.D., Radenic, S.J., Sutrisno, R., 2011. Maternal inheritance and exploratory-boldness behavioural syndrome in zebrafish. *Behaviour*, 148:1443–1456. <https://doi.org/10.1163/156853911X616530>
303. Wiszniewski, G., Duda, A., Kolman, R., 2010. Wpływ warunków przetrzymywania larw jesiotra ostroosego na ich wzrost i przeżywalność. *Komunik. Rybackie*, 2, 8–10.

304. Wuertz, S., Lutz, I., Loeschau, P., Hogans, B., Kirschbaum, F., Kloas, W., 2006. The influence of rearing density as environmental stressor on cortisol response of Shortnose sturgeon (*Acipenser brevirostrum*). J. Appl. Ichthyol. 22, 269–273. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2007.00966.x>
305. Xiang, L., Mi, X., Dang, Y., Zeng, Y., Jiang, W., Du, H., Twardek, W.M., Cooke, S.J., Bao, J., Duan, M., 2022. Shyer fish are superior swimmers in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*). Front. Mar. Sci., 9, 1040225. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1040225>
306. Yoo, H., Park, J.W., Kwak, I.S., 2024. Ontogenetic variation in *Chironomus flaviplumus* (Diptera, Chironomidae) larvae. J. Species Res., 13(1), 41–49. <https://doi.org/10.12651/JSR.2024.13.1.041>
307. 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>
308. Zaikina, A.I., 1975. Povyshenie produktivnosti prudov osetrovodnykh zavodov (Increasing the Productivity of Sturgeon Breeding Ponds), Pishch. Prom-st.
309. Żarski, D., Kucharczyk, D., Kwiatkowski, M., Targońska, K., Kupren, K., Krejszeff, S., Jamróz, M., Hakuc-Blazowska, A., Kujawa, R., Mamcarz, A., 2008. The effect of stocking density on the growth and survival of larval asp, *Aspius aspius* (L.), and european chub, *Leuciscus cephalus* (L.), during rearing under controlled conditions. Fish. Aquat. Life, 16, 371–381. <https://doi.org/10.2478/s10086-008-0025-1>
310. 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>
311. Zhang, Z., Xu, X., Wang, Y., Zhang, X., 2020. Effects of environmental enrichment on growth performance, aggressive behavior and stress-induced changes in cortisol release and neurogenesis of black rockfish

Sebastes schlegelii. Aquaculture 528, 735483.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735483>

312. Zhao, L., He, K., Luo, J., Sun, J., Liao, L., Tang, X., Liu, Q., Yang, S., 2020. Co-modulation of Liver Genes and Intestinal Microbiome of Largemouth Bass Larvae (*Micropterus salmoides*) During Weaning. Front. in Microbiol., 11, 1332. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01332>
313. Żółtowska, K., Kolman R., Lopienska E. and H. Kolman, 1999. Activity of digestive enzymes in Siberian sturgeon juveniles (*Acipenser baeri* Brandt) - a preliminary study. Arch. Pol. Fish., 7(1), 201–211.