

DOKTORI (Ph.D.) ÉRTEKEZÉS

MOLNÁR ÁRON

DEBRECEN

2023.

DEBRECENI EGYETEM
ÁLLATTENYÉSZTÉSI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:

Dr. Komlósi István

egyetemi tanár
az MTA doktora

Témavezető:

Dr. Fehér Milán Ph.D.
Tudományos munkatárs

**A SÜGÉR (*PERCA FLUVIATILIS*) INTENZÍV TARTÁS-, ÉS
TAKARMÁNYOZÁSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE**

Készítette:

Molnár Áron
Doktorjelölt

Debrecen

2023.

A SÜGÉR (*PERCA FLUVIATILIS*) INTENZÍV TARTÁS-, ÉS TAKARMÁNYOZÁSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében az állattenyésztési tudományok tudományágban

Írta: **MOLNÁR ÁRON** okleveles hidrobiológus

Készült a Debreceni Egyetem Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola (Takarmányozás, halbiológia programja) keretében

Témavezető: Dr. Fehér Milán Ph.D.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
.....
.....

A bírálóbizottság:

név	fokozat	aláírás
elnök:
tagok:
.....
titkár:
.....

Az értekezés védésének időpontja: 2023.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	5
1.1. Célkitűzések	8
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1. A sügér (<i>Perca fluviatilis</i>)	11
2.1.1. A sügérfélék (Percidae) gazdasági jelentősége	11
2.1.2. A sügér gazdasági jelentősége	12
2.1.3. A sügér jellemzése	13
2.1.4. A sügér biológiája	15
2.1.5. A sügér nevelése intenzív rendszerben	15
2.1.6. A tartástechnológia és a halak antioxidáns paraméterei közötti kapcsolat	21
2.2 Alternatív fehérjeforrások a takarmányozásban.....	24
2.2.1. A halliszt kiváltásának lehetőségei	24
2.2.2. Az állati takarmányozásban felhasználható rovarok.....	24
2.2.3. A rovarfehérje felhasználása, beilleszthetősége a haltakarmányozásba ...	25
2.3. Közönséges lisztbogár (<i>Tenebrio molitor</i>).....	27
2.3.1. A közönséges lisztbogár jellemzése.....	27
2.3.2. A közönséges lisztbogár lárva tartástechnológiája	29
2.3.3. Lisztbogár lárvával kapcsolatos haltakarmányozási vizsgálatok.....	30
2.4. Esszenciális nyomelemek szerepe az akvakultúrában	34
2.4.1. A nyomelemek jelentősége az akvakultúrában.....	34
2.4.2. A kobalt.....	34
2.4.3. A mangán	35
2.4.4. A kobalt és mangán szerepe a haltakarmányozásban	35
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	38
3.1. Sügér tartástechnológiai kísérletek	38
3.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire	38
3.1.2. Különböző fényviszonyok hatása a termelési paraméterekre	43
3.2. Sügér takarmányozási kísérletek.....	47
3.2.1. Az etetési gyakoriság hatása a termelési paraméterekre	47
3.2.2. A lisztbogár lárva beillesztése a sügér takarmányozásába.....	49
3.2.3. A lisztbogár lárva nyomelem dúsítása	52
3.2.4. A sügér kobalt és mangán felvétele a dúsított lisztbogár lárvával történő etetés eredményeként	57
4. EREDMÉNYEK	65

4.1. Sügér tartástechnológiai kísérletek	65
4.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire	65
4.1.2. Különböző fényviszonyok hatása a termelési paraméterekre	71
4.2. Sügér takarmányozási kísérletek	74
4.2.1. Az etetési gyakoriság hatása a termelési paraméterekre	74
4.2.2. A lisztbogár lárva beillesztése a sügér takarmányozásába.....	76
4.2.3. A lisztbogár lárva nyomelem dúsítása	79
4.2.4. A sügér kobalt és mangán felvétele a dúsított lisztbogár lárvával történő etetés eredményeként	82
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	92
5. 1. Sügér tartástechnológiai kísérletek	92
5.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire	92
5.1.2. Különböző fényviszonyok hatása a termelési paraméterekre	92
5.2. Sügér takarmányozási kísérletek.....	93
5.3. A lisztbogár lárva nyomelem dúsítása	94
5.4. A sügér kobalt és mangán felvétele a dúsított lisztbogár lárvával történő etetés eredményeként	95
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	96
7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK	98
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	100
9. SUMMARY	102
10. IRODALOMJEGYZÉK	104
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN.....	126
12. NYILATKOZATOK	129
13. MELLÉKLETEK	130

1. BEVEZETÉS

A világon az egyre dinamikusabban növekvő népességnek köszönhetően globális fehérjehiány tapasztalható (KIM et al., 2019; DE SOUZA-VILELA et al., 2019). A hal az emberiség egyik legfontosabb fehérjeforrása, amely a világ lakossága által elfogyasztott állati fehérje mintegy 16%-át adja. A halhús iránti igény a népesség növekedésével párhuzamosan fokozódik, ami csak a termelés intenzifikálásával fedezhető, a halászat ugyanis már nem képes fedezni a megnövekedett szükségleteket (TIDWELL ÉS ALLAN, 2001).

Az Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Világszervezet (FAO) adatai alapján a világ halászati és akvakultúra termelése 2021-ban elérte a 177,8 millió tonnát. A globális haltermelésből Európa részesedése csekélynek mondható, az Európai Unió akvakultúra-termelése 1,1 millió tonnát tett ki 2021-ban, amelynek csak kisebb része származik édesvízi termelésből (22%). Az édesvízi halelőállítás volumenét tekintve Magyarország a hetedik helyet foglalja el 18 ezer megtermelt tonnával, amely mintegy 6 százalékát teszi ki az EU édesvízi haltermelésének. Az EU-ban az édesvízi halak közül második legnagyobb volumenben előállított halfaj a ponty, amely a hazai haltermelésben is meghatározó szerepet tölt be

A magyarországi akvakultúrára napjainkban is az extenzív tógazdasági termelés jellemző, ugyanakkor az intenzív haltermelő rendszerek szerepe hazánk haltermékkel történő ellátásában egyre inkább emelkedni fog. A recirkulációs halnevelő rendszerek lehetővé teszik a precíziós haltermelést, minimális vízfelhasználás mellett. Magyarországon tógazdasági és intenzív üzemű haltermelésben 2021-ban mindösszesen 26 856 tonna hal került előállításra, amelyből a tógazdaságokban 21 184 tonnát, míg az intenzív rendszerekben 5672 tonna halat termeltek. Az utóbbi években ugyanakkor az intenzív technológiákban előállított étkezési hal mennyisége dinamikusan növekszik.

A magyarországi tógazdasági haltermelés faji megoszlását tekintve mintegy 83 százalékban pontyot, 7 százalékban busát, 3 százalékban amúrt és mindössze 2 százalékban ragadozó halakat állítanak elő, tehát a termelésünk egyértelműen ponty centrikusnak mondható. A hazai intenzív haltermelés legfontosabb faja az afrikai harcsa, a közel 4000 tonnás éves termelésünk az EU piacának több, mint egyharmadát adja. Ahogy az adatok mutatják, hogy a megtermelt ragadozó halfajok (harcsa, süllő, csuka, sügér) mennyisége a tógazdasági és az intenzív haltermelésben egyaránt elenyésző (MAHAL, 2022).

Magyarországon az egy főre jutó halfogyasztás 2021-ben mindössze 6,52 kilogramm volt, ez a mutató világviszonylatban rendkívül alacsonynak mondható (MA-HAL, 2022). A magyar társadalom általános egészségi állapotának javítása érdekében elengedhetetlen a halfogyasztás népszerűsítése és növelése, amely nem képzelhető el a fogyasztók számára új, jobb gasztronómiai élményekkel kecsegtető halfajok bevonása nélkül, amely egyúttal a halászati ágazatot is pozitívan érintheti. Főként ennek köszönhetően, az elmúlt évtizedekben a hazai haltermelők és kutatók számos külföldről származó halfaj termelési technológiáját igyekeztek bevezetni és meghonosítani, mint a sügérfélékhez tartozó hibrid csíkos sügér (*Morone saxatilis x M. chrysops*), pisztrángsügér (*Micropterus salmoides*) vagy a barramundi (*Lates calcarifer*) (FELEDI et al., 2009; FEHÉR, 2014; SZENTGYÖRGYVÖLGYI et al., 2014).

A sügér őshonos ragadozó halfajunk, amely egyre jelentősebb szerepet tölt be az akvakultúrás termelésben (JENTOFT et al., 2002). Kiváló húsminőségének köszönhetően igen keresett az európai piacon (POLICAR et al., 2019), megfelelő tartási és takarmányozási technológia kidolgozása esetén hazánkban is komoly piaci potenciál rejlik nagyobb volumenű, intenzív termelésében. Európában jelenleg Svájc, Oroszország, Franciaország, Lengyelország, Írország, Belgium és Dánia a legfontosabb akvakultúrás termelők. A sügér kifogott mennyisége 2021-ben elérte a 31 000 tonnát, ezzel szemben az akvakultúrás termelés alig érte el a 904 tonnát. Kijelenthető ugyanakkor, hogy a halfaj akvakultúrás termelés az elmúlt 5 évben így is több, mint kétszeresére nőtt (FAO, 2023). A növekvő kereslet kielégítése érdekében a sügér akvakultúrás termelésének volumenét tovább szükséges növelni, amely kizárólag recirkulációs rendszerekben valósítható meg. Intenzív körülmények között azonban a termelés hatékonyságának növelése érdekében elengedhetetlen a tartási és takarmányozási technológia optimalizálása.

A sügér termelésének egyik szűk keresztmetszetét nagyfokú stressz érzékenysége adja, amely kihat a termelési paraméterekre is. A halak stressz állapotát bizonyítottan befolyásolja többek között a medence színe, illetve a fényerősség, amely a víz átlátszóságára is kihat. Emellett kiemelt figyelmet kell fordítani a megfelelő víz hőmérsékletre, oldott oxigén és sótartalomra, a vízkémiai paraméterekre, a zavarás mértékének minimalizálására, illetve a kannibalizmus elkerülése érdekében a megfelelő telepítési sűrűségre (POLICAR et al., 2015).

Az optimális tartástechnológia kialakítása mellett az intenzív rendszerekben történő haltermelés hatékonyságát és gazdaságosságát alapvetően határozza meg a takarmányozás. A fontosságát jól mutatja, hogy a termelési költségek több, mint 50%-át

is kiteheti. A különböző halfajok részére összeállított, teljes értékű takarmányok legfontosabb eleme a halliszt, amely napjainkban egyre korlátozottabban áll rendelkezésre, köszönhetően az utóbbi évtizedek jelentős, tengereket érintő túlhalászatának (TACON, 2004; ARRU et al., 2019). A sügér ragadozó halfajként jelentős arányban igényli a magas fehérje tartalmú takarmányt, főként ivadék korban, amit kizárólag a halliszt fokozott felhasználása tesz lehetővé.

A haltakarmányokban felhasznált halliszt kiváltása, illetve részarányának csökkentése a 21. század egyik legnagyobb kihívása, alkalmazásának korlátai megkövetelik a különböző alternatív fehérjeforrások bevezetését a takarmányozásban (SHAFIQUE et al., 2021). Ezek vonatkozásában a közeljövőben kiemelt szerep juthat a különböző ízeltlábúakból, rovarokból, illetve az azok lárváiból származó fehérjéknek, amelyekből napjainkban mintegy 400 ezer tonnát termelnek világszerte (FAO, 2021). Bár a rovarfehérje meghatározó hányada Kínában kerül előállításra, az utóbbi években az európai termelés is folyamatosan bővül. A globális rovarfehérje-piac mérete 2027-re várhatóan eléri a 943,3 millió dollárt (INTERNET 1). A rovarfehérje környezetbarát módon, minimális környezeti termelés és kis helyigény mellett előállítható (GRAU et al., 2017). A rovar alapú haltakarmányozással kapcsolatban számos kutatási eredmény áll rendelkezésre, bizonyítva ezzel a téma fontosságát a fenntartható, környezetbarát haltermelés vonatkozásában (NOGALES-MÉRIDA et al., 2019; RUMBOS et al., 2021). A közönséges lisztbogár lárvája az Európai Unióban, napjainkban, mint élelmiszer is forgalomba hozható, úttörő módon elsőként kapott egy rovarfaj étkezési céllal uniós engedélyt (EU; 2022/169). A magyarországi klimatikus viszonyok mellett kiválóan tenyészhető, emellett biológiai értéke kimagasló, magas fehérje és alacsony zsírtartalommal, kedvező omega-3 - omega-6 aránnyal rendelkezik, valamint a halliszthez hasonló aminosav profillal bír (NOGALES-MÉRIDA et al., 2019). A lisztbogár lárvája kedvező összetételének köszönhetően alkalmas lehet a halak takarmányozására is, ennek következményeként számos haltakarmányozási kutatásban vizsgálták a felhasználási lehetőségeit, az eredmények pedig alátámasztották, hogy a sügér mellett (TRAN et al., 2021) más halfajjal is kedvező eredmények érhetőek el (SANKIAN et al., 2018; IDO et al., 2019; MOTTE et al., 2019).

1.1. Célkitűzések

A doktori kutatás átfogó célja az őshonos, ugyanakkor az intenzív halnevelésben egyelőre újnak tekinthető halfajunk, a sügér termelésbe vonásának és piaci bevezetésének támogatása, tudományos megalapozása.

A kutatás az intenzív haltermelés két fő pillérének fejlesztésére irányult, az optimális tartástechnológia, illetve a megfelelő takarmányozási protokoll kialakítására. Irodalmi adatokból jól ismert a halfaj nagyfokú stressz érzékenysége, ezért a beállított tartástechnológia kísérletek során a halakat ért stressz hatások minimalizálására törekedtem. A stresszhatások között a medence szín és a fényviszonyok (víz átlátszósága) jelentős szerepet játszanak, amelyeket számos szakirodalmi forrás is megerősít (TAMAZOUZT et al., 2000; STRAND et al., 2007a).

A doktori kutatás másik fő irányvonala, a sügér takarmányozási technológiájának fejlesztése, az alternatív fehérje forrásnak számító közönséges lisztbogár lárva beillesztésével. Ennek érdekében kidolgozásra került egy fenntartható rovar termelési technológia, illetve egy hatékony dúsítási protokoll, amely lehetővé teszi a rovarlárva halak számára esszenciális nyomelemekkel történő gazdagítását. A halak számára 13 makro és mikro elem esszenciális, szerepük változatos, különböző testszövetek alkotó részei, több élettani folyamatban is részt vesznek, enzimek kofaktorai és aktivátorai (DAVIS és GATLIN, 1996). A kobalt és a mangán a halak számára két rendkívül fontos nyomelem egészen lárvakortól kezdve (WATANABE et al., 1997; FEHÉR et al., 2013). A lisztbogár lárva előállítás optimalizálását követően megtörtént a nyomelemekkel történő dúsítási protokoll kidolgozása, majd a lárvákat élő formában illesztettem be a sügér takarmányozási technológiájába.

A kutatómunka kísérleti fázisának a megkezdése előtt az alábbi részcélokat határoztuk meg:

1. A közönséges lisztbogár lárva kedvező élettani hatású nyomelemekkel történő dúsítási technológiájának kidolgozása:

A kutatás során céлом volt egy egyszerű és gyors, ugyanakkor hatékony nyomelemdúsítási protokoll kialakítása, melynek eredményeként a haltakarmányként szolgáló lisztbogár lárva a kobalt és mangán, illetve ezek kombinációja mellett különböző bioaktív anyagokkal kiegészíthető.

- A hatékony nyomelem (kobalt, mangán, kobalt-mangán) dúsítási technológia kidolgozása, az elemfelvétel igazolása.

- A lárvák nyomelemfelvételének időbeli optimalizálása, az akkumulációhoz szükséges napok meghatározása az 1-7., valamint a 7-14. nap között.

Hipotézis 1.

A hipotézisem szerint az élő lisztbogár lárva hatékonyan képes akkumulálni a kobalt- és mangán kloridot, mint halak számára esszenciális nyomelemeket a szubsztrátumként szolgáló búzadaráról oldat formájában.

2. A sügér intenzív tartástechnológiájának fejlesztése:

A vizsgálatok során célom volt az intenzív tartási technológia optimalizálása, amelynek eredményeként a halakat érő stresszhatások minimalizálhatók, az állományok növekedése, megmaradása és egyöntetűsége javítható. A kísérletek az alábbi tartástechnológiai tényezőkre terjedtek ki:

- A medence színének optimalizálása, amely során a termelési paraméterek vizsgálata mellett a halak antioxidáns rendszerének mutatóit is meghatároztam. A vizsgálat célja az volt, hogy értékeljem a különböző medenceszínek (szürke; fekete aljú és szürke oldalfalak; szürke aljú és fekete oldalfalak) kombinációinak hatását a sügér termelési és antioxidáns paramétereire.

Hipotézis 2.1

A hipotézisem szerint a sügér természetes élőhelye a növényekkel benőtt, parti régió, ahol az aljzat is sötét színű, így a fekete aljú medencékben feltehetően kedvezőbb termelési paramétereket és visszafogott stressz reakciót produkálnak a halak.

- A megvilágításnak és a víz átlátszóságának a sügér termelési paramétereire gyakorolt, együttes hatásának vizsgálata.

Hipotézis 2.2

Hipotézünk szerint a sügér a természetes élőhelyéhez hasonlóan a mérsékelt fényintenzitást és az enyhe turbiditást preferálja, ami a litorális régió fő jellemzője, így feltehetően a fentebb említett 2 tényező együttes hatása kedvező hatást gyakorol a halak táplálkozási intenzitására és a termelési paraméterekre.

3. A sügér takarmányozási protokolljának fejlesztése:

- Számos kutatási eredmény született az etetési gyakoriság hatásáról a haltakarmányozásban (JOBLING, 1982; SUNDARARAJ et al., 1982; LEE et al., 2000), ám az eredmények igen ellentmondásosak és fajspecifikusak. A

takarmányozási vizsgálatok első lépéseként ezért célom volt az optimális takarmányozási intenzitás meghatározása, amely alapvetően kihat a halak termelési paramétereire. A kísérletem során megvizsgáltam, hogy az azonos takarmánymennyiség különböző arányban és napszakokban való kietetése hogyan befolyásolja a halak termelési paramétereit

Hipotézis 3.1

Megfigyeléseink alapján a sügér a hajnali és esti takarmányfelvételt részesíti előnyben, így hipotézisem szerint a napi két időpontban etetett halak fognak kedvezőbb termelési paramétereket produkálni.

- A következő fázisban arra kerestem a választ, hogy milyen arányban illeszthető be az élő lárva a sügér takarmányozásába, az alapvető termelési paraméterek romlása nélkül. A kísérletemben, amely során a halak napi takarmányadagja különböző arányban (25-50-75%) tartalmazott rovarlárvét, megvizsgáltam a mesterséges takarmány élő lisztbogár lárvával történő kiváltásának lehetőségét.

Hipotézis 3.2

A sügér természetes táplálékának akár 50%-át is képezhetik különböző rovarok (MÉZES et al., 2022), így hipotézisünk szerint az élő lisztbogár lárva mesterséges környezetben is beilleszthető a takarmányozási protokollba.

- A kísérlet sorozat utolsó szakaszában arra kerestem a választ, hogy a nyomelemekkel dúsított, élő lisztbogár lárva hogyan hat a sügér növekedésre, illetve célul tűzttem ki a rovarlárvában akkumulált nyomelemek halak által történő felvételének vizsgálatát. A kísérlet során vizsgáltam a nyomelemekkel dúsított élő lisztbogár lárva hatását a sügér termelési paramétereire, valamint a haltest és a hátizom szövet mikro- és makroelem tartalmára gyakorolt hatásait.

Hipotézis 3.3

Hipotézisem szerint a lisztbogár lárva hatékonyan felveszi a nyomelemeket a szubsztrátumról, majd a sügér közvetett úton akkumulálja azokat az élő rovarok elfogyasztása által. Feltételezésem szerint a kobalt és a mangán nem csak a halak különböző szerveiben jelenik meg, hanem az emberi fogyasztás miatt kiemelt jelentőséggel bíró halhúsban is.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A sügér (*Perca fluviatilis*)

2.1.1. A sügérfélék (Percidae) gazdasági jelentősége

A sügérfélék (Percidae) körülbelül 266-275 fajt számláló, édes és brakk vízben egyaránt előforduló, elsősorban ragadozó életmódú család (STEPIEN, et al., 2015). A sügérfélék gazdaságilag és ökológiailag egyaránt igen fontos fajok, főként a Föld északi féltekéjén elterjedtek, de világszerte gyakori az előfordulásuk (FEINER és HÖÖK, 2015). A sügérfélék halászati fogásokból származó mennyiségével kapcsolatos adatok érhetőek el már az 1950-es évektől kezdődően, ugyanakkor az akvakultúrák termelés csak az 1970-es évek közepétől indult. Napjainkban az akvakultúrában jelentős szerepet töltenek be kiváló húsminőségüknek köszönhetően. Ennek eredményeként a halászsákmányból származó és az intenzív körülmények között megtermelt mennyiség egyaránt növekvő tendenciát mutat (FAO, 2023). A globális termelés szempontjából jelentős fajok közé sorolható a nílusi tilápia (*Oreochromis niloticus*), a nílusi sügér (*Lates niloticus*), a hibrid csíkos sügér (*Morone saxatilis* x *M. chrysops*) és a barramundi (*Lates calcarifer*). A nílusi tilápia az egyik legnagyobb volumenben termelt sügérféle. A barramundiról, valamint a hibrid csíkos sügerről egyaránt elmondható, hogy kiváló húsminőség jellemző rájuk, felvevő piacnak elsősorban a gazdag, nyugati országok számítanak. A nílusi sügér főként Afrika trópusi övezeteiben elterjedt, szintén kiváló húsminőség jellemző rá.

Hazai viszonylatban a sügér és a fogassüllő (*Zander lucioperca*) a két legfontosabb sügérféle, mindkét fajra kiváló húsminőség jellemző. A sügér halászsákmányból származó mennyisége Nyugat-Európában (Alpok) igen jelentős, de Kelet- és Észak-Európában is számottevő a fogások volumene (**1. ábra**). Számos ebbe a családba tartozó faj termelésbe vonása kap egyre nagyobb figyelmet hazai körülmények között is, ennek köszönhetően egyre több sügérfélével kapcsolatos kutatás áll rendelkezésre (FELEDI et al., 2009; BOKOR et al., 2014; BOKOR et al., 2016; DEMETER, 2019).

A sügér intenzív rendszerben való termelése a kutatási eredményeknek köszönhetően már elkezdődött hazánkban, tógazdasági körülmények között tudatos termelésről azonban nem beszélhetünk, a halastavi rendszerekben, mint mellékhal van csupán jelen.

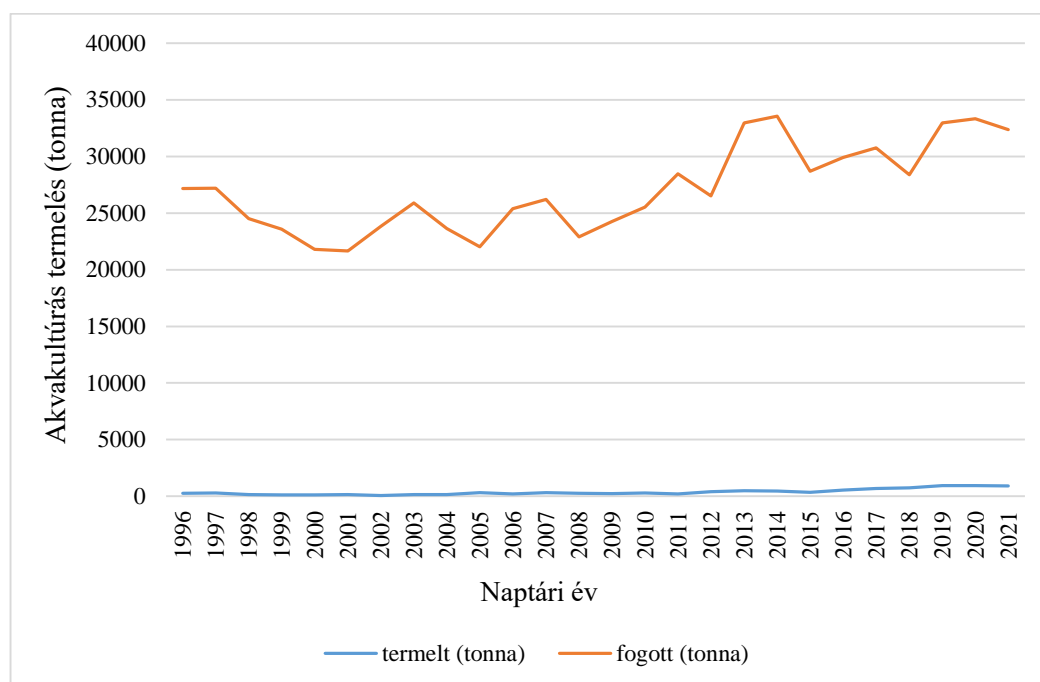
A fogassüllő globális akvakultúrák termelése növekvő tendenciát mutat, ugyanis a 2021-es évben elérte a 1992 tonnát, mely meghaladja a 2018-as évben termelt mennyiséget (1667 tonna). A sügérhez hasonlóan globális szinten a fogassüllő lehalászott mennyisége jelentősen meghaladja az akvakultúrák termelést, a 2021-es évben a halászsákmány

meghaladta a 22 ezer tonnát (FAO, 2023). A fogassüllő termelése kapcsán világviszonylatban mindenképp fontos termelőnek tekinthető Kazahsztán.

Hazai viszonylatban a fogassüllő intenzív termelése jelenleg kísérleti fázisban tart, azonban egyre nagyobb fejlődést mutat a kedvező kutatási eredményeknek köszönhetően (VARJU-KATONA, M. 2018; KUCSKA et al., 2022; LJUBOBRATOVIĆ et al., 2022). A termelésével kapcsolatos kutatások inkább tógazdaságokra terjednek ki, de egyelőre a sügérhez hasonlóan ott is mellékalként jelenik meg. Magyarország 2021-es fogassüllő tógazdasági termelése elérte a 25 tonnát (MA-HAL, 2022).

2.1.2. A sügér gazdasági jelentősége

A sügér húsa kiváló ízű és minőségű, a halfaj iránti a piaci kereslet intenzíven nő. A sügér termelés a FAO adatai szerint az 1984-es évre nyúlik vissza, a nagyobb volumenű termelés azonban 1996-ban indult meg (DEMETER, 2019). A világ sügér termelésének jelentős része halászsákmányból származik, 2021-ben eltérte a 31 ezer tonnát, míg a termelt mennyiség igen csekély ehhez viszonyítva a 904 tonnás mutatóval (**1. ábra**).

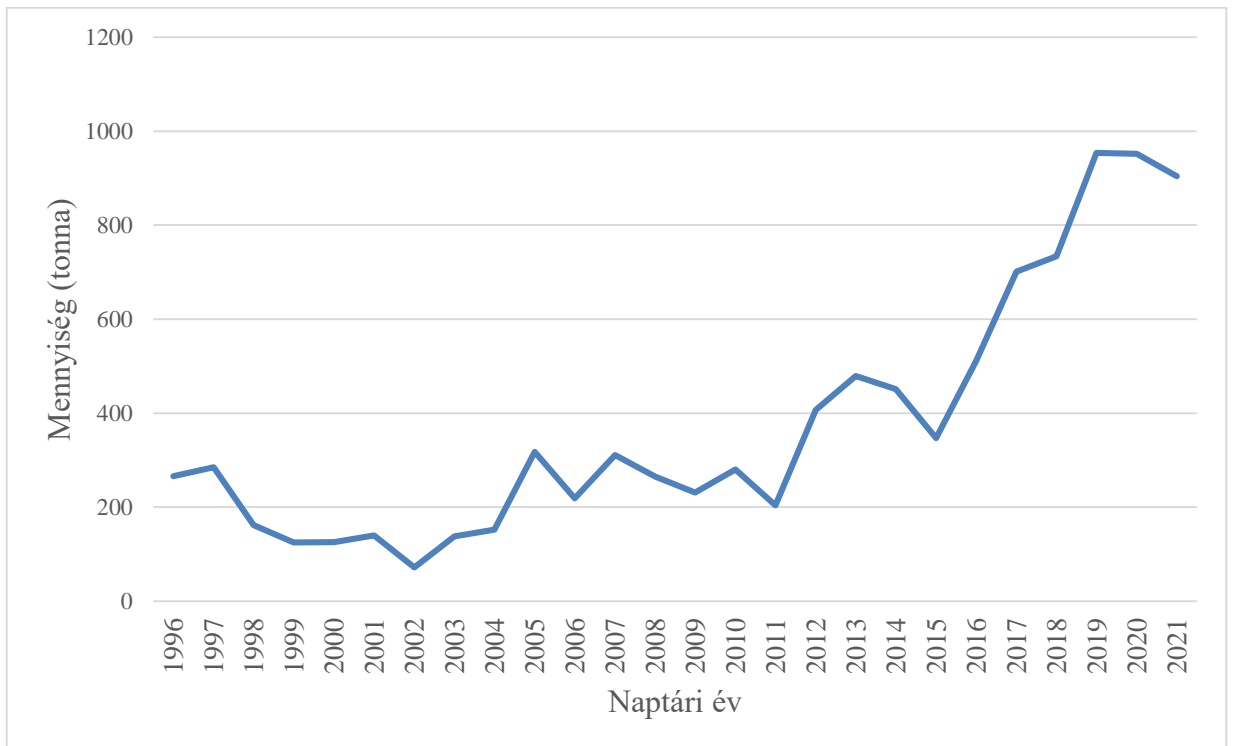


1. ábra: Az akvakultúrában termelt és halászsákmányból származó sügér mennyisége világviszonylatban

forrás: FAO, 2023

A globális akvakultúrák termelése folyamatosan nő (**2. ábra**). A magyarországi sügér termelést tekintve egészen a 2016-os természetes vizek kereskedelmi célú halászati tevékenységének betiltásáig csupán minimális halászsákmányról beszélhettünk (6

tonna), míg akvakultúrás termelésről egyáltalán nem (FAO, 2023). Az elmúlt években a legfontosabb sügértermelő országok közé sorolható Svájc: 468 tonna, Oroszország: 360 tonna, Franciaország: 61 tonna, Kazahsztán: 48 tonna.



2. ábra: A globális akvakultúrában termelt sügér mennyisége

2.1.3. A sügér jellemzése

A halfaj elnevezését illetően számos változat létezik hazánkban, mint a csapósügér, szolgabíró, dóber, fésűshal, körmöshal, paris, réti durbincs, sigér, parcs, singér, süger, sügre, díbbancs. Ezek közül a leggyakrabban használt forma a sügér és a csapósügér elnevezés. Bár a szakmai és köznyelvben egyránt több változat fordul elő, a magyar helyesírás szabályai alátámasztják, hogy a sügér- sügért- sügerek forma a helyes (BOKOR et al., 2022).

A sügér a sugarasúszójú halak (Actinopterygii) osztályába, a sügéralakúak (Perciformes) rendjébe és a sügérfélék (Percidae) családjába tartozó faj. Teste aránylag magas, oldalról lapos (**3. ábra**), színezete zöldes, sárgás, pikkelyei kicsik és erősek. Szájában elől tüskék, hátul fogak vannak, a süllőtől eltérően azonban a sügérnek ebfogai nincsenek. Hátúszója tüskés és nag, az oldalán 5-9 sötét sáv található. Úszói lekerekítettek (PINTÉR, 2002). Egész Európa szerte gyakori faj, édesvizeinkben gyakran megtalálható, különösen az alpesi területeken igen nagyra értékelt és gyakran fogyasztott (FONTAINE, 2004). A

sügér tágtúrású (euryök) halfaj, szinte minden víztípusban megtalálható. A sós vizet is tolerálja 10-15%-ig (LUTZ et al., 1972), a gyors folyású hegyi patakok kivételével, minden folyó és állóvízben megtalálható. A csendes folyású, 1-2 méter mély vízinövényekkel vagy búvóhelyekkel rendelkező medersztyonyokat kedveli (PINTÉR, 2002). A legkedvezőbb élőhelyek számára a hűvös mérsékelt égöv nagyméretű tavai, itt a hazai viszonyokhoz képest nagyobb méretűre nő meg. Hőmérsékleti optimuma a 20 °C és 31 °C közötti skálán mozog. Mozgásaktivitásukra a hőmérséklet mellett a megvilágítás van a leginkább befolyással. Magas hőmérséklet és fényintenzitás mellett mutatnak a legnagyobb aktivitást, kivéve a nyár folyamán, ahol az éjszaka is igen aktív. A légnyomás és az erős légmozgás szintén befolyással van az aktivitására, ha nem is olyan mértékben, mint a fentebb felsorolt tényezők. Leginkább part menti vizekben fordul elő, ami főleg a tavaszi szaporodása miatt kiemelt jelentőségű, de a nyílt vízben is előszeretettel tartózkodik. A legtöbb víztípusban könnyedén megtelepedik, majd önnfetartó állományt hoz létre, valamint a „top-down” szabályozásra is hatással van, ezáltal az algavirágzás kialakulását is befolyásolja. Az élőhelyre korábban jellemző halfaunára így negatív hatást gyakorolhat, ha ott korábban nem volt jelen nagy mennyiségben, mint őshonos ragadozó halfaj. Monokultúrás állomány is jellemezheti, ilyenkor a kannibalizmus jelensége figyelhető meg (FERINCZ et al., 2022).

Alapvetően napjainkban is extenzív módszerrel, kisebb-nagyobb tavakban, víztározókban tenyésztik, emberi fogyasztásra és sporthorgászat céljára egyaránt (KESTEMONT et al., 2009, GILLET et al., 2013). Húsa kiváló ízű és minőségű, ezáltal a piaci kereslet is egyre intenzívebben nő iránta, emiatt pedig egyre fontosabb teret tölthet be az akvakultúrában.



3.ábra: A sügér (*Perca fluviatilis*)

forrás: <https://hirek.unideb.hu/suger-az-egyetemtol>

fotós: Bódi Sándor

2.1.4. A sügér biológiája

Táplálkozását tekintve a sügér ragadozó halfaj, a kisebb méretű egyedek fenéklakó szervezetekkel, apró gerinctelenekkel táplálkoznak elsősorban, a nagyobb példányok már élő, kisméretű halakat is zsákmányolnak (GRIFFITHS, 1976; ORBAN et al., 2007).

Ha az említett táplálék forrásokat fel szeretnénk osztani, egy kutatás eredményei alapján az a következőképpen írható le: halak 30%, rovarok 50%, rákok 10%, végül a daphnia 10%-ot tesz ki (MÉZES, 2022).

Három éves korban válik ivaréretté, áprilisban szaporodik. Ívóhelyét tekintve a növényekkel gazdagon benőtt sekély vizek ideálisak a számára. A sügér külső megtermékenyítésű, cisztovárium és szinkron petefészkek csoportba sorolható (MÜLLER, 2022). A nőtények által lerakott ikraszemek egymáshoz tapadnak, úgynevezett „szalagos ikrát” termelnek, amely növényeken vagy köveken megtapad. Az ikraszemek 1,7 – 2,5 mm átmérőjűek, ikrás halanként általában 10-20 ezer darabbal számolhatunk. A füzérformára összeállt ikraszemeket egy kocsonyás burok borítja, aminek a funkciója az ikrafüzér lebegtetése, másrészt védi azokat a baktériumoktól és gombáktól (PINTÉR, 2002; MÜLLER, 2022).

2.1.5. A sügér nevelése intenzív rendszerben

A sügér termelés mellett a legfontosabb érv a kiváló húsminőség, ugyanakkor rendkívül lassú növekedés jellemző a fajra (MÉLARD et al., 1996; STEJSKAL et al., 2020). Az optimális környezeti feltételek (vízhőmérséklet és oxigénszint, vízminőség, fényviszonyok) mellett azonban a természetes vízi állományokhoz képest gyorsabb növekedés érhető el intenzív körülmények között. A fajra jellemző piaci méretet (120-140 g) körülbelül egy év alatt elérheti (MÉLARD et al., 1996). Az optimális hőmérséklet, fényintenzitás és oxigéntelítettség 22-24°C, 200-1.100 lux, illetve 60-72%. Az ammónia- és nitrit koncentrációnak 0,3 mg N-NH₃/L és 0,5 mg N-NO₂/L alatt kell lennie (POLICAR et al., 2015).

A sügér érzékeny halfaj, amely különböző környezeti tényezőkre stresszreakciókkal reagál, amelyek minden termelői közegben befolyásolják a termelési paramétereket (JENTOFT et al., 2005; TRAN et al., 2021).

Az intenzív recirkulációs halnevelő rendszerek (RAS) optimális feltételeket biztosítanak a sügér gyors növekedéshez és kedvezőbb megmaradásához, a rövidebb termelési ciklushoz és az egész évre kiszámítható termeléshez, valamint az állományokat ért stressz hatások és a fajra jellemző kannibalizmus csökkentéséhez. A kedvező termelési mutatók

elérése és az alacsonyabb termelési költségek biztosítása érdekében több tartástechnológiai és környezeti tényezőt szükséges optimalizálni POLICAR és et al. (2015) összefoglalása alapján:

- a medencék színe,
- a fényviszonyok, fényintenzitás,
- a víz hőmérséklete,
- az oldott oxigén koncentráció,
- az ammónia és a nitrit koncentráció,
- a zavarás mértéke,
- az állomány homogenitása (méret szerinti válogatás) és
- a népesítési sűrűség és a biomassa mennyiség.

Medenceszín/fényviszonyok:

A halnevelő medencék falának színe és a fényintenzitás közötti kölcsönhatás sajátos fényviszonyokat hoz létre a termelő egységekben, amely jelentősen befolyásolja a takarmány észlelését, amely kihat a termelési paraméterek alakulására. Tapasztalataink szerint a fiatal korosztályok esetében a hal nem érzékeny az erős megvilágításra, az utónevelés során azonban kerüli az erős fényt és a takarmányfelvétel visszaesik.

Néhány kutatócsoport az optimális tartástechnológia kialakítása érdekében olyan kísérleteket végzett el, ahol a fény intenzitására és a medence színre koncentráltak, amelyek a feltételezések szerint összefüggésben vannak a halak megmaradásával és termelési paramétereivel (STRAND et al., 2007a, TAMAZOUZT et al., 2000).

TAMAZOUZT et al., (2000) által végzett kísérletben különböző színű (fekete, sötét szürke, világos szürke, fehér) medencékben vizsgálták a sügér lárva növekedését és túlélését, emellett a kezeléseken belül az egy színre jutó 3 medencében eltérő erősségű fényintenzitást használtak (250, 400, 800 lux). Összesen 12 medencét alkalmaztak a kísérlet során, és a kezeléseken belül az egy színre jutó 3 medencében eltérő megvilágítást alakítottak ki. A halakat a kikelésük után 15 napig vizsgálták.

A kísérletük végén az eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a halak a legkedvezőbb mutatókat testtömeg és testhossz tekintetében a világosszürke és fehér színű medencében érték el, erős megvilágítás mellett. A legkedvezőtlenebb mutatókat a fekete falú, 250 lux erősségű megvilágítással ellátott medencékben tapasztalták. A kísérlet végén a túlélési arány 1% és 26% között alakult.

A szerzők a tanulmányukban rávilágítanak arra, hogy a fény intenzitás hatása igen komplex, ugyanis míg a legmagasabb túlélési rátát 250 lux fényerősségnél mérték, a teljes testhossznövekedésnél a legjobb mutatók 800 lux fényerősségnél voltak. A fényintenzitás hatása a halak korától és fajtától egyaránt függ a szerzők szerint. Kiemelik, hogy a kísérletük esetében a fényintenzitásnak nem volt akkora jelentősége, mint a medence színének. A szerzők a sügérlárva neveléshez világos színű medencéket javasolnak.

Víz hőmérséklet:

A sügér termofil halfaj, gyors növekedéshez az optimális hőmérséklet 22 és 24°C között van. Intenzív rendszerben ebben a hőmérsékleti tartományban a piaci méretet (130–150 gramm) körülbelül 14 hónap alatt éri el, beleértve a lárvanevelési periódust is. A növekedési ütem esetében 3–300 g között testtömeeggel rendelkező halak napi maximális növekedési sebességét állandó 23°C-on figyelték meg (CRAIG, 2000). Ez a magas hőmérséklet gátolta a nemi érést az ikrásokban, amely kedvezően befolyásolta a testtömeggyarapodást. A hímek ugyanezen hőmérsékleti viszonyok között normális ivarmirigy-fejlődést mutattak. Magasabb (27°C) vagy alacsonyabb hőmérsékleten (11–20°C) történő nevelés csökkenti a növekedési ütemet (CHRISTENSEN et al., 2020).

Vízminőség (oldott oxigén, sótartalom és ammónia koncentráció):

A kedvezőtlen vízminőség közvetlenül befolyásolja a sügér fiziológiai állapotát, illetve közvetve negatív hatással van a takarmányfelvételre és a növekedésre. Az oldott oxigén telítettséget minimum 5 mg/l (60% telítettség) felett szükséges tartani, a magasabb oxigén telítettség ugyanakkor nem növeli szignifikánsan a növekedési ütemet. A fiatalabb korosztályok számára az optimális oxigén-tartalom magasabb, 6 mg/l (68–72% oxigén-telítettség) az intenzív recirkulációs halnevelő rendszerben történő nevelés során, 20–23°C közötti hőmérsékleten. Az 5 mg/l alatti oxigénszint jelentős stresszt okozhat, amely hosszabb távon mortalitáshoz vezethet. A sügér elhullása főleg akkor válik tömegessé, ha az oxigénhiányt intenzív etetéssel kombinálják, hiszen az elfogyasztott takarmány emésztése további jelentős oxigén felhasználással jár.

Az alapvetően édesvízi sügérfélék, mint a sügér, alacsony oldott anyag koncentráció mellett érik el a legkedvezőbb növekedési mutatókat, de az alacsony sótartalmat (4 ‰) jól tolerálják. A sótartalommal szemben tolerancia összefüggést mutat a víz

hőmérsékletével, ugyanis minél magasabb a víz hőmérséklet, a sügér annál kevésbé tolerálja a magasabb sótartalmat.

A RAS rendszerekben magas ammónia- és nitrit koncentráció akkor fordulhat elő, ha a biológiai szűrés nem működik megfelelően. A magas ammónia és a nitrit koncentráció kedvezőtlen fiziológiai változásokat eredményez, amelyek negatívan befolyásolják a termelési paramétereket, illetve mortalitáshoz vezetnek. 140–150 g tömegű halaknál már a 0,3–0,4 mg/l-es ammónia-koncentráció a növekedés 50%-os csökkenését idézi elő 23,1°C hőmérsékleten, míg a 0,8 mg/l-es érték letális hatással van az állomány 50%-ára. A nitrit koncentráció letális dózisa intenzív rendszerben 1-3 mg/l tartományba tehető (POLICAR et al., 2015).

Zavarás, heterogenitás:

A zavarás alatt elsősorban a halnevelő medencék tisztítását, egy esetleges üzemzavart, a halak méret szerinti válogatását és egyéb, a halak számára stresszt okozó beavatkozásokat értjük, amelyek csökkentik a takarmányfelvételt és növelik az energia felhasználást, ezáltal közvetve csökkentik a sügér növekedését. A halak méret szerinti válogatása, ezáltal az állomány homogenitásának biztosítása kiemelten fontos a sügér nevelése során, így jelentősen csökkenthető, illetve elkerülhető a kannibalizmus (**4. ábra**), amely számottevő termelés kiesést eredményezhet. A méret szerinti válogatás viszont szintén egy komoly stresszhatás a halak számára, célszerű tehát a lehető legkevesebb alkalommal, a legnagyobb hatékonysággal végezni a műveletet (POLICAR et al., 2015).



4.ábra: A kannibalizmus jelensége a sügér intenzív nevelése során
fotó: saját forrás

Népesítési sűrűség, optimális biomassa

Általánosságban elmondható, hogy a nagyobb halsűrűség jelentősen javítja a növekedési ütemet és csökkenti az állomány szétnövését a sügér intenzív rendszerben történő nevelésének kezdeti szakaszában (0,5–15 gramm testtömeg). Ugyanakkor MÉLARD et al. (1996) szerint a népesítési sűrűség és a növekedési ütem közötti pozitív korreláció a nevelés későbbi szakaszaiban megszűnik. POLICAR et al., (2015) kijelentik, hogy az 5 grammos sügér esetén az optimális biomassa $35\text{-}75\text{ kg/m}^3$ (POLICAR et al., 2015).

Takarmányozás

A sügér intenzív nevelése során a legkritikusabb fázis a lárva takarmányozása, ugyanis ilyenkor csak élő táplálék szervezetekkel lehetséges takarmányozni (kerekeshéreg, mikro-artermia, papucsállatka) (MAREŠ et al., 2004). A sügér lárvája - szemben más ragadozó fajokkal - meglehetősen kisméretű (5-6 mm), ami jelentősen megnehezíti a zsenge hal természetes táplálékkal történő ellátását. Ebben az időszakban a halakat a kannibalizmus

visszaszorítása érdekében naponta hat-nyolc alkalommal takarmányozzuk, folyamatos megvilágítás mellett. Három héttel a táplálkozás megkezdése után kezdhető meg a mesterséges tápok alkalmazása (POLICAR et al., 2015).

Az első 2 hetet követően párhuzamos etetéssel átszoktatható a száraz tápra, majd néhány napot követően teljesen ki lehet váltani az élő táplálékot száraz, teljes értékű takarmánnyal. Kereskedelmi forgalomban jelenleg nem állnak rendelkezésre specifikusan a sügér számára kifejlesztett tápok, így elsősorban az összetétel alapján határozható meg az etetésre kerülő takarmány. A sügér táplálék-szükségletére vonatkozóan több tanulmány (FIOGBE, 1996; FIOGBE et al., 2008) is született korábban, ugyanakkor a legfrissebb irodalmi adatok szerint a takarmány optimális nyersfehérje tartalma 35-37%, míg a nyerszsír 10-18%, a szénhidrát (keményítő) pedig 13-14% (MÉZES, 2022). A takarmányozás intenzitása vízhőmérséklet és a testtömeg függvénye, általánosságban 1-2% között mozog a biomasszához viszonyítva. A takarmány szemcseméretének vonatkozásában elmondható, hogy 0,3 gramm alatti testtömeg esetében 0,4 mm-es, 1-5 gramm között 1 mm-es, 5-10 gramm között 1,5 mm-es, 10-15 gramm között 2 mm-es, 20-50 gramm között 3 mm, 50-150 g között 4,5 mm-es szemcseméret javasolható (POLICAR et al., 2015).

Az intenzív rendszerben történő nevelése során az tekinthető a legkritikusabb fázisnak, amikor a takarmányozás során az élő eleségről át kell váltani a kereskedelembe kapható tápokra (JENTOFT et al., 2006; HÄRKÖNEN et al., 2017). A sügér intenzív rendszerben történő nevelése során igen érzékeny reagál a betegségekre és a parazitákra más halfajokhoz viszonyítva (GRIGNARD et al., 1996a; MÉLARD et al., 1996).

FONTAINE és et al. (1997) kísérletükben intenzív rendszerben sügér ivadékokkal végeztek kísérletet, ahol a halak biomasszájának 1%, 2% és 3%-os mennyiségével takarmányoztak. Kísérletük végén azt az eredményt kapták, hogy a megmaradásra nem volt hatással a takarmányozás, azonban a különböző takarmányadagot kapó csoportok között szignifikáns testtömeg különbség volt tapasztalható a kísérlet végén. A takarmányhasznosítás tekintetében az 1% és 2%-os csoport igen hasonló eredményt produkált a kísérlet végén, míg a 3%-os csoport eredményei szignifikánsan magasabbak voltak ezen a téren. A specifikus növekedési ütemet is vizsgálta a kutatócsoport, eredményeik alapján mind a 3 csoport szignifikánsan eltért egymástól.

2.1.6. A tartástechnológia és a halak antioxidáns paraméterei közötti kapcsolat

Számos halfaj esetében kimutatták, hogy a medence színe alapvetően befolyásolja a halak stresszállapotát és ezáltal a termelési paramétereket (TAMAZOUZT et al., 2000; MCLEAN et al., 2008; MONK et al., 2008). A stressz a legnagyobb problémák közé sorolható zárt rendszerben szaporított állatok esetében (MAZUR és IWAMA, 1993; ESTEBAN et al., 2004; DROR et al., 2006; MORGAN és TROMBORG, 2007). A stressznek számos negatív hatása lehet a halak szaporodására, beleértve a változásokat a hierarchikus kapcsolatokban, egyéb viselkedési módosulásokat, táplálkozási változásokat és mozgásszervi megbetegedéseket is okozhat (MCLEAN et al., 2008). Számos halfaj érzékeny a stresszre, amit a szállítás és kihelyezési procedúra vagy a nem megfelelő telepítési sűrűség egyaránt okozhat (ACERETE et al., 2004, DOUXFILS et al., 2011, JENTOFT et al., 2005, STRAND et al., 2007b). Ezek a fentebb említett stresszforrások a halak általános jólétét is képesek komolyan veszélyeztetni (MAZUR és IWAMA, 1993; GRIGNARD et al., 1996b; ACERETE et al., 2004; ESTEBAN et al., 2004; URBINATI et al., 2004; JENTOFT et al., 2005; DROR et al., 2006; FAST et al., 2008; MILLA et al., 2010). A termelés hatékonyságának optimalizálása érdekében különösen fontos a halakra gyakorolt stresszhatások minimalizálása. Ezért a nevelés során megfelelő körülményeket kell biztosítani, például a zavarás csökkentésével (STRAND et al., 2007a). Kontrollált körülmények között a stresszhatások csökkenthetők a termelési módszerek fejlesztésével, például a medence vagy annak egy részének színének módosításával (ROTLLANT et al., 2003; PALIŃSKA-ŻARSKA et al., 2013).

A sügér magas stresszérzékenysége jól ismert (ALANÄRÄ és STRAND, 2015), ez a tulajdonsága pedig negatívan befolyásolhatja a termelési paramétereket (megmaradás, testtömeg, specifikus növekedési ütem, takarmányértékesítés). A tartási és takarmányozási technológia fejlesztése, ezáltal az optimális termelési mutatók elérése érdekében a halak stressz szintjének a mérése elengedhetetlen, amire több módszer is létezik. Ezek közül az egyik lehetséges opció a reaktív oxigénfajták (ROS) meghatározása, amelyek az oxidatív stressz folyamata során keletkeznek, és mint biomarkerek kiválóan alkalmasak a halak stresszállapotának jellemzésére. Az oxidatív stressz a szabad gyökök és az antioxidánsok közötti egyensúly felborulása (AZIZ et al., 2019), amely kulcsszerepet játszik a változó környezeti hatásokhoz való alkalmazkodásban (BIRNIE-GAUVIN et al., 2017). Számos tényező befolyásolja a ROS képződését a halakban, a stresszreakciót számos környezeti biotikus és abiotikus tényező

okozhatja (BASU et al., 2001; ABELE et al., 2002; SUN et al., 2007; KÖHLER et al., 2001; DEFO et al., 2014; EROGLU et al., 2015; GAO et al., 2019; AKRAM et al., 2021). Bár számos kutató vizsgálta már a ROS-t, a halak esetében egyikük sem vizsgálta a reaktív oxigénfajták (ROS) és a medence színei közötti kapcsolatot.

A szervezetek általában nem a ROS teljes kiküszöbölésére törekednek, hanem inkább a pro- és antioxidánsok közötti egyensúly optimalizálására. Amikor az egyensúly a pro-oxidánsok irányába tolódik el, oxidatív stresszhelyzet áll fenn. Az oxidatív stressz kezelésére az organizmusok háromszintű antioxidáns védelmi rendszert hoznak létre (HORVÁTH és BABINSZKY, 2019). Az első védelmi szint az antioxidáns enzimek (kataláz és glutation-peroxidáz), a második szint pedig az alacsony molekulású antioxidánsok (glutation, redukált glutation, oxidált glutation, malondialdehid és C-vitamin) (AZIZ et al., 2019). A harmadik és egyben utolsó szint csak akkor lép működésbe, ha a károsodás már bekövetkezett, és szerepe a károsodott részek eltávolítása vagy javítása, mint például a hősokkfehérjék (HSP70) vagy a glutation-reduktáz. A HSP70 szerepe a sejtek homeosztázisának fenntartása hirtelen környezeti változások esetén (PADMINI és RANI, 2008; YAMASHITA et al., 2010; RAJESHKUMAR et al., 2013).

A fent említett antioxidáns paraméterek mellett a halak kortizol- és glükózsztintje, mint jól ismert, általánosan használt biomarkerek, kiválóan alkalmasak a halak stresszállapotának mérésére (WENDELAAR és SJOERD, 1997; GRUTTER és PANKHURST, 2000; LAFLAMME et al., 2000; ACERETE et al., 2004; WYSOCKI et al., 2006; DOUXFILS et al., 2011; NARRA et al., 2017). A plazma kortizolszintje a stresszorokra adott válaszként emelkedik (GIRAO et al., 2012). A stresszválasz során a kortizoltermelés elősegíti a glükózkoncentráció növekedését (WENDELAAR és SJOERD, 1997).

A fényintenzitás szintén jelentős szerepet játszik a sügér stresszreakciójában (HEAD és MALISON, 2000; BRÜNING et al., 2015; BAEKELANDT et al., 2019). A medence színe alapvetően meghatározza a termelő egységen belüli fényintenzitást, amely pedig befolyásolja a halak antioxidáns paramétereit.

Számos tudományos közlemény áll rendelkezésre a sügér termelés során ajánlott medenceszínekkel kapcsolatban, amiket különböző fejlődési stádiumban lévő halakhoz ajánlanak, de az eredmények gyakran ellentmondásosak.

STRAND et al. (2007a) megállapították, hogy a teljesen fekete medence szín nem optimális a sügérek neveléséhez. Kísérletükben fehér, szürke és fekete medencéket

hasonlítottak össze. Azt találták, hogy a fehér és szürke medenceben tartott halak jobb termelési paramétereket mutattak, mint a fekete medenceben tartott halak. Eredményeikkel összhangban TAMAOUZT et al. (2000) arra a következtetésre jutottak, hogy a sügér lárvák jobb növekedési teljesítményt mutattak a világosszürke és fehér falú medencékben, mint a fekete falú medencékben. Ezekkel az eredménnyel ellentétben a sügér lárvák nevelése során a sötét színű medencék esetében jobb termelési paramétereket és megmaradást, illetve sikeresebb első levegővételt tapasztaltak (PALÍNSKA-ŽARSKA et al., 2013; JENTOFT et al., 2006).

Lárva stádiumban az úszóhólyag első felfújódása igen fontos tényező a különböző halfajok, köztük a sügér kezdeti túlélését tekintve, a medence szín pedig befolyásolhatja a felfújás hatékonyságát. PALÍNSKA-ŽARSKA et al., (2019) eredményei rámutattak arra, hogy a legmagasabb úszóhólyag felfújódás hatékonyság, ezáltal a legkedvezőbb túlélési arány elérése érdekében a lárvákat legalább 12 napig szükséges nevelni kelés után 15 °C- os víz hőmérséklet mellett, fekete színű medencékben.

Ezen eredmények alapján kijelenthető, hogy a sügér különböző fejlődési szakaszokban történő neveléséhez különböző medenceszínek ajánlottak.

A sügér mellett számos egyéb halfajnál is vizsgálták a medenceszín és a halak antioxidáns paraméterei közötti összefüggést. BRIAN (2015) a nílusi tilápia (*Oreochromis niloticus*) ikrájának kikelési és megmaradási arányát vizsgálta kísérlete során, ahol különböző színű (kék, zöld, piros, átlátszó) medencékben helyezte ki az ikrákat. A kísérlete végén az ikrák kelési és megmaradási arányát tekintve a legkedvezőbb mutatókat a kék színű medencében sikerült elérnie. Hasonló kísérletet végeztek el a nílusi tilápiával SABRI és et al. (2012) is, amely során szintén a kék szín eredményezte a legkedvezőbb termelési mutatókat.

Egy kutatócsoport az atlanti tőkehal (*Gadus morhua*) lárva túlélését, növekedését és táplálkozását vizsgálta bézs és fekete színnel lesötétített medencében. Kísérletük végén nem találtak lényeges különbséget a termelési paraméterek között (MONK et al., 2008).

2.2 Alternatív fehérjeforrások a takarmányozásban

2.2.1. A halliszt kiváltásának lehetőségei

A halliszt kiváltására számos alternatív fehérjeforrás áll rendelkezésre, amelyek növényi és állati forrásokból egyaránt származhatnak.

A növényi fehérjeforrások kapcsán elsőként érdemes megemlíteni a szóját, mellyel számos kutatás foglalkozott (FLOUROU-PANERI et al., 2014; QIN et al., 2022), ugyanakkor a frisebb vizsgálatok szerint az élesztő is alkalmas lehet az állati eredetű fehérje részleges kiváltására (ARAGÃO et al., 2022). Emellett fontos és széles körben alkalmazott alternatív fehérjeforrások közé tartoznak a repcemagliszt, pálmamagliszt, földimogyoróliszt (CHAKRABORTY et al., 2019), a különböző mikroalgák, illetve gombák is (BECKER, 2007; SALEH, 2020; ANSARI et al., 2021; GROSSMANN és WEISS, 2021).

Az állati eredetű, alternatív fehérjeforrások kapcsán is számos lehetőség áll rendelkezésre, többek között a rákliszt, a húsliszt, a toll-liszt, vagy a vérliszt (MOHSEN és LOVELL, 1990; BISHOP et al., 1995; VILLARREAL et al., 2006; REN et al., 2020).

Az állati fehérjeforrásokon belül a rovarfehérje szintén egy kiváló lehetőség a halliszt részleges, vagy akár teljes kiváltására, amellyel kapcsolatban az utóbbi években számos tanulmány született (NUGROHO és NUR, 2018; MUSYOKA et al., 2019; APRI és KOMALASARI, 2020; DE SOUZA-VILELA et al., 2019).

2.2.2. Az állati takarmányozásban felhasználható rovarok

A rovarok az utóbbi időben egyre nagyobb figyelmet kapnak, mint a fenntartható takarmány alapanyagok, különösen a halak, a baromfi és a sertés takarmányozása esetében. A legígéretesebb fajok között tartjuk számon a fekete katonalegyet (*Hermetia illucens*), a lisztbogár lárvát (*Tenebrio molitor*), a gyászbogárlárva (*Zophobas morio*) és a közönséges házilegyet (*Musca domestica*). Bár gyors fejlődés várható, a rovarok továbbra is alulhasznosítottak a takarmányiparban, főként a technikai, pénzügyi és szabályozási akadályok miatt (SOGARI et al., 2019; HAWKEY et al., 2021).

Érdemes ezek mellett más fajokat is megemlíteni, például az *Orthoptera* rendbe tartozó rovarokat, mint a sáskák, szöcskék (főként *Acrididae* és *Pyrgomorphidae*), tücskök (*Gryllidae*) és katicák (*Tettigoniidae*) (ASTUTI és KOMALASARI, 2020).

A selyemhernyó, és különböző formái szintén ígéretes alternatív fehérjeforrást jelentenek az állati takarmányozásban. Számos gyakori elnevezése létezik a felhasználás formájából adódóan a gyakorlatban, mint a selyemhernyóbáb, selyemhernyó-liszt, zsírtalanított

selyemhernyóbáb-liszt, olajmentesített selyemhernyóbáb-liszt, nem zsírtalanított selyemhernyóbáb-liszt, nem olajmentesített selyemhernyóbáb-liszt. Számos selyemhernyófaj ismert: *Bombyx mori* Linnaeus, 1758 [*Bombycidae*]; *Antheraea assamensis* Helfer, 1837; *Antheraea mylitta* (Drury, 1773); *Antheraea paphia* Linnaeus, 1758; *Samia cynthia ricini* [*Saturniidae*] (MAKKAR et al., 2014; ASTUTI és KOMALASARI, 2020).

2.2.3. A rovarfehérje felhasználása, beilleszthetősége a haltakarmányozásba

Az állati eredetű fehérjetermékékek előállításánál az üvegházhatású gáz kibocsátás igen magas, ezzel szemben a rovarfehérje minimális környezeti terhelés mellett állítható elő, emellett kiváló minőségű fehérjeforrásként szolgálnak. A hazai klimatikus viszonyok kedvezőek a rovarfehérje előállítás szempontjából (OONINCX et al., 2010; HAWKEY et al., 2021).

A világon az egyre növekedő népességnek köszönhetően egyre több élelmiszer előállítására lesz szükség a jövőben (GODFRAY et al., 2010; SIEMIANOWSKA et al., 2013). A humán étrend egyre nagyobb mértékben tartalmaz halat és húst, ennek köszönhetően a fehérje igény is fokozódni fog (BROEKHOVEN et al., 2015).

A növekvő fehérje igény új, alternatív fehérje források alkalmazását teszi szükségessé a humán táplálkozásban (CAPPELLI et al., 2020). A rovarfehérje potenciális megoldás lehet a jövőben, mint alternatív fehérjeforrás (AZAGOH et al., 2016). A rovarfehérje a világ számos országában alapvető fehérjeforrásnak számít a humán táplálkozásban, körülbelül 2 milliárd ember fogyasztja rendszeresen (BUKKENS, 1997; MAKKAR et al., 2014). A rovarfehérje szerepe a humán élelmezés mellett a takarmányozásban is növekvő tendenciát mutat, mint újfajta fehérje forrás (PURSCHKE et al., 2018).

Napjainkban a haltakarmányok fehérjeigényét halliszt vagy halolaj formájában fedezik, amelyek természetes vízi halászatból származnak. Becslések szerint évente akár 37,4 millió tonna halliszt és halolaj alapú takarmányra lesz szükség 2025-ig, ez azonban természetes vízi halászatból fenntarthatatlan mennyiség, emiatt más alternatív fehérjeforrásra van szükség, hogy ezt az igényt fedezni tudják (LLAGOSTERA et al., 2019). További problémát jelent, hogy a halliszhoz egyre nehezebb hozzájutni az egyre növekvő keresletnek köszönhetően, így igen magas a kereskedelmi ára (TACON és METIAN, 2009; TACON et al., 2009; HENRY et al., 2015).

A rovar alapú takarmányok fenntartható megoldást kínálnak a jövőben, mivel alkalmasak lehetnek a haltakarmány fehérje tartalmának a kiváltására részben, vagy akár

teljes mértékben. A rovarok alternatív fehérjeforrásnak számítanak, a szója és halliszt kiváltására egyaránt alkalmasak (VAN HUIS et al., 2013). Számos halfaj természetes táplálékában is nagy szerepe van a rovaroknak, ami még inkább megkönnyíti a rovarfehérje beépíthetőségét a haltakarmányozási gyakorlatba (STENBERG et al., 2019). Nagy előnye a rovartenyésztésnek, hogy rendkívül gyors és hatékony, egész éven át folyamatosan, időjárási kockázatok nélkül termelhető (NAYLOR et al., 2000; MÉZES, 2018).

A takarmányozási célra, fehérjeforrásként termelt rovarok és azok lárváinak toxikológiai vizsgálata alapján az Európai Élelmiszer-biztonsági Hivatal (EFSA) összesen 7 fajt minősített biztonságosnak, ezek a fekete katonalégy (*Hermetia illucens*), a házilégy (*Musca domestica*), a közönséges lisztbogár, az alombogár (*Alphitobius diaperinus*), a házitücsök (*Acheta domesticus*), a csíkos tücsök (*Gryllodes sigillatus*) és a földtücsök (*Gryllus assimilis*). Mivel az említett fajok kedvező táplálóanyag összetétellel és magas fehérje tartalommal rendelkeznek, gazdasági és környezeti szempontból egyaránt fenntartható alternatívaként szolgálhatnak a haltakarmányok fehérjetartalmának biztosítására vonatkozóan.

2.3. Közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*)

2.3.1. A közönséges lisztbogár jellemzése

A közönséges lisztbogár (5. ábra) rendszertani besorolását illetően a rovarok (*Insecta*) osztályához sorolható, ezen belül a bogarak (*Coleoptera*) rendjéhez, a mindenevő bogarak (*Polyphaga*) alrendjéhez és a gyászbogárfélék (*Tenebrionidae*) családjához tartozik.



5. ábra: A közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*)

forrás: Balogh Diána, izeltlabuak.hu

A lisztbogár Európában őshonos, de ma már világszerte elterjedtek (BRYNING et al., 2005). Jól ismert kártevőként tartják számon, mely a malmokban tárolt lisztben, raktárhelyiségekben, de akár háztartásokban is tenyészik (ENDRŐDI, 1975).

A lisztbogár lárvák négy életszakaszon mennek keresztül: tojás, lárva, báb és kifejlett egyed. A lárvák jellemzően 2,5 cm vagy annál nagyobb méretűek, míg a kifejlett egyedek általában 1,25-1,8 cm hosszúak.



6. ábra: A közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) lárva

forrás: [https://www.rd.com/wp-](https://www.rd.com/wp-content/uploads/2018/12/shutterstock_1029451078.jpg?resize=700,466)

[content/uploads/2018/12/shutterstock_1029451078.jpg?resize=700,466](https://www.rd.com/wp-content/uploads/2018/12/shutterstock_1029451078.jpg?resize=700,466)

A lisztbogár lárva (**6. ábra**) kutikulája meglehetősen kemény a kitinnek köszönhetően. A hőmérséklettől függően szaporodási ciklusa felgyorsul, évente így több generáció kifejlődése is lehetséges. A lárva állapot hossza igen eltérő, és számos környezeti tényező befolyásolja. A lisztbogár petéi meglehetősen apró méretűek (3 mm hosszú), színük fehér, majd néhány nap múlva sárgássá válnak, és kemény, kitinszerű külső vázat termelnek. A lisztbogár élelciklusa rövid, a tojás állapot 3-9 nap, a lárva stádium 26-76 nap, a bábállapot pedig 5-17 nap. A kifejlett lárva körülbelül 0,2 g súlyú és 25-35 mm hosszú. A báb 12-18 mm hosszú, krémfehér színű. (COTTON, 1927; AGUILAR-MIRANDA et al., 2002). Hosszúkás testének színe a barna különböző árnyalataitól, egészen a feketéig terjed, csápja és lába barna. Szárnyfedőin pontozott sávok találhatóak, a toron egyenletesen pontok találhatóak. Csápja rövid, ízei pedig terjedelmesek.

A közönséges lisztbogár lárvája a rovarok között is kiemelkedik magas tápláló anyagtartalmával (DREASSI et al., 2017). A fehérjék és a zsírok kulcsszerepet játszanak a táplálkozásban, a lisztbogár ezekben bővelkedik, ennek köszönhetően az élelmiszeripar potenciális nyersanyagként tekint rá (PARK et al., 2015). Irodalmi adatok alapján az élő lárva nedvességtartalma 59 és 68% között változik. A táplálóanyag tartalom vonatkozásában elmondható, hogy szárazanyagra vetítve a lárva 50-57% nyersfehérjét tartalmaz (KRÖNCKE et al., 2018), emellett esszenciális aminosav és zsírsav összetétele is igen kedvező (MÉZES 2018.). A lárvák makro elem koncentrációja szintén magas (SIEMIANOWSKA et al. 2013), ugyanakkor néhány mikroelem esetében a rovar önmagában nem fedezi a különböző halkorosztályok nyomelem szükségletét. Ezért a

lárva nyomelem kiegészítése és dúsítása kedvező lehet a haltakarmányozásba történő beillesztés szempontjából.

2.3.2. A közönséges lisztbogár lárva tartástechnológiája

A lisztbogár lárva tenyésztése minimális helyet igényel, valamint nincs hatással a környezetre, ugyanakkor jelentős fehérje- és zsírforrás (ELORDUY et al., 2002; RAVZANAADII et al., 2012; WANG et al., 2011, DREASSI et al., 2017; GRAU et al., 2017; SON et al., 2020; COSTA et al., 2020; CAPPELLI et al., 2020; SHAFIQUE et al., 2021).

A lisztbogár tartástechnológiájáról elmondható, hogy környezeti optimumával kapcsolatban számos kutatás született (ADÁMKOVÁ et al., 2020), ugyanakkor a téma újdonságának köszönhetően kidolgozott termelési protokoll egyelőre nem áll rendelkezésre. A szakirodalmi adatok alapján megállapítható, hogy sem különlegesebb környezeti feltételek, sem pedig speciális berendezés nem szükséges a lisztbogár lárva tenyésztése során. A lisztbogár alapvetően éjjeli faj, ennek köszönhetően ebben az időszakban aktívabb (MCKEE et al., 2019), így tenyésztése során nappal sem igényel külön megvilágítást. A fejlődési ciklust nagyban befolyásolja a termelő közeg hőmérséklete és páratartalma, a magasabb hőmérséklet esetén gyorsan reprodukciós ciklussal számolhatunk. Egy kutatás rávilágított arra, hogy a 24°C-os hőmérséklet kedvezően hat a lárva fejlődésére és élettartamára (OLVIDO és THULÉ, 2019), míg 6 °C mellett a diapauza állapota figyelhető meg (BELLEZZA et al., 2021). A hőmérséklet emelett kihat a lárva zsírtartalmára is, ezzel kapcsolatban is fellelhetőek kutatási beszámolók (ARBAB, 2019). Kijelenthető, hogy a túl alacsony és magas hőmérséklet negatívan befolyásolja a lárva zsírtalmát, 17°C hőmérséklet esetén a lárva zsírtartalma mindössze 14,67%, míg 28°C mellett ez az érték 23,32%. A szobahőmérséklethez közelítő 23°C hőmérsékleten a legmagasabb a lárva zsírtartalma (24.56 %) (ADÁMKOVÁ et al., 2017). Kutatások szerint az ideális páratartalom mintegy 18% (WU et al., 2009).

A hőmérséklet és páratartalom mellett az optimális szubsztrátumnak is kiemelt jelentősége van a megfelelő minőségű rovarfehérje előállítás szempontjából. A szubsztrát esetében a kedvező tápérték mellett a steril körülményekre is kiemelt figyelmet szükséges fordítani, mivel különböző kórokozók, például szalmonella jelenléte is előfordulhat (WYNANTS et al., 2019). A lisztbogár tenyésztése során a hagyományos élelmiszer-alapanyagok mellett sokféle szubsztrátumot használnak, például szerves

melléktermékeket vagy akár élelmiszerhulladékot is (BAIANO, 2020). Számos kutatócsoport foglalkozott különböző szubsztrátoknak a tesztelésével a lisztbogár lárva tenyésztése során (BROEKHOVEN et al., 2015; RUMBOS et al., 2021). Az olívapogácsa, egy jól ismert szerves melléktermék, amely az édesburgonyához hasonlít, szintén alkalmas szubsztrátnak bizonyult a búzafélékkel kombinálva. Ezek pozitív hatással vannak a báb- és lárvastádiumok növekedési rátájára (RUSCHIONI et al., 2020). Az agrár-élelmiszeripar számos más szerves mellékterméke is alkalmas lehet szubsztrátként a lisztbogár lárva számára (MELIS et al., 2019). Akár a gombák, mint szubsztrátok is alkalmasak lehetnek bizonyos százalékban. KIM et al., (2014) egy ehető gombát (*Lentitus edodes*) keverték a lisztbogár szubsztrátjához 40%-os arányban. A kísérlet eredményei azt mutatták, hogy ez a faj részben kiegészítheti a lisztbogár lárva szubsztrátját. MELIS és et al. (2019) két különböző szubsztrátot vizsgáltak, mint a lisztbogár lárva potenciális tápközegét. Búzakorpát és a sörgyártásból származó mellékterméket hasonlítottak össze, mint lehetséges tápanyagot a lisztbogár lárva számára. A sörkorpával jobb takarmányértékesítést értek el, valamint alacsonyabb zsírtartalmat mértek a búzakorpás kezeléshez képest.

DREASSI et al. (2017) vizsgálatának a tárgya szintén annak a kérdésnek a megválaszolására irányult, hogy a szubsztrát befolyásolja-e a lisztbogár lárvák zsírtartalmát. Az alkalmazott szubsztrátumok a zab, kukoricaliszt, búzaliszt, csicseriborsóliszt, kenyér és sörélesztő voltak. Az állományt átlagosan $27\pm 1^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleten tartották, a relatív páratartalom pedig 40-50% volt. Kísérletük végén arra a következtetésre jutottak, hogy a 6 különböző zsírtartalmú szubsztrát használata ellenére a zsírtartalom a lárva-, és a bábállapotban sem változott, hanem állandó értéket eredményezett ($>34\%$ a lárvákban és $>30\%$ a bábokban). A szerzők végül rámutatnak, hogy a báb stádiumban magasabb az omega3/omega6 zsírsavak aránya, ezért érdemes ebben a stádiumban emberi fogyasztásra használni.

2.3.3. Lisztbogár lárvával kapcsolatos haltakarmányozási vizsgálatok

Számos kutatócsoport végzett olyan kísérleteket, melyben a halak takarmányát részben lisztbogár lárvával egészítették ki (GASCO et al., 2014., GASCO et al., 2016; HENRY et al., 2018). A lisztbogár lárva alkalmas arra, hogy részben kiváltsa a haltakarmányokban a halolajat és a hallisztet igen magas fehérjetartalmának, kedvező zsírsav arányának és a halakhoz hasonló aminosav összetételének köszönhetően, valamint a halak egészségére

is jó hatással van (TRAN et al., 2015; SANKIAN et al., 2018; IACONISI et al., 2019;). Egy kutatás megállapította, hogy a sügér úszóképességére is kedvező hatást gyakorol a lisztbogár lárvával kiegészített takarmányozási protokoll (TRAN et al., 2021). A lisztbogár mellett számos egyéb rovarfaj beilleszthetőségét vizsgálták a sügér takarmányozásába. Egy kutatás rávilágított arra, hogy a házi tücsök (*Acheta domesticus*) és gyászbogárlárva (*Zophobas morio*) 25%-os arányban hozzáadva a sügér takarmányához jelentős linolsav és a teljes omega-6 zsírsav profil emelkedést okoz (TILAMI et al., 2020).

Egy kutatásban a farkassügér (*Dicentrarchus labrax*) takarmányához adagoltak a kutatók kiegészítésként lisztbogár lárvát. A kutatásuk végén a halak húsának vizsgálatok az eredményt kapták, hogy a telítetlen zsírsavak, különösen az omega-6 szintje szignifikánsan emelkedett, míg az omega-3 szintje szignifikánsan csökkent (GASCO et al., 2016). Szintén GASCO és et al. (2014) alkalmazták a lisztbogár lárváját, mint takarmány kiegészítőt szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) intenzív rendszerben történő nevelése során. Az etetési kísérletük végén arra az eredményre jutottak, hogy lisztbogárral akár a takarmány halliszt igényének 50%-a is kiváltható anélkül, hogy a halak növekedési ütemére negatív kihatással lenne. JEONG és et al. (2020) szintén kedvező eredményt értek el a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) ivadékok lisztbogár lárvával kiegészített takarmányozásának vizsgálatára irányuló kísérletük során. Egy 8 hetes termelési teszt keretében különböző arányokban kísérleteztek a lisztbogár lárvát liszt hozzáadásával a takarmányhoz (0,7,14 és 28%). A halak súlygyarapodása és a specifikus növekedési üteme jelentős növekedést mutatott a takarmányhoz 14%-ban hozzáadott lisztbogár lárvát fogyasztó csoportokban, azonban csökkent 28%-os kiegészítés esetén. Jelentősen magasabb fehérje hatékonysági arányt és alacsonyabb takarmányértékesítést tapasztaltak a rovar alapú liszttel dúsított takarmányt fogyasztó halak esetében a kontrollhoz képest. A különböző arányban rovar alapú takarmányt fogyasztó halak mieloperoxidáz és lizozim aktivitása szignifikánsan magasabb volt a kontrollhoz képest. A szerzők szerint a halliszt ígéretes alternatívája a szivárványos pisztráng ivadékok gyakorlati takarmányozásában, nem csak a termelési paraméterekre gyakorolt kedvező hatása miatt, hanem immunerősítő szerepet is betölthet. Egy kutatás során két különálló, 7 hetes etetési kísérletet végeztek a lisztbogár lárvát alternatív fehérjeforrásként való felhasználásának értékelésére az afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) nevelése során. A tápok halliszt arányát különböző mértékben váltották ki lisztbogár lárvát liszttel (0, 20, 40, 60, 80 és 100%). A hallisztet 40%-ban rovarliszttel

kiváltott csoportok növekedési teljesítménye és takarmányhasznosítási hatékonysága nem különbözött szignifikánsan a kontrolltól, valamint a 80%-ban lisztbogár lárva liszttel helyettesített táppal etetett harcsák is kedvező termelési paramétereket produkáltak. A 2. kísérletben a lisztbogár lárva tápértékét egy kereskedelmi forgalomban kapható harcsa pellettel hasonlították össze. Három takarmányozási kezelést alkalmaztak, az elsőben kizárólag pelletből állt a takarmány, a második kezelésben a halak étrendje harcsapellet és élő lisztbogár lárva kombinációjából állt, míg az utolsó csoportban csak élő lisztbogár lárva került kietetésre. A kizárólag lisztbogár lárvaival etetett harcsák növekedési teljesítménye enyhe csökkenést mutatott, de a harcsapellel alkotott kombinációja ugyanolyan jó, vagy jobb termelési paramétereket biztosított a kizárólagosan táppal etetett halakhoz képest. A lisztbogáral kiegészített, táppal etetett harcsáknak a zsírtartalma jelentősen magasabb volt. A kutatók szerint a lisztbogár lárva egy lehetséges alternatív fehérjeforrás az afrikai harcsa számára (NG et al., 2001).

Egy tanulmány az optimális lisztbogár lárva kiegészítés arányát vizsgálta (0, 10, 20 és 30%) a mandarinhal (*Siniperca scherzeri*) takarmányozása során. Eredményeik azt mutatták, hogy a halak növekedési rátája és takarmányértékesítése 0 és 20% közötti lisztbogár lárva liszt kiegészítés mellett javuló tendenciát mutatott, a 20 és 30% közötti tartományban pedig romlott. A rovarlisztet tartalmazó táppal etetett mandarinhalak húzában jelentősen magasabb volt a telített és egyszeresen telítetlen zsírsavak, és alacsonyabb az n-3 többszörösen telítetlen zsírsavak szintje a kontrollhoz képest. A halak vérsavó mintájának mérése során megállapították, hogy a lizozim- és glutation-peroxidáz (GPx) aktivitás szignifikánsan magasabb volt a 30%-os arányban rovarlisztet fogyasztó halaknál a kontroll csoporthoz képest. A szerzők rávilágítanak arra, hogy a lisztbogár lárva nem csupán, mint alternatív fehérjeforrás kiváló a mandarinhalak számára a súlygyarapodásra és a takarmányhasznosításra gyakorolt kedvező hatásánál fogva, hanem a halak egészségét támogató hatások szempontjából is (SANKIAN et al., 2018).

A lisztbogár alapú takarmányozás kedvező hatása nagyban függ a halfajtól és az alkalmazott kiegészítés arányától is, amire rávilágít a RONCARATI et al. (2015) által végzett kutatás is. A szerzők a kutatásuk során megvizsgálták, hogy a halliszt rovarliszttel való helyettesítése milyen hatással van a fekete törpeharcsa (*Ameiurus melas Raf.*) növekedési teljesítményére és túlélésére. A halakat két csoportra osztották, a kontroll kezelés kizárólag tápot kapott (51,6% fehérje és 18,1% zsír), míg a másik csoport olyan tápot (50,8% fehérje és 22,1% zsír) fogyasztott, aminek halliszt tartalmát 50%-ban lisztbogár liszttel helyettesítették. Vizsgálatuk során kedvező növekedést tapasztaltak

mindkét kezelés esetében, de a hagyományos halliszt alapú tápon nőtt halak szignifikánsan magasabb testsúlyt értek el az 50%-ban rovarliszttel kiegészített takarmányhoz képest.

A szintén sügérfélékhez tartozó pisztráng sügér (*Micropterus salmoides*) növekedési teljesítményét vizsgálta egy 8 hetes kutatás, ahol a kísérleti takarmányokban a hallisztet 0%, 50% és 100% arányban helyettesítették szárított lisztbogár lárvával. Az eredményeik szerint az 50%-ban csoportban a halak takarmányfelvétele megnövekedett, de ez nem rontotta a halak növekedési teljesítményét. A 100%-ban rovar alapú takarmányt tartalmazó pellet azonban negatív hatással volt a pisztráingsügérek növekedési teljesítményére. A szerzők rávilágítanak arra, hogy a lisztbogár lárva felhasználható a halliszt akár 50%-ának helyettesítésére anélkül, hogy a takarmány tulajdonságai és a pisztráingsügérek növekedési teljesítménye romlana. A teljes helyettesítés azonban negatívan befolyásolta a takarmány minőségét és a halak növekedési teljesítményét (GE et al., 2022).

2.4. Esszenciális nyomelemek szerepe az akvakultúrában

2.4.1. A nyomelemek jelentősége az akvakultúrában

Egy nyomelemet akkor tekintünk esszenciálisnak, ha hiánya kedvezőtlen hatással van a szervezet egészségügyi állapotára, pótlása pedig kedvezően befolyásolja azt. A szervezet nem tud megfelelően növekedni, valamint egészséges maradni a kérdéses elem hiányában. Az ásványi anyagok javíthatják a halak betegségekkel szembeni ellenálló képességét is (BLAZER, 1992). Minden halfaj igényel néhány szervetlen elemet kis vagy nagyobb mennyiségben, a normális növekedéshez és anyagcseréhez. A többi tenyésztett állathoz képest, a halak ásványi anyag szükségletéről viszonylag kevés ismeret áll rendelkezésünkre. Az elérhető kutatások elsősorban a vasra, rézre, mangánra, cinkre, jódra, szelénre, kobaltra és krómra korlátozódnak, amelyek a testfolyadékok összetevői, az enzimatis reakciók kofaktorai, a nem enzimatis makromolekulák szerkezeti egységei lehetnek. A nyomelemek, mint a táplálék alapvető összetevőinek fontossága, még ha rendkívül alacsony mennyiségben is, a halak esetében is nyilvánvaló. Néhány faj nevelése során ugyan tanulmányozták a nyomelem szükségletet, a kutatómunkát számos édesvízi halfaj esetében folytatni szükséges (WATANABE et al., 1997; LALL, 1989; CHANDA et al., 2015; PATI és MONDAL, 2019).

2.4.2. A kobalt

A kobalt (Co) a halak és más szervezetek számára nélkülözhetetlen elem, fontos szerepet játszik a halak takarmányozásában. Fő szerepe a B12-vitamin vagy kobalamin szerves részeként van. A halak és egyéb állatok nem képesek szintetizálni ezt a vitamint, ezért ennek az esszenciális vegyületnek a mennyisége a bakteriális termeléstől függ (LIN et al., 2010). Az édesvízi halak kobalt felvétele erősen függ a formájától, valamint a víz kalcium koncentrációjától is, de a környezeti feltételek - beleértve a pH-t – hatásaival kapcsolatban kevés kutatás áll rendelkezésre (BLUST, R., 2011). Fontos azonban kiemelni, hogy a kobalt és egyéb fémek nagyobb mennyiségben szennyezhetik a vizet, toxikus hatással bírnak, sőt letális hatást is kifejthetnek bizonyos koncentrációkban. A nehézfémek toxicitása eltérő fajonként, valamint nagyban függ a környezet kémiai jellemzőitől, mint a víz keménysége (POURKHABBAZ et al., 2011).

2.4.3. A mangán

A mangán biológiai értelemben az esszenciális nyomelemek közé sorolható a halak számára, a megfelelő csontképződés, majd a növekedés során is fontos szerepe van (WATANABE et al., 1997). Hiánya idegrendszeri problémákhoz és csökkent növekedéshez vezethet (CHANDA et al., 2015). Felelős az agy normális működéséért és a megfelelő lipid- és szénhidrát-anyagcseréért is. (WATANABE et al.,1997). A mangán hiánya emellett negatívan befolyásolja a kelés sikerességét, valamint a csontanyagcsere zavaraiiban is szerepet játszhat (KNOX et al., 1982;).

2.4.4. A kobalt és mangán szerepe a haltakarmányozásban

Az ásványi anyagokkal kapcsolatos kutatások méltánytalanul elhanyagolt területei az akvakultúrának (LALL, 1979; CHANDA et al.,2015). Ezeknek az elemeknek, mint a kén, vas, réz, kobalt, jód, cink, mangán, molibdén, szelén és a fluor azonban fontos biológiai funkciói vannak elemi formában, vagy meghatározott vegyületekbe beépülve egyaránt (FÁBREGAS és HERRERO, 1986).

A kobalt és mangán beilleszthetőségét a haltakarmányozásba kevés kutatás vizsgálta (FEHÉR et al., 2013), főként a toxicitásukkal kapcsolatban született számos szakirodalom (JAVED, 2013; SONNACK et al., 2018; SUN et al., 2020). A teljes értékű takarmányok ásványi anyag tartalma jelentősen eltérhet, amit számos tényező okozhat, beleértve a takarmányok összeállításához használt nyersanyagok közötti különbségeket, a használt makro- vagy mikroelem premixeket, valamint a takarmány-összetevőkben gyakran található szennyező anyagokat (YILDIZ, 2008). A száraz takarmányok kobalt kiegészítésének hatását vizsgálta egy kutatócsoport, ahol a *Tilapia zillii* ivadékok három csoportját 12 héten keresztül különböző mennyiségű aszkorbinsavat, kobalt-kloridot tartalmazó, illetve kezeletlen (kontroll) táppal etették, majd vizsgálták a halak specifikus növekedési ütemét, takarmányhasznosítását (FCR) és fehérje hatékonysági arány. A legjobb eredményeket az aszkorbinsavat tartalmazó takarmány esetében érték el, ugyanakkor a kobalt tartalmú takarmányt fogyasztó csoportban a kontrollhoz képest magasabb specifikus növekedési ütemet és fehérje hatékonysági arányt mutattak ki, amely bizonyítja a nyomelem fontosságát a halak növekedésében már az ivadék stádiumban is (ANADU et al., 1990).

A száraz takarmányok mellett élő szervezeteket is lehetséges dúsítani különböző nyomelemekkel, melyet utána közvetett úton a hal is képes akkumulálni. Egy

tanulmányban a vas (Fe) és mangán (Mn) szennyezés hatását egy édesvízi táplálékhálózat modellezésével vizsgálták, ahol a feldúsított zooplankton (*Daphnia pulex*) etettek zebra-dániókkal (*Danio rerio*) egy etetési kísérlet során. A rendszervíz, a zooplankton és a halak elemanalízise egyaránt szignifikáns különbséget mutatott a kezelések között a kontrollhoz képest. A zooplankton Mn-szint szinte párhuzamosan nőtt a kiegészítés dóziséval, valamint eredmények azt mutatják, hogy a fémek jelentős mértékű akkumulációja történt a halak szervezetében, azonban sokkal kisebb mértékben, mint ahogy azt a zooplankton felvette a vízből (HERMAN et al., 2021).

Egy tanulmányban a kobalt akkumulációját és hatását vizsgálták a barramundi (*Lates calcarifer*) túlélésére és növekedésére lárva stádiumban. A kísérlet során a barramundi lárvákat a kobalt mellett cinkkel és mangánnal dúsított *Artemia nauplia*-val etették. Minden kezelés szignifikáns hatással volt az *Artemia* kobalt-, mangán- és cinkszintjére. Ezen elemek koncentrációja a kiegészítések dóziséval párhuzamosan nőtt. Eredményeik azt mutatják, hogy a barramundi lárvák növekedési teljesítménye jelentősen magasabb lehet a kobalt- és mangán kiegészítés eredményeként. A cink és a kobalt felvétel között nem volt kölcsönhatás, de a kobalt és a mangán akkumulációja között a barramundi lárvákban kompetitív típusú kölcsönhatás feltételezhető. A kobalt és mangán kombinációja jelentősen növelte a kannibalizmust és a mortalitást, míg a többi kezelésnek nem volt jelentős hatása a barramundi túlélésére. A redundancia analízis erős korrelációt mutatott az *Artemia* és a barramundi lárvák kobalt- és mangánkoncentrációja között, valamint teljes mértékben korrelált a zooplankton és a lárvák cink koncentrációjával (FEHÉR et al., 2013).

A kaliforniai vörös giliszta biológiailag értékes takarmánykiegészítő a halak számára. MERZLOV et al. (2017) leírták, hogy a giliszták a tápközegből származó ásványi anyagokat, azon belül a kobaltot képesek akkumulálni. Megállapították, hogy a férgek mennyisége és tömegnövekedése a tápközeg kobalt tartalmától függ. A tápközeghez 20 mg/kg kobalt hozzáadása 38,0%-kal, illetve 40,4%-kal növelte a 0,4-0,8 g tömegű férgek mennyiségét. 40 mg/kg kobalt hozzáadása a tápközeghez a férgek számának és tömegének 45,9, illetve 51,1%-os növekedését eredményezte. 160 mg/kg kobalt hozzáadása 6,5-27,7%-kal kisebb mennyiségű, 0,4-0,8 g tömegű férget eredményezett a kísérleti csoportokhoz képest. Eredményeik szerint a tápközegben a kobalt koncentrációja egyenes arányosságban nő a férgek biomasszájában is. A legmagasabb kobalt tartalmat a kobalttal dúsított tápközegben nevelt férgek biomassza szárazanyagában találták.

Véleményük szerint a 40 mg/kg kobaltot tartalmazó tápközegben tenyésztett férgek biomasszája fehérjekiegészítőként használható a haltakarmányozásban.

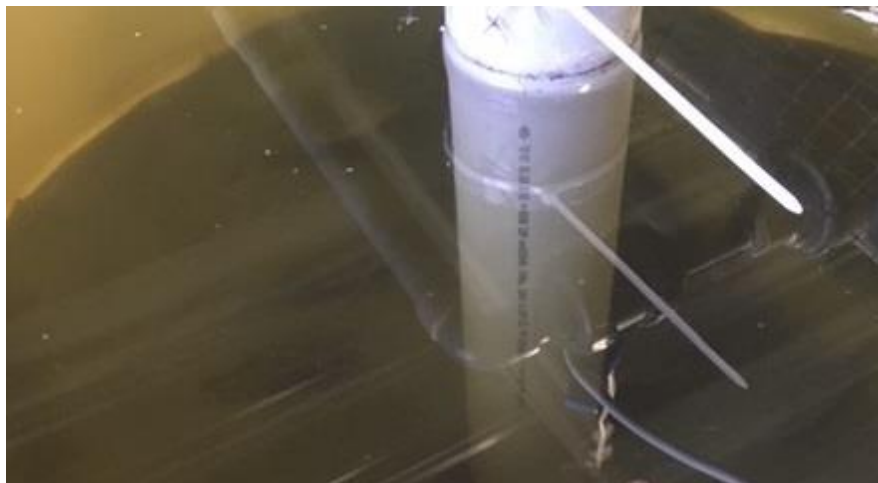
A táplálékkal felvett esszenciális nyomelemek, mint például a cink (Zn) és a mangán (Mn), a halak lárváiban és későbbi fejlődési stádiumokban számos élettani, anyagcsere- és hormonális folyamatot befolyásolnak. Egy kutatás során a közönséges nyelvhal (*Solea senegalensis*) lárvákat szerves Mn (45 és 90 mg/kg takarmány) és szerves Zn (100 és 130 mg/kg takarmány) kombinációjával etették, majd vizsgálták a megmaradást, a növekedést, az ásványi anyagok akkumulációját és a csigolyacsontok állapotát. A kísérlet eredményei azt mutatták, hogy bár nem volt szignifikáns hatás a növekedési teljesítményére, a tengeri halak lárvái számára készített kereskedelmi mikrotáplálék Mn- és Zn-kiegészítése (Mn 90 mg/kg és Zn 130 mg/kg) javította a lárvák túlélését, csökkentette a csigolya rendellenességek súlyosságát, és növelte a Mn akkumulációját a csontban (VIEGAS et al., 2021).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Sügér tartástechnológiai kísérletek

3.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire

Szakirodalmi források szerint a sügér neveléséhez az egyes fejlődési szakaszokban eltérő medenceszín ajánlott. Bár a különböző medenceszínekről számos tanulmány született, ezek kombinációját mindeddig nem vizsgálták. Ezért a kísérlet célja az volt, hogy értékeljük a különböző medenceszínek (szürke; fekete aljú és szürke oldalfalak; szürke aljú és fekete oldalfalak) kombinációinak hatását a sügér termelési és antioxidáns paramétereire (**7. ábra**). A halak stresszállapotának meghatározása érdekében az antioxidáns paramétereket a háromszintű antioxidáns rendszer egyes szintjei szerint mértem.



7. ábra: A fekete színű tófóliával lesötétített aljú medence

fotó: saját forrás

Tesztkörnyezet

A kísérletet a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karának Halbiológiai Laboratóriumában (DE MÉK Halbiológiai laboratórium) (**8. ábra**), és a DEMAB/15/2019. számú etikai jóváhagyás alapján végeztük. A kísérlet időtartama 8 hét volt. A halak természetes fényviszonyoknak voltak kitéve (szeptember 15. - november 15.), teremvilágítást pedig reggel 8.00 és délután 16.00 óra között alkalmaztunk.



8. ábra: DE MÉK Halbiológiai Laboratórium kísérleti recirkulációs halnevelő rendszere

fotó: saját forrás

A kísérletet egy önálló mechanikai és biológiai szűréssel rendelkező ivadéknevelő recirkulációs rendszerben hajtottam végre. A rendszer teljes hasznos víztérfogata 4200 liter és összesen 12 db, egyenként 350 literes, belső szinttartóval ellátott műanyag (polipropilén) körmedencéből állt. A víz mechanikai szűréséért egy polipropilén dobszűrő (teljesítmény: 35-60 m³/óra, 100 mikronos szűrő vászonnal, gyártó: NOVARA Srl., Románia) felelt, a rendszer fix és mozgóágas biológiai szűrővel is rendelkezett. A halak számára optimális oldott oxigén koncentráció fenntartása érdekében minden egységbe levegőztető köveket (RESUN AS-105 26 x 52 mm) helyeztünk, a levegőztetést egy RESUN ACO-016 típusú légbefúvó biztosította (teljesítmény: 450 l/perc). A víz csíramentesítése és fertőtlenítése érdekében a rendszert UV (OASE BITRON C 55 W) lámpával is felszereltük.

Kísérleti halállomány

A kísérleti állomány kezdeti átlagos testtömege és testhossza $32,01 \pm 0,79$ g és $11,8 \pm 0,81$ cm volt (**9. ábra**). A kísérleti állomány a H&H Carpio Halászati Kft. mesterséges szaporításából származott, és a kísérletet megelőzően recirkulációs rendszerben neveltük a faj, illetve az adott korosztályok igényeinek figyelembe vételével: vízhőmérsékleti (20-

24°C), egyéb környezeti paraméterek: (DO: min. 80%, ammónia: <0,2 mg/l, nitrit: <0,5 mg/l), népesítési sűrűség: 10-35kg/m³, takarmányozás intenzitás: 1,18-2,5 %/nap.



9. ábra: A halak válogatása a kísérlet előtt

fotó: saját forrás

Alkalmazott kezelések

A kísérleti rendszer 9 egységből állt, ebbe helyeztük ki a teljes, 180 egyedből álló kísérleti állományt (3 medence/kezelés, 20 hal/medence, 60 hal/kezelés). Vizsgálatunkban egy világosszürke (kontroll), egy fekete aljú és világosszürke oldalfalakkal ellátott (SA), valamint egy világosszürke aljú és fekete oldalfalakkal ellátott (SO) medence hatását vizsgáltuk a sügér termelési (túlélési arány, testtömeg, specifikus növekedési ütem, takarmányértékesítés) és antioxidáns paramétereire (kortizol, glükóz, MDA - Malondialdehid, kataláz, C-vitamin, GPx - Glutation-peroxidáz, GR - Glutation-reduktáz, GSH - Glutation), GSSG - Glutation-diszulfid és HSP70 - Hősokk protein).

Takarmányozási protokoll

A kísérlet megkezdése előtt a halak két napig akklimatizálódnak a környezeti és technológia feltételekhez. A napi takarmányadag a halak teljes biomasszájának 1%-a volt (ALLER AQUA IVORY EX: 2 mm-es táp, 54% nyersfehérje és 20% nyerszsír, Aller Aqua Group, Allervej, Christiansfeld, Dánia), és naponta kétszer kézzel került kiosztásra. Az el nem fogyasztott takarmányt és a halak ürülékét naponta eltávolítottuk a medencék

aljáról. A kísérlet végrehajtása során nem változtattunk a kezdeti, biomassza százalékában meghatározott takarmányadagon, vagyis a napi takarmányadagokat nem módosítottuk a halbiomassza növekedésével párhuzamosan.

Vízminőségi paraméterek

A víz oldott oxigéntartalmát, a vízhőmérsékletet és a pH-t naponta ellenőriztem (HACH HQ30d). A vízben lévő különböző nitrogénformák koncentrációját hetente mértem (N-NH_3^+ , N-NO_2^- és N-NO_3^- (HACH DR3900) spektrofotométerrel (Hach Company CO, Ames, Iowa, USA).

Termelési paraméterek

A kísérlet végén a következő képletek segítségével meghatározásra került a túlélési arány (S), a végső testtömeg (BWf), a specifikus növekedési ütem (SGR), a takarmányértékesítés (FCR), a Fulton-féle kondíciófaktor (K-faktor) és az állomány homogenitása (CV%). A K-faktor kiszámítása érdekében a halakat milliméterpapírra helyeztünk petricsészében lefényképeztük, majd digitális képanalízis (Image J szoftver) segítségével meghatároztuk a testhosszukat.

- Megmaradás (%): $S = (\text{lehalászott darabszám/kihelyezett darabszám}) \times 100$,
- SGR (%) = $(\ln W_f - \ln W_i) / t \times 100$, ahol: W_f : végső testtömeg (g), W_i : kezdő testtömeg (g), t: napok száma,
- FCR (g/g) = $F / (W_f - W_i)$, ahol: F: a kísérlet során kietetett takarmány mennyisége szárazanyagban (g), W_f : végső testtömeg (g), W_i : kezdő testtömeg (g),
- Fulton-féle kondíciófaktor (K-faktor) = $W / L^3 \times 100$, ahol W a nedves tömeg (g), L pedig a standard hossz (mm) és
- Homogenitás (CV%) = $(\text{szórás/átlag}) \times 100$.

Mintavétel

A kísérlet végén egységenként három hal került altatásra vérvétel céljából szegfűszegolaj (3-5 ml/100 liter, Aromax szegfűszegolaj 10ml) segítségével. A vért a halak farki vénájából vettük 1 ml térfogatú egyszer használatos inzulinos fecskendővel. A mintavétel során 2 mL összevont mintát EDTA-s csövekbe gyűjtöttünk, és alvadásgátlót (heparint) adtunk hozzá az alvadás megelőzésére 5 mg/ml koncentrációban (**10. ábra**). A minta előkészítése során az EDTA-s csöveket 4 °C-on 2500 rpm-en 10 percig centrifugáltuk az

antioxidáns paraméterek méréséhez. A felülúszóban elvált plazmát Eppendorf-csövekbe pipettáztuk, és további felhasználásig $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, fagyasztva tároltuk.



10. ábra: A vérminták laboratóriumi mérése

fotó: saját forrás

Antioxidáns paraméterek mennyiségi meghatározása

A vérplazma minták C-vitamin koncentrációját (PRS-0060FI, PARS BIOCHEM), kortizol szintjét (PRS-0006FI, PARS BIOCHEM) és a HSP70 fehérje koncentrációját (PRS-0026FI, PARS BIOCHEM) kereskedelmi forgalomban elérhető ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) kitek segítségével határoztuk meg. A glükóz (E-BC-K234, E-Labscience, Eching, Németország), a glutation-reduktáz aktivitás (ab83461, Abcam, Cambridge, Egyesült Királyság), a glutation (703002, Cayman Chemical, Ann Arbor, USA), a C-vitamin (ab65656, Abcam, Cambridge, Egyesült Királyság) a kataláz aktivitás (ab83464, Abcam, Cambridge, Egyesült Királyság) és a glutation-peroxidáz aktivitás (ab102530, Abcam, Cambridge, Egyesült Királyság) mérése a kereskedelmi forgalomban kapható kolorimetrikus assay-k segítségével történt. A lipidperoxidáció monitorozása céljából a vérplazma malondialdehid (MDA) koncentrációja is meghatározásra került szintén kolorimetriás módszerrel (ab118970, Abcam, Cambridge, Egyesült Királyság).

Az ELISA és kolorimetrikus assay-k abszorbancia adatainak gyűjtése SPECTRO-star Nano Microplate reader (BMG LABTECH, Ortenberg, Németország) készülék segítségével történt.

Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzéseket az SPSS 22.0 for Windows szoftver segítségével végeztem. A kapott adatokat Kolmogorov-Smirnov teszttel vizsgáltam az eloszlás normalitására. A kísérleti csoportok közötti varianciák homogenitását Levene-teszttel ellenőriztem. A kezelések hatását a halak növekedési teljesítményére és antioxidáns paramétereire egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) elemeztem. A kezelések közötti szignifikáns különbségek meghatározására Tukey többszörös összehasonlító tesztjét (kezdeti és végső testtömeg) és Duncan többszörös tartománytesztjét (S, FCR, SGR, CV, K) használtam (JABEEN et al., 2004; ABIDI et al., 2007; IBRAHIM és NAGGAR, 2010). A $p < 0,05$ érték minősült szignifikánsnak az elemzések során.

3.1.2. Különböző fényviszonyok hatása a termelési paraméterekre

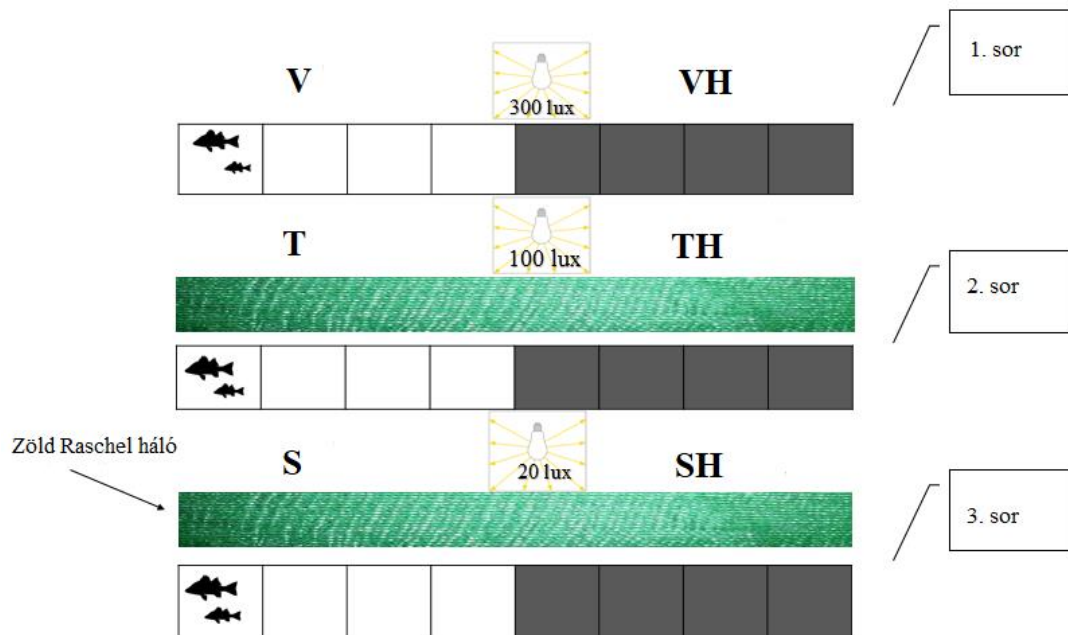
A ragadozó halfajok fokozott táplálkozási aktivitást mutatnak szürkületben (HELFMAN, 1986; CZARNECKA et al., 2019). A kísérlet során 3 hónapos, előnevelt és tápra szoktatott sügér állományban vizsgáltuk a fényintenzitás és a víz zavarosságának hatását a termelési paraméterekre és a kannibalizmus kialakulására egy akváriumi modellrendszerben.

Tesztkörnyezet

A kísérletet a DE MÉK Halbiológiai Laboratóriumának egyik moduláris akváriumrendszerében hajtottuk végre. A horganyzott állványon 3 sorban (8 db akvárium/sor, összesen 24 db) helyezkednek el az egyenként 12,96 literes hasznos víztérfogatú, négyzet alakú üvegakváriumok. Az egység sajátossága, hogy recirkulációs rendszerként és egyedi szűréssel is működtethető. A kísérleti egységek alatt található egy puffer tér, amely a recirkulációs rendszerben történő üzemeltetés esetén befogadja az akváriumok elfolyó vizét, illetve egy PONTEC PONDOMAX ECO 8000 típusú szivattyú segítségével, friss vízzel látja el azokat. A puffer térben emelett egy fix ágyas biológiai szűrő, illetve vízfűtők (AQUA MEDIC titánium fűtők 500 W) is elhelyezésre kerültek. A rendszer vízhőmérséklete egy AQUA MEDIC T CONTROLLER TWIN berendezés segítségével szabályozható. Az egyedi akváriumi szűrés lehetőségének biztosítása érdekében az akváriumok saját szivacsszűrővel is el vannak látva, a megfelelő oldott

oxigén koncentráció biztosítása egy RESUN LP-100 légpumpa, illetve az akváriumokban elhelyezett levegőztető kövekkel (RESUN AS-105 26 x 52 mm) történt. A kísérleti egységek megvilágítása egy az akváriumok felé épített LED szalag (EVERGROW LED IT5012) segítségével történt.

A 4 hetes vizsgálat során egységenként egyedi szivacszűrést alkalmaztunk és a tesztkörnyezetet összesen 24 db egység alkotta (11. ábra).



11. ábra: A különböző megvilágítás és zavarosság hatását célzó kísérlet során alkalmazott kezelések

Kísérleti halállomány

A kísérleti állomány a H&H Carpio Halászati Kft. mesterséges szaporításából származott, és a kísérletet megelőzően recirkulációs rendszerben tartottuk a faj, illetve az adott korosztályok igényeinek figyelembe vételével (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire fejezet*).

A vizsgálatot akváriumonként 10-10, összesen 240 sügér ivadékkal állítottuk be. A kihelyezés előtt a halak nedves testtömegét és testhosszát ($1,69 \pm 0,04$ gramm; $3,71 \pm 0,8$ cm) egyedileg határoztuk meg, amelyhez tizedes pontosságú digitális mérleget (VWR LP-6501, max: 6500 gramm, 0,1 gramm pontosság) használtunk.

Alkalmazott kezelések

A kísérlet során három kezelést, illetve ezeken belül további két változót alkalmaztunk. Valamennyi beállítást 4-4 ismétlésben hajtottunk végre. A kísérleti állomány egy részét 300 lux megvilágítás (V), a második kezelést 100 lux megvilágítás (T), míg a harmadik kezelést 20 lux megvilágítás (S) mellett neveltük (**11. és 12. ábra**). A különböző intenzitású megvilágítást az akvárium sorok között felszerelt, különböző sűrűségű raschel hálók segítségével állítottuk be. A fényintenzitást PKT-5065 LUXMETER segítségével határoztuk meg, hetente egy alkalommal. Minden kezelés esetében kialakítottunk olyan csoportokat, amelyek vizét huminsav (HUMIN Aqua, Gyártó: ARGI-TECH BIO s.r.o. Brestovec, Szlovákia) segítségével sötétítettük el (VH, TH, SH). A megvilágítás időtartama napi 14 óra volt (06 - 20 óra).



12. ábra: A kísérleti elrendezés a különböző megvilágítás és zavarosság hatását célzó vizsgálat során

fotó: saját forrás

Takarmányozási protokoll

A napi takarmányadagok meghatározása kezdeti biomasza 2,5%-ban történt. A kísérlet során alkalmazott takarmány az AQUA GARANT AQUA START 1 mm-es szemcseméretű táp volt (nyersfehérje: 60%, nyerszsír: 15%, Garant-Tiernahrung Gesellschaft m.b.H., Pöchlarn, Ausztria). A halak egy heti tápmennyisége előzetesen kimérésre került, majd *ad libitum*, kézből került kijuttatásra, napi 3 alkalommal, 9:00, 12:00 és 16:00 órakor. A kísérlet végrehajtása során nem változtattunk a kezdeti, biomasza százalékában meghatározott takarmányadagon, vagyis a napi takarmányadagokat nem módosítottuk a halbiomasza növekedésével párhuzamosan. A kísérlet során naponta két alkalommal, műanyag csővel eltávolításra került az el nem fogyasztott takarmány, illetve a halak ürüléke, illetve naponta 10%, hetente egyszer 50% vízcserét hajtottunk végre. A vízcserét követően a huminsavas kezelések esetében a víz zavarosságát (NTU) 7-7 ml huminsav adagolásával állítottuk be.

Vízminőségi paraméterek

A vízminőségi paraméterek meghatározása során az alkalmazott módszerek, eszközök és a vizsgált mutatók teljes mértékben megegyeztek a korábbi kísérletekkel (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*). A víz zavarosságát (NTU) hetente ellenőriztük HACH LANGE DR3900 spektrofotométer segítségével, 3-3 véletlenszerűen kiválasztott akváriumból vett mintákból.

Termelési paraméterek

A vizsgált termelési paraméterek képlete teljes mértékben megegyezett a korábbi kísérletekben alkalmazottakkal (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

Statisztikai analízis

Az alkalmazott statisztikai módszerek teljes mértékben megegyeztek a korábban leírtakkal (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

3.2.Süger takarmányozási kísérletek

3.2.1. Az etetési gyakoriság hatása a termelési paraméterekre

A süger takarmányozási technológiájának fejlesztése során, a megfelelő összetételű és szemcseméretű tápok biztosítása, valamint a takarmányozás intenzitásának helyes megválasztása mellett a takarmányadagok időbeli elosztása is alapvető fontosságú. Az egy- és kétnyaras állományok esetében saját megfigyeléseink azt mutatták, hogy a kora reggeli és késő esti etetések bizonyulnak a leghatékonyabbnak. Az ivadéknevelés korai szakaszában egy 6 hetes kísérlet keretében vizsgáltuk, hogy azonos takarmányadagok mellett, a kijuttatásra szánt mennyiséget milyen elosztásban célszerű kietetni.

Tesztkörnyezet

A kísérletet a DE MÉK Halbiológiai Laboratóriumában (**13. ábra**) egyik moduláris akvárium rendszerében hajtottuk végre. A 3.1.2. fejezetben bemutatott kísérleti egység mellett elhelyezkedő rendszer fő sajátossága, hogy a horganyzott állványon 3 sorban 4-4 db, összesen 12 db négyzet alakú üvegakvárium található, amelyek egyenként 23,5 literes hasznos víztérfogattal rendelkeznek. Az egység recirkulációs rendszerként és egyedi szűréssel egyaránt működtethető (egységek alatt puffer térrel, PONTEC PONDOMAX ECO 8000 típusú szivattyúval, fix ágyas biológiai szűrővel, AQUA MEDIC titánium fűtők 500 W vízfűtőkkel és AQUA MEDIC T CONTROLLER TWIN berendezéssel szerelt). A levegőztetés RESUN LP-100 légpumpa, illetve az akváriumokban elhelyezett levegőztető kövekkel (RESUN AS-105 26 x 52 mm), a megvilágítás LED szalag (EVERGROW LED IT5012) segítségével történt. A kísérlet során a moduláris akvárium egységet recirkulációs rendszerként üzemeltettük.



13. ábra: A moduláris akvárium rendszer

forrás: <https://hirek.unideb.hu/suger-az-egyetemtol>

Alkalmazott kezelések

A vizsgálat során 3 kezelést alkalmaztunk, 4-4 ismétlésben. A napi takarmányadagokat a kezdeti biomassza 5%-ban határoztuk meg, amelyet az első kezelés esetében napi kétszeri megosztásban (T2 kezelés; 08:00 és 20:00), a második kezelés esetében napi háromszori (T3 kezelés, 8:00 - 14:00 - 20:00), míg a harmadik csoport esetében napi négyszeri megosztásban (T4 kezelés; 8:00 - 12:00 - 16:00 - 20:00) etettünk ki.

Takarmányozási protokoll

A napi takarmányadag minden esetben akváriumonként összesen 2 gramm volt. A kísérlet végrehajtása során nem változtattunk a kezdeti, biomassza százalékában meghatározott takarmányadagon. A takarmányozás során 1,5 mm-es szemcseméretű tápot alkalmaztunk (AQUA GARANT AQUA START 1,5 mm, nyersfehérje: 52%, nyerszsír: 20%, Garant-Tiernahrung Gesellschaft m.b.H., Pöchlarn, Ausztria), amelyet automata önetetők (JBL AutoFood Black, Germany) segítségével juttattunk ki.

Kísérleti halállomány

A kísérlet során akváriumonként 10-10 sügér ivadékot helyeztünk ki, amelyek egyedi átlagos testtömege a vizsgálat kezdetén $3,93 \pm 0,06$ gramm volt. A kísérleti állomány a H&H Carpio Halászati Kft. mesterséges szaporításából származott és a kísérletet megelőzően recirkulációs rendszerben neveltük a faj, illetve az adott korosztályok igényeinek figyelembe vételével (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire fejezet*).

Vízminőségi paraméterek

A vízminőségi paraméterek meghatározása során az alkalmazott módszerek, eszközök és a vizsgált mutatók teljes mértékben megegyeztek a korábbi kísérletekkel (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

Termelési paraméterek

A vizsgált termelési paraméterek képlete teljes mértékben megegyezett a korábbi kísérletekben alkalmazottakkal (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

Statisztikai analízis

Az alkalmazott statisztikai módszerek teljes mértékben megegyeztek a korábban leírtakkal (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

3.2.2. A lisztbogár lárva beillesztése a sügér takarmányozásába

Számos kutatás vizsgálta, hogy vajon kiváltható-e a hagyományos, száraz takarmány egyéb alternatív fehérjeforrásokkal, mint a növény alapú fehérje, vagy esetünkben a rovarfehérje. Ezek a kutatások elsősorban száraz, porított formában (rovarliszt) kísérleteztek a rovarfehérje beillesztésével a haltakarmányozásba. Kísérletünk során arra kerestünk a választ, hogy az élő lisztbogár lárva alkalmas-e legalább részben kiváltani a halliszt alapú takarmányt, illetve milyen arányban alkalmazható a halak takarmányozásában a termelési paraméterek leromlásának elkerülése mellett.

Tesztkörnyezet

A 35 napos kísérletet a DE MÉK Halbiológiai Laboratóriumának 3.2.1-es fejezetében bemutatott moduláris akváriumrendszerében hajtottuk végre (12 db akvárium, recirkulációs rendszerben).

Kísérleti halállomány

A vizsgálatot akváriumonként 5, összesen 60 egyeddel állítottuk be. A halak átlagos testsúlya $24,25 \pm 0,26$ g volt. A megvilágítás időtartama napi 14 óra (06 - 20 óra) volt. A kísérleti állomány a H&H Carpio Halászati Kft. mesterséges szaporításából származott és a kísérletet megelőzően recirkulációs rendszerben neveltük a faj, illetve az adott korosztályok igényeinek figyelembe vételével (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire fejezet*).

Alkalmazott kezelések

A kísérlet során 4 kezelést alkalmaztunk, 3-3 ismétlésben. A kezelések elnevezésüket a lisztbogár lárva (L) és annak az aránya (%) alapján kapták (**14. ábra**). Az LT75% csoport 75%-ban élő lisztbogár lárvát 25%-ban száraz tápot kapott, az LT50% csoport 50%-ban élő lisztbogár lárvát, 50%-ban tápot kapott. Az LT25%-os csoport 25%-ban lisztbogár lárvát, 75%-ban tápot fogyasztott a kísérlet alatt. A kontroll csoport (K) 100%-ban száraz takarmányt kapott a teljes idő alatt.



14. ábra: A kimért élő lisztbogár lárva és takarmány adagok

fotó: saját forrás

Azok a csoportok, melyek etetési protokolljában a száraz takarmány is szerepelt, kereskedelmi forgalomban kapható tápot kaptak (AQUA GARANT UNI, 2 mm, nyersfehérje: 47%, nyerszsír: 16%, Garant-Tiernahrung Gesellschaft m.b.H., Pöchlarn, Ausztria), amely naponta kétszeri megoszlásban, kézzel került kijuttatásra. A kísérlet során 1,08%-os takarmányozási intenzitást alkalmaztunk. A lisztbogár lárva szárazanyag tartalma laboratóriumi méréseink alapján 40%, azon belül 51% - os fehérjetartalommal, magas zsírtartalommal (33-34%), 4-5% hamutartalommal, valamint 10-12% szénhidrát (főként kitin) tartalommal rendelkezett (Vizsgálati módszer: MSZ ISO 937:20000; Debreceni Egyetem, Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrárműszerközpont). A lisztbogár lárvát fogyasztó kezelések napi takarmányadagjai szárazanyag ekvivalencia alapján kerültek kiszámításra (**1. táblázat**).

1. táblázat: A lisztbogár lárva beilleszhetőségét vizsgáló kísérlet során alkalmazott takarmányozási protokoll

Kezelés	LT75	LT50	LT25	K
Takarmány (g)	1,3 g	1,3 g	1,3 g	1,3 g
Lisztbogár lárva kiegészítés aránya (%)	75%	50%	25%	0%
Lisztbogár lárva kiegészítés aránya (g)	2,44 g	1,63 g	0,81 g	0 g
Lisztbogár lárva kiegészítés aránya (szárazanyag g)	0,98 g	0,65 g	0,325 g	0 g
Táp kiegészítés aránya (g)	0,33 g	0,65 g	0,98 g	1,3 g

Vízminőségi paraméterek

A vízminőségi paraméterek meghatározása során az alkalmazott módszerek, eszközök és a vizsgált mutatók teljes mértékben megegyeztek a korábbi kísérletekkel (3.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire).

Termelési paraméterek

A vizsgált termelési paraméterek képlete teljes mértékben megegyezett a korábbi kísérletekben alkalmazottakkal (3.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire).

Statisztikai analízis

Az alkalmazott statisztikai módszerek teljes mértékben megegyeztek a korábban leírtakkal (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

3.2.3. A lisztbogár lárva nyomelem dúsítása

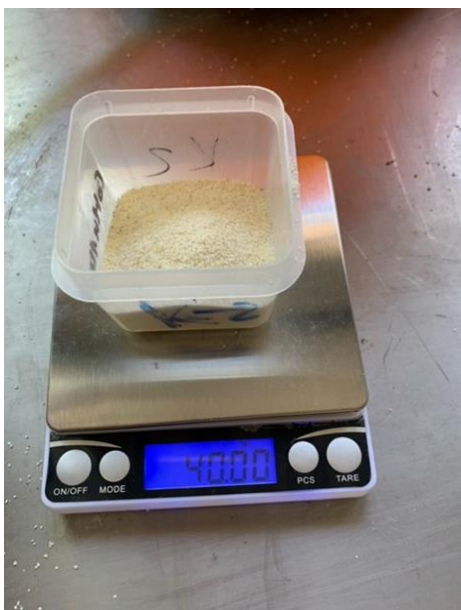
A lisztbogár lárva nyomelem dúsítási protokolljának kidolgozása érdekében 2 különböző, ugyanakkor egymással összefüggő kísérletet is beállítottam. A két kísérlet közötti alapvető különbség, hogy az első kísérletben kizárólag a 7. és 14. napon vettem mintát a nyomelemekkel dúsított szubsztrátumban nevelt lárvákból, a második vizsgálatban pedig a 7. és 14. nap között folyamatosan, minden nap mintáztam a lárva elemfelvételét, felmérve ezzel, hogy pontosan hogyan változik a lárva nyomelem akkumulációja az említett időperiódusban

Az első kísérlet során a saját termelésből származó lárva (15. ábra) kobalttal és mangánnal, a halak számára esszenciálisnak számító nyomelemekkel történő dúsítását egy 14 napos kísérlet során hajtottuk végre, amelynek 7. és 14. napján történt a mintavétel, illetve a nyomelemfelvétel meghatározása.



15. ábra: A saját termelésből származó lárva

fotó: saját forrás



16. ábra: A búzadara táptalaj kimérése a műanyag egységekbe

fotó: saját forrás

A 150 ml-es műanyag dúsító edényeket 40 g étkezési búzadarával (GYERMELYI ÉTKEZÉSI BÚZADARA, Zsír 0,7 g, amelyből telített zsírsavak 0,3 g, Szénhidrát 72,3 g, amelyből cukrok 2,2 g, Fehérje 10,1 g) töltöttem fel (**16. ábra**). A szubsztrátra 100 mg/kg-os koncentrációban kobalt-klorid és mangán klorid oldatot, illetve a két mikroelem kombinációját juttattam ki (kontroll, kobalt, mangán, kobalt-mangán kezelések; 3-3 ismétlés), ahogyan az **17. ábrán** látható.



17. ábra: A nyomelem oldatok kijuttatása a búzadara táptalajra

fotó: saját forrás

A szárítást és homogenizálást követően minden egységbe 10-10 kezdeti fejlődési stádiumban lévő $0,03 \pm 0,003\text{g}$ testtömegű lárva helyeztem ki (összesen 240 lárva). A lárva növekedését és nyomelem-felvételét a 7. és a 14. nap vonatkozásában határoztuk meg (2 x 12 kezelés).

A kísérlet elején és végén egyaránt meghatároztam a lisztbogár lárva egyedi testtömegét, valamint a megmaradási arányt. A mintavétel során a keresztzennyezés elkerülése végett műanyag csipesszel kerültek kiválogatásra a lárva a tápközegből. A lárva műanyag mintavételi zacskóban lettek tárolva fagyasztóban ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) a laboratóriumi mérésekig, ahol először roncsolásra kerültek, majd meghatároztam a kezelése kóbal (mg/kg) és mangán (mg/kg) tartalmát. A minták elemanalitikai mérése induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer (ICP-OES) segítségével történt.

Lisztbogár lárva elemanalitikai vizsgálata

A lisztbogár lárva elemanalitikai vizsgálata érdekében a kísérleti rovarállományokat a dúsítás 7. és 14. napján mintáztuk. A beállított 4 kezelésnek (K, Co100, Mn100, CoMn100) és 3-3 ismétlésnek megfelelően a 2 mintavétel során egyenként 12-12 mintát dolgoztunk fel. A mintákat egységként 10-10 lisztbogár lárva szolgáltatva, amelyeket a kémiai analízist megelőzően szárítószekrényben 105°C -on tömegállandóságig szárítottunk, majd achát mozsárban porítottunk. A porított minták $0,5\text{-}0,6$ grammját analitikai mérlegen az Ethos UP teflonbombás roncsoló edényeibe mértük, majd $5,0\text{ ml}$ 65% (m/m)-os salétromsav és $1,0\text{ ml}$ 30% (m/m)-os hidrogén-peroxid elegyével roncsoltuk. A roncsolt mintákat Milli-Q vízzel $25,0\text{ ml}$ -re töltve elkészítettük a minta oldatokat. Az előkészített minták elemanalitikai vizsgálata induktívan csatolt plazma optikai emissziós spektrométer (ICP-OES - Agilent ICP-OES 5110 VDV) segítségével, ötpontos monoelemes kalibrációt alkalmazva, három-három ismétlésben történt. A mintabevitelhez SeaSpray porlasztót és koncentrikus ködkamrát, az automata mintaadagoláshoz egy SPS4 automata mintaváltót használtunk.

Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzéseket az SPSS 22.0 for windows szoftver segítségével végeztük el. A kísérleti csoportok közötti varianciák homogenitását Levene-teszt segítségével ellenőriztük. A kezelések közötti szignifikáns különbségek meghatározására Tukey többszörös összehasonlító tesztjét (kezdeti és végső testtömeg, nyomelem felvétel). A $p < 0,05$ érték minősült szignifikánsnak az elemzések során.

A lisztbogár lárva kobalttal és mangánnal való dúsítása és a nyomelem felvétel vizsgálata a 7. és 14. nap között

A második lisztbogár lárva dúsítási kísérlet során a rovarlárva kobalt és mangán akkumulációját a 7.-14. nap között, naponta vizsgáltuk. Vizsgálatom fő célja a korábbi dúsítási teszt során kapott eredmények megerősítése, megbízhatóságuk ellenőrzése, illetve annak megállapítása volt, hogy a 7. és 14. nap közötti időperiódusban a lárvák nyomelemtartalma folyamatos növekedést mutat, vagy esetleg azok fejlődésével ingadozik.

A dúsítási protokoll és a kísérleti beállítás a korábban bemutatott technológia szerint történt. A lisztbogár lárvák nyomelemekkel való dúsítása 150 ml-es műanyag egységekben történt, amelyekbe 84 g biomassa tömegű élő lisztbogár lárvát helyeztünk ki (7 gramm/egység). A műanyag egységeket 40 g étkezési búzadarával töltöttük fel. A nyomelemeket oldat formájában (kobalt-klorid, mangán-klorid) juttatuk ki a lisztbogár lárva szubsztrátumául szolgáló búzadarára 100 mg/kg koncentrációban, majd homogenizáltuk a táptalajt az oldattal. 24 órás száradást követően helyeztük ki a lárvákat az egy hetes dúsítási periódusra.

Az egy hetes dúsítást követően a 7. és 14. nap között minden nap mintát vettünk, naponta 12x1 g élő lisztbogár formájában (3 g/kezelés), ez összesen naponta 90-100 egyedet jelentett, felmérve azt, hogyan változik napról napra a lárva nyomelem akkumulációja (**18. ábra**).



18. ábra: A kísérleti állomány mintázása
fotó: saját forrás

A kísérlet folyamán a kimért lisztbogár lárva mintákat a nyomelem analízis elvégzéséig fagyaszttóban tároltuk -18 fokon, 30 napig. A lárvák elemanalitikai analízise teljesen mértékben megegyezett a fentebbi fejezetben leírtakkal (3.2.3. *A lisztbogár lárva nyomelem dúsítása*).

Statisztikai elemzés

Az adatok statisztikai értékelése teljesen mértékben megegyezett a fentebbi fejezetben leírtakkal (3.2.3. *A lisztbogár lárva nyomelem dúsítása*).

3.2.4. A sügér kobalt és mangán felvétele a dúsított lisztbogár lárvával történő etetés eredményeként

Kísérleti beállítás

Kísérletünkben a haltakarmányt 100%-ban élő lisztbogár lárvával váltottuk ki. A rovarokat a halak számára két esszenciális nyomelemmel, kobalttal és mangánnal, valamint azok kombinációjával dúsítottuk. A vizsgálat célja a halak közvetett nyomelem-akkumulációjának feltárása volt, a hipotézisünk szerint a lisztbogár lárvák által szerves kötésbe került nyomelemeket a halak képesek akkumulálni a rovarok elfogyasztásával. A kísérlet időtartama 28 nap volt. A kihelyezés után három hét akklimatizációs időt alkalmaztunk, hogy a halak megszokják a számukra új közeget. A kísérlet során 4 kezelés került beállításra, egyenként 3 ismétlésben.

Tesztkörnyezet

A vizsgálatot a DE MÉK Halbiológiai Laboratórium kísérleti recirkulációs rendszerében állítottuk be. A rendszer műszaki és technológiai paramétereit a 3.1.1. fejezetben részletesen ismertettem.

Kísérleti halállomány

A kísérlet kezdetén medencénként 15, kezelésenként 45, összesen 180 db előzetesen leválogatott sügér került kihelyezésre $83,15 \pm 12,20$ g átlagos egyedi testtömeggel. A kísérleti állomány a H&H Carpio Halászati Kft. mesterséges szaporításából származott és a tesztet megelőzően recirkulációs rendszerben neveltük a faj, illetve az adott korosztályok igényeinek figyelembe vételével (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire fejezet*).

Alkalmazott kezelések

A kísérleti beállításnál a korábban alkalmazott nyomelem dúsítási protokollt alkalmaztuk (4. Anyag és módszer: 4.1.1. A lisztbogár lárvá nyomelem dúsítása, 4.1.2. A lisztbogár lárvá kobalttal és mangánnal való dúsítása és a nyomelem felvétel vizsgálata a 7. és 14. nap között.) A kezelések a következők voltak: kobalttal dúsított kezelés (Co), mangánnal dúsított kezelés (Mn), valamint a két nyomelem együttes kombinációja (CoMn), végül a kontroll (K) csoport. A megvilágítás időtartama napi 12 óra volt (08 - 20 óra).



19. ábra: A kimért lisztbogár lárvá adagok kezelésenként

fotó: saját forrás

Minden nap végén előzetesen kimérésre került a következő napi takarmányadag, amely többszöri kijuttatásban került kiosztásra (**19. ábra**).

Takarmányozási protokoll

A halak a testsúlyukhoz és a 22 °C-os vízhőmérsékleten javasolt 1% takarmány mennyiséget kaptak dúsított élő lisztbogár formájában. Az etetésre szánt lisztbogár lárvá mennyisége szárazanyag ekvivalencia alapján (40% szárazanyag) került meghatározásra (**2. táblázat**).

2. táblázat: A lisztbogár lárvá beilleszhetőségét vizsgáló kísérlet során a halak heti takarmányadagja kezelésenként

Kezelés	Kontroll	Co	Mn	CoMn
Takarmányozási intenzitás	1%	1%	1%	1%
Takarmány igény szárazanyagban (g)/hét	262 g	262 g	262 g	262g
Élő lisztbogár (g)/hét	655 g	655 g	655 g	655 g

A kísérlet megkezdése előtt 7 nappal az egy heti etetéshez szükséges mennyiségű lisztbogár lárvát kihelyeztem az előzetesen nyomelemekkel dúsított szubsztrátumokra (**20. ábra**), amit 1 hét elteltével folyamatosan kiettem a halak számára (7 napon keresztül).



20. ábra: A nyomelem oldatok kijuttatása

fotó: saját forrás

Ezután a kísérlet 4 hetes időtartama alatt minden hét elején új dúsítást állítottunk be a következő heti takarmány biztosítása érdekében (**21. ábra**).



21. ábra: A dúsított lisztbogár lárvá tenyészetek

fotó: saját forrás

A kontroll csoport kizárólag nyomelemmel előzetesen nem dúsított lisztbogár lárvát kapott a kísérlet során. Az adagok minden nap elején kimérésre kerültek, amelyet a halak kétszeri megosztásban, 09:00 és 15:00 órakor kaptak meg. A keresztszennyezés elkerülése érdekében minden kezeléshez külön műanyag szitát alkalmaztunk a napi takarmányadagok kimérésehez, valamint műanyag kesztyűt használtunk a szubsztrátum frakciók eltávolítása során. A takarmányadag kiválogatása során a nyomelemekkel dúsított táptalaj frakciókba tömörült, amiket minden esetben eltávolítottunk a kijuttatás előtt a keresztszennyezés elkerülése érdekében, ugyanis igen jól oldódik a kobalt és a mangán is a vízben.

Vízminőségi paraméterek

A vízminőségi paraméterek meghatározása során az alkalmazott módszerek, eszközök és a vizsgált mutatók teljes mértékben megegyeztek a korábbi kísérletekkel (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

A rendszervíz mikorelemekkel történő keresztszennyezettségének megállapítása érdekében minden héten vízmintát vettem (50 ml térfogatú mintavételi cső), majd meghatároztam a minta nyomelem koncentrációját (Agilent ICP-OES 5110 VDV).

Termelési paraméterek

A vizsgált termelési paraméterek képlete teljes mértékben megegyezett a korábbi kísérletekben alkalmazottakkal (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).

Statisztikai analízis

Az alkalmazott statisztikai módszerek teljes mértékben megegyeztek a korábban leírtakkal (3.1.1. *A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire*).



22. ábra: A halak testsúly mérése

fotó: saját forrás

Nyomelem akkumuláció vizsgálata:

A kísérlet végén minden medencéből, 2-2 halból filé és egész testes mintát vettünk, hogy meghatározzuk a halak nyomelem akkumulációját. A minták fémszennyezésének elkerülése érdekében kereskedelmi forgalomban kapható műanyag vágóeszközzel végeztük a boncolást (**23. ábra**).



23. ábra: Filé mintavétel a kísérlet végén

fotó: saját forrás

A vízminták nyomelem tartalma

A keresztszennyezés meghatározása érdekében a kísérlet során hetente vízmintát vettünk a rendszerből. Az 50,0 ml vízmintákat 1 ml 65% (m/m)- os salétromsavval tartósítottuk, majd a mérésig + 4°C- os hőmérsékleten kerültek tárolásra. A kísérlet ideje alatt a rendszervíz kobalt koncentrációja $2,52 \pm 0,20$ ug/L volt, míg a mangán ennél is jóval alacsonyabb értéket mutatott ($0,20 \pm 0,02$ ug/L).



24. ábra: A húsminták kezelésenként

fotó: saját forrás

A húsmintákat a mintavétel után légmentesen zárható mintavételi tasakba helyeztük, majd a további vizsgálatokig fagyasztoába (-18 °C) kerültek (24. ábra).



25. ábra: A húsminták liofilizálása

fotó: saját forrás

A húsminták nyomelem tartalma

A húsminták elsőként liofilizálásra kerültek (ScanVac Superior Pro, Labogene, Dánia). A minták -55 °C hőmérséklet mellett, csoportonként 24 órán át liofilizáltuk, reggel 9-től másnap reggel kilencig voltak a fagyasztva szárító szekrényben. A gép automatikus beállítással működött (25. ábra). A halhús minták liofilizálás után kerültek elemzésre. A hátizomszövet mintákat achát mozsárban, a teljes haltest mintákat kerámia késes laboratóriumi daráló segítségével porítottam.

A hátizomszövetek 0,2 g-os, a teljes haltest minták 0,4 g-os részletei kerültek roncsolásra a mikrohullámú feltáróberendezésben, rendre 6,0 ml 65% (m/m)-os salétromsav és 2,0 ml 30 % (m/m)-os hidrogén-peroxid, és 12,0 ml 65% (m/m)-os salétromsav és 4,0 ml 30% (m/m)-os hidrogén-peroxid elegy segítségével. A kész oldatok 25.0 illetve 50 ml-re lettek feltöltve Milli-Q vízzel. A további mérésekig +4°C- on lettek tárolva a minták.

A halminták elemanalitikai összetételének meghatározása induktívan csatolt plazma optikai emissziós spektrométer (Agilent ICP-OES 5110 VDV) segítségével történt (Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék). A mérések SPS4 autosampler, Seaspray porlasztó és double pass ködkamra használatával történtek, mint standard mintabeviteli rendszer. Az elemtartalom (Co, Mn, Na, K, Ca, Mg, Fe, Al, Ba, Sr, Cu, Zn, Ni, Pb, Cr, Cd) meghatározásához öt pontos kalibrációs görbék kerültek alkalmazásra, amelyek 1000 mg/l-es (Merck) standard oldatok hígításával készültek. Az eredmények hitelességének ellenőrzése CRM hal referencia minta használatával történt, a visszamérés minden elem esetében $\pm 10\%$ belüli érték, ami megbízhatónak tekinthető elemanalitikai szempontból.

4. EREDMÉNYEK

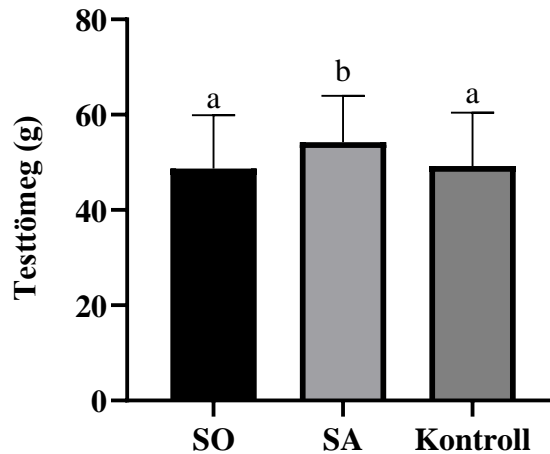
4.1. Sügér tartástechnológiai kísérletek

4.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire

Termelési paraméterek

A víz oldott oxigén tartalma a kísérlet során $7,55 \pm 0,34$ mg/l, a vízhőmérséklet $22,65 \pm 0,91$ °C, míg a pH $7,51 \pm 0,14$ volt. A rendszervízben lévő nitrogénformák koncentrációja az alábbiak szerint alakult: N-NH₃⁺: $0,8 \pm 0,30$ mg/l; N-NO₂⁻: $0,07 \pm 0,11$ mg/l és N-NO₃⁻: $12,6 \pm 6,1$ mg/l.

A kísérlet teljes időtartama alatt nem volt megfigyelhető elhullás, így a túlélési arány 100%-os volt minden beállítás esetében. A kísérlet végén a halak egyedsúlyának vonatkozásban a lesötétített aljú medencében nevelt halak (SA) szignifikánsan magasabb eredményt értek el a másik két kezeléshez képest, míg a lesötétített oldalfalú medencék (SO) és a kontroll csoport (K) között nem tapasztaltunk statisztikailag igazolható eltérést (26. ábra).



26. ábra: A sügér ivadékok egyedsúlya a kísérlet végén különböző medenceszínek esetén
Kontroll: Világos szürke medenceszín; **SO:** Lesötétített oldalfalú medence; **SA:** Lesötétített aljú medence, a különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól

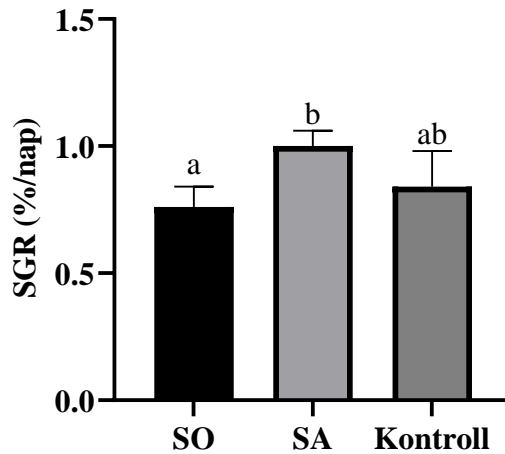
A sügér ivadékok specifikus növekedési üteme (SGR) szintén az SA kezelés esetében volt a legkedvezőbb, a medencék aljának elsötétítése szignifikánsan jobb növekedést eredményezett azokhoz a csoportokhoz képest, amelyeknek az oldalfala került letakarásra

(SO), míg a kontroll csoportól nem tért el egyiktől sem statisztikailag igazolható mértékben (27. ábra).

A sötét aljú medence feltételezhetően hasonló a sügér természetes élőhelyéhez, ennek tudhatóak be az elért kedvező termelési paraméterek. Ezt a hipotézist GROZEA et al., (2016) eredményei is alátámasztják. Kísérletükben a süllő (*Sander Lucioperca*) viselkedését tanulmányozták különböző színekkel elsötétített medencékben (szürke, világoskék, sötétkék és zöld). A vizsgálathoz egy téglalap alakú medence falait és alját egyforma színűre festették, felosztva egyenlő arányban a négy színre. A halak viselkedését videokamerával rögzítették a kísérlet alatt. Az eredmények azt mutatták, hogy a halak által leginkább preferált medenceszín a zöld volt, majd a szürke, végül a sötét- és világoskék. Az eredmények arra engednek következtetni, hogy a zöld háttér biztonságérzetet adhat a süllők számára, így a süllő zöld medencékben történő nevelése vagy szállítása a stressz csökkentését eredményezheti, valamint a halfaj számára további előnyökkel járhat. Mindezek alapján kijelenthető, hogy a sügérfélék általános jólléte jelentős mértékben függ a tartási környezet színétől.

Eredményeinket megerősíti BAYRAMI et al., (2017) vizsgálata is, akik a kecsge (*Acipenser ruthenus*) fiziológiai reakcióját és növekedési teljesítményét vizsgálták egy 12 hetes vizsgálat során, különböző medenceszínek esetében. Tizenkét, egyenként tíz egyedből álló csoportot neveltek fekete, sötétkék, szürke és fehér medencékben. A kísérlet végén elemezték a halak növekedési teljesítményét (kezdeti testsúly, végső testsúly, százalékos súlygyarapodás, fajlagos növekedési ráta) és vérparamétereit. A sötét háttérszínhez alkalmazkodott halak plazma kortizolszintje ($21,95 \pm 3,9$ ng/ml) szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a fehér medencékben tartott halaké ($39,44 \pm 6,5$ ng/ml), míg a szürke ($23,05 \pm 4,1$ ng/ml) és a sötétkék ($24,2 \pm 3,6$ ng/ml) halak kortizolszintje között nem volt szignifikáns különbség. A termelési paramétereket tekintve a fekete medencékben nevelt halak szignifikánsan magasabb testsúly gyarapodást produkáltak a kísérlet végén a többi kezeléshez képest. Az eredmények alapján a fekete szín a leginkább ajánlható háttérszín a növekedés, a túlélés és immunitás szempontjából a kecsge intenzív nevelése során.

A kontroll csoport és a lesötétített oldalfalú medencék fényviszonyai feltételezhetően hasonló körülményeket generáltak a halak számára, emiatt értek el több termelési paraméterekben azonos eredményt a kísérlet végén.



27. ábra: A sügér ivadékok specifikus növekedési üteme a kísérlet végén különböző medenceszínek esetén

Kontroll: Világos szürke medenceszín; **SO:** Lesötétített oldalfalú medence; **SA:** Lesötétített aljú medence, a különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól

A halak takarmányértékesítését (FCR) vizsgálva nem volt tapasztalható szignifikáns eltérés a kezelések között, de ebben a vonatkozásban szintén a lesötétített aljú kezelés (SA) érte el a legkedvezőbb eredményt a kísérlet végén. A halak kondíció faktorát (K-faktor), valamint az állományok homogenitását (CV%) vizsgálva az eredmények között nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést, ugyanakkor a lesötétített aljzatú medencében lévő állomány bizonyult a leginkább homogénnek a kísérletünk végén. A halak termelési paramétereit a **3. táblázat** foglalja össze.

3. táblázat: A sügér állomány termelési paramétereit különböző medenceszínek esetén

	S (%)	BWf (g)	SGR (%/nap)	FCR (g/g)	CV%	K-faktor
SO	100	48,70 ± 11,21 ^a	0,76 ± 0,08 ^a	1,40 ± 0,19	22,44 ± 4,66	2,66 ± 0,25
SA	100	54,24 ± 9,70 ^b	1,00 ± 0,06 ^b	1,29 ± 0,13	17,51 ± 2,46	2,70 ± 0,27
K	100	49,22 ± 11,21 ^a	0,84 ± 0,14 ^{ab}	1,38 ± 0,24	22,40 ± 6,56	2,62 ± 0,25

Az adatok átlag ± standard eltérésekben vannak megadva. **Kontroll:** Világos szürke medenceszín; **SO:** Lesötétített oldalfalú medence; **SA:** Lesötétített aljú medence, Az oszlopokon belül különböző betűkkel jelölt átlagértékek szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$).

Antioxidáns paraméterek

A 4. táblázat a két medenceszín (SO, SA) különböző kombinációinak a halak antioxidáns paramétereire gyakorolt hatását mutatja be. Megmértem a kortizolt és a glükózt, amelyek kiváló stressz biomarkerek. A sötét aljú medencékben (SA) nevelt halak ($55,79 \pm 3,20$ g) és a kontroll csoport ($56,62 \pm 2,89$ g) szignifikánsan alacsonyabb kortizolkoncentrációt mutatott, mint a SO csoportban nevelt halak ($SO = 66,33 \pm 2,08$ g). A glükózsintek korreláltak a kortizolszintekkel a különböző csoportok halaiban. A SA csoport halai szignifikánsan alacsonyabb glükózsintet mutattak, mint a SO csoport halai, míg a kontroll csoport halai nem különböztek ($SO = 5,33 \pm 0,94$ g; $SA = 4,13 \pm 0,83$ g; kontroll = $4,48 \pm 0,95$ g).

Az antioxidáns enzimek közül a kataláz szintje a kontroll csoportban ($4,95 \pm 0,51$ g) és a SA csoportban ($4,68 \pm 0,91$ g) szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a SO csoportban ($6,94 \pm 0,51$ g); a GR értékek azonban teljesen ellentétes tendenciát mutattak. A SO csoport GR értékei szignifikánsan alacsonyabbak voltak, mint a kontroll és a SA csoporté. A harmadik antioxidáns enzim (GPx) esetében nem találtunk szignifikáns különbséget a csoportok között ($SO = 220,09 \pm 37,62$ g, $SA = 169,48 \pm 17,66$ g, $Kontroll = 182,52 \pm 14,11$ g). Ami a glutation különböző formáit (GSH, GSSG) illeti, amelyeket mértünk, mind a GSH, mind a GSSG szintje nem különbözött a kontroll és a SA csoportok között, amelyek szignifikánsan magasabbak voltak, mint a SO csoportban.

Az alacsony molekulatömegű antioxidánsokra kapott eredmények azt mutatták, hogy a halak C-vitamin-szintje a SA csoportban szignifikánsan magasabb volt ($92,32 \pm 59,99$ g), mint a SO csoportban ($30,38 \pm 9,67$ g), míg egyik csoportban sem különbözött jelentősen a kontroll csoport szintjétől ($46,54 \pm 13,60$ g). A SA csoportban mértem a legmagasabb C-vitamin szintet, ami feltehetően annak köszönhető, hogy a halak nem használták fel testi vitaminkészleteiket az oxidatív stressz elleni védekezésre. A kísérlet végén mért MDA-értékeket tekintve a kontroll csoport eredményei ($1029,31 \pm 183,83$ g) szignifikánsan alacsonyabbak voltak, mint a SO csoporté ($1604,59 \pm 412,06$ g), míg egyik csoport szintje sem különbözött jelentősen a SA csoport szintjétől ($1172,85 \pm 239,08$ g). A hősokk proteinek (HSP70) szintjét az antioxidáns védelem harmadik szintje megvizsgálásának céljából határoztuk meg. A HSP70-szint értékelése során nem találtunk különbséget a csoportok között ($SO = 17,11 \pm 1,26$ g; $SA = 17,05 \pm 0,94$ g; $K = 17,03 \pm 0,85$ g), feltehetően azért, mert a halakat nem érte hősokk. Feltételezésünk szerint a hősokkfehérjék termelődésében mutatkozó különbség hiánya annak is köszönhető, hogy

a védelmi rendszer már az első két szinten megbirkózott a stresszel, és a harmadik szint aktiválására nem volt szükség.

4. táblázat: A sügér állomány antioxidáns paraméterei különböző medenceszínek esetén

Antioxidáns	Kontroll	SO	SA
Kortizol (mg/mL)	56.62 ± 2.89 ^a	66.33 ± 2.08 ^b	55.79 ± 3.20 ^a
Glükóz (mmol/L)	4.48 ± 0.95 ^{ab}	5.33 ± 0.94 ^b	4.13 ± 0.83 ^a
Kataláz (mU/mL)	4.95 ± 0.51 ^a	6.94 ± 0.51 ^b	4.68 ± 0.91 ^a
Glutation peroxidáz (GPx) (mU/mL)	182.52 ± 14.11	220.09 ± 37.62	169.48 ± 17.66
Glutation reduktáz (GR) (mU/mL)	21.42 ± 3.94 ^b	12.06 ± 1.13 ^a	22.51 ± 5.02 ^b
Redukált glutation (GSH) (μM)	19.68 ± 2.09 ^b	14.74 ± 3.93 ^a	23.15 ± 0.57 ^b
Glutation diszulfid (GSSG) (μM)	9.76 ± 1.07 ^b	7.37 ± 1.96 ^a	11.66 ± 0.26 ^b
C Vitamin (nmol/mL)	46.54 ± 13.60 ^{ab}	30.38 ± 9.67 ^a	92.32 ± 59.99 ^b
Malondialdehid (MDA) (nmol/mL)	1029.31 ± 183.83 ^a	1604.59 ± 412.06 ^b	1172.85 ± 239.08 ^{ab}
HSP70 (ng/L)	17.03 ± 0.85	17.11 ± 1.26	17.05 ± 0.94

Az adatok átlag ± standard eltérésekben vannak megadva. **Kontroll:** Világos szürke medenceszín; **SO:** Lesötétített oldalfalú medence; **SA:** Lesötétített aljú medence, a sorokon belül különböző betűkkel jelölt átlagértékek szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$).

A megnövekedett kortizolszint magasabb stressz-szintet jelent a halak szervezetében (WENDELAAR és SJOERD, 1997). Minden esetben szoros összefüggés volt a vérben lévő glükóz mennyisége és a halak kortizolszintje között. A SO csoport halai szignifikánsan magasabb glükózszintet mutattak, mint a SA csoport halai. Ezek az értékek nem különböztek szignifikánsan a kontroll csoporttól. Egyes kutatások megerősítik eredményeinket, amelyekben kimutatták, hogy a stressz a halak növekedésére, glükóz- és kortizolszintjére is hatással van - mind az sügér, mind más halfajok, például a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*), a sárga sügér (*Perca flavescens*) és a ponty (*Cyprinus carpio*) esetében (HEAD és MALISON, 2000; POTTINGER és CARRICK, 1999; TANCK et al., 2002). Számos tanulmány vizsgálta az eltérő medenceszínek hatását a különböző halfajokra. DE ABREU et al. (2020) alacsonyabb kortizolszintet mértek a zebra dáníónál (*Danio rerio*), amikor kék akváriumban tartották őket, mint a fehér akváriumokban.

Vizsgálatunkban két különböző szín (fekete és világosszürke) közötti kontrasztra összpontosítottunk, nem pedig maguknak a különböző színeknek a hatására. Eredményeink azt mutatták, hogy a különböző módon lesötétített medencék közül a legnagyobb stressz a sötét falú és a világos aljú medence kombinációjához társult.

A kataláz enzim feladata a hidrogén-peroxid molekulák vízre és oxigénre történő lebontása. A hidrogén-peroxid, amely egy reaktív oxigénfaj (ROS), oxidatív stressz során szabad gyök molekulát hoz létre. Minél nagyobb a hidrogén-peroxid koncentrációja, annál több ROS keletkezik (AZIZ et al., 2019). Szignifikánsan alacsonyabb kataláz-szintet ért el az SA és a kontroll csoport az SO csoporthoz képest. Ez azt jelentette, hogy a SO csoportban a halak nagyobb stresszhatást éltek át, mint a másik két csoportban.

A vitaminok közül a C-vitamin az egyik legfontosabb antioxidáns molekula (HENRIQUE et al., 1998; MONTERO et al., 1999). A korábban említett stressz biomarkerekhez hasonlóan a vérminták C-vitamin koncentrációja szoros összefüggést mutatott az egyes halak testtömegével. A SA csoport C-vitamin-szintje több mint háromszor magasabb volt, mint a SO csoporté. Eredményeinket alátámasztva NARRA et al. (2015) megállapították, hogy a C-vitamin jótékony hatással van a halak túlélésére és növekedésére. LEE és DABROWSKI (2004) hasonló eredményekre jutottak, amikor a táplálékkal bevitt C-vitamin kölcsönhatásait és hosszú távú hatásait vizsgálták a sárga sügér (*Perca flavescens*) növekedésére. Eredményeik alapján a diétás C-vitamin-kiegészítés növeli a növekedési rátát. Eredményeink alapján a SA csoportban, ahol a legmagasabb C-vitamin koncentrációt mértem, a halak a legkevésbé voltak stresszesek. Feltehetően nem kellett C-vitamint felhasználniuk a glutation metabolizmushoz.

A glutation az egyik legfontosabb nem enzimátikus antioxidáns, és az oxidatív stressz elleni védelmi rendszer fontos összetevője. Elsősorban redukált formában (GSH) található meg, bár oxidált formája (GSSG) is megfigyelhető. Az aszkorbát-glutation ciklusban a glutation a glutation-reduktáz enzim által redukálódik, amely NADPH-t használ (VOGEL et al., 1999). A glutation több, az oxidatív stressz elleni védekezésben részt vevő enzim, köztük a glutation-peroxidáz (GPx) és a glutation-reduktáz (GR) kofaktora (AZIZ et al., 2019). A magasabb GSSG- és GR-értékek nagyobb stresszállóságot biztosítanak. Eredményeink azt mutatták, hogy a SA és a kontroll csoportban szignifikánsan magasabb GSSG és GR értékek voltak, mint a SO csoportban, ami azt jelentette, hogy ezekben a csoportokban a halak kevésbé voltak stresszesek. A GR és a GPx együttesen alkotják a GSH redox-ciklust (DÍAZ-FLORES et al., 2012); ezért

a magasabb GR-érték alacsonyabb GPx-szintet jelent. Méréseink alátámasztják ezt az állítást.

Az MDA a lipidperoxidáció egyik bomlásterméke. Jelenléte a szabad gyökök aktivitását jelzi a szervezetben (HALLIWELL és CHIRICO, 1993; VINAGRE et al., 2012). Tian és et al. kutatási eredményei szerint az MDA termelődését a fényviszonyok befolyásolják (TIAN et al., 2015). Eredményeink alapján a kontroll és az SA csoportban MDA értékei voltak a legalacsonyabbak, míg az SO csoportban tartott halaké a legmagasabbak. A SA csoportban a szintek nem különböztek a többi csoporttól. Ezen eredmények szerint a világosabb medenceszín elősegítette a halak MDA-termelését. A legmagasabb MDA-szinteket mutató csoportokban a halakat ért stresszhatások miatt magas volt a szabad gyökök szintje, ezért ezekben a csoportokban a lipidperoxidáció intenzívebb volt.

Az antioxidáns rendszer harmadik szintjét tekintve nem tapasztaltunk különbséget a csoportok között a HSP70 termelésében. Úgy tűnt, hogy az antioxidáns rendszer harmadik szintjét a kísérlet során a különböző stresszfaktorok nem aktiválták. LUCENTINI et al. (2002) a hősokkfehérjék expressziója által okozott hosszú távú hatásokat vizsgálták európai sügérben. Eredményeik szerint a 20 °C feletti hőmérsékletnek hosszú távú hatásai lehetnek a halfajra. A mi kísérletünkben a halakat magasabb hőmérsékleten tartottuk ($22,65 \pm 0,91$ °C); ennek ellenére nem tapasztaltunk különbséget ezzel a mutatóval kapcsolatban.

4.1.2. Különböző fényviszonyok hatása a termelési paraméterekre

A víz oldott oxigén tartalma a kísérlet során $88,94 \pm 4,43\%$, a vízhőmérséklet $22,9 \pm 1,3$ °C, míg a pH $8,57 \pm 0,3$ volt. A rendszervízben lévő nitrogénformák koncentrációja az alábbiak szerint alakult: N-NH₃⁺: $0,4 \pm 0,14$ mg/l; N-NO₂⁻: $0,009 \pm 0,01$ mg/l és N-NO₃⁻: $18,5 \pm 1,3$ mg/l. A víz zavarossága (NTU) a V, T, S kezelések esetében 0, a VH, TH, SH kezelések esetében pedig $3,78 \pm 0,15$ volt.

A statisztikai analízis azt mutatta, hogy a huminsav és a megvilágítás hatással volt az eredményekre, ezek interakciója (megvilágítás*huminsav) ugyanakkor nem befolyásolta a halak termelési paramétereit (**5. táblázat**). A kísérlet végén a megmaradás minden kezelés esetében 90% fölött volt, kannibalizmust egyik akváriumban sem tapasztaltunk. A legjobb megmaradást a teljes megvilágítás (V és VH) mellett nevelt állományok érték el.

5. táblázat: A sügér ivadékok termelési paramétereit különböző megvilágítás és zavarosság esetén

	V	VH	T	TH	S	SH
S%	100 ± 0	100 ± 0	92,5 ± 9,6	92,5 ± 9,6	95,0 ± 5,8	90,0 ± 8,2
Bwf	3,73 ± 0,28 ^a	4,33 ± 0,28 ^{ab}	4,66 ± 0,33 ^b	4,93 ± 0,15 ^b	3,78 ± 0,15 ^a	3,80 ± 0,26 ^a
SGR	2,92 ± 0,70 ^a	3,30 ± 1,22 ^{ab}	3,64 ± 1,08 ^b	3,74 ± 1,46 ^b	2,86 ± 1,06 ^a	2,91 ± 1,05 ^a
FCR	1,01 ± 0,13	0,80 ± 0,08	0,84 ± 0,26	0,78 ± 0,19	1,12 ± 0,18	1,25 ± 0,11
CV%i	28.26 ± 7.81	32.89 ± 1.04	32.51 ± 11.39	33.06 ± 6.18	34.48 ± 14.48	31.11 ± 18.74
CV%f	18.72 ± 2.81 ^a	29.79 ± 8.40 ^b	24.18 ± 1.82 ^{ab}	29.88 ± 6.92 ^b	27.84 ± 9.06 ^b	27.36 ± 4.05 ^b
K-faktor	1.89 ± 0.37	1.89 ± 0.52	1.46 ± 0.16	1.71 ± 0.36	1.67 ± 0.12	1.85 ± 0.49

Az adatok átlag ± standard eltérésekben vannak megadva. **V:** 300 lux megvilágítás; **VH:** 300 lux megvilágítás Raschel hálóval letakarva; **T:** 100 lux megvilágítás; **TH:** 100 lux megvilágítás Raschel hálóval letakarva; **S:** 20 lux megvilágítás; **SH:** 20 lux megvilágítás Raschel hálóval letakarva, a sorokon belül különböző betűkkel jelölt átlagértékek szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$).

Az egyedi testtömeg vonatkozásában a legkedvezőbb eredményeket azok a kezelések mutatták, amelyek esetében az akváriumok takarásban voltak (T: 4,66 ± 0,33 gramm), illetve az akvárium vizét huminsav hozzáadásával sötétítettük (TH: 4,93 ± 0,15 gramm). A T és a TH csoportok eredményei szignifikánsan kedvezőbbek voltak a többi kezeléshez képest, egymástól ugyanakkor statisztikailag nem tértek el egymástól. A teljes megvilágítás mellett nevelt halak végső egyedsúlyára kedvező hatással volt a víz sötétítése (V: 3,73 ± 0,28 gramm; VH: 4,33 ± 0,28 gramm), ugyanakkor a sötétben nevelt ivadékok esetében a huminsav adagolása nem befolyásolta az eredményeket (S: 3,78 ± 0,15 gramm; SH: 3,80 ± 0,26 gramm). A legkedvezőbb eredményeket az SGR (T: 3,64%/nap és TH: 3,74%/nap) és az FCR (T: 0,84 g/g és TH: 0,78 g/g) mutató vonatkozásában is ugyanez a két kezelés produkálta. A kísérlet végén a legerősebb világításban nevelt halak (V) esetében volt tapasztalható a legnagyobb szétnövés a többi kezeléshez képest, míg a mérsékelt megvilágításban tartott csoport (T) statisztikailag nem tért el egyik kezeléstől sem.

Eredményeinket alátámasztja BRISTOW és SUMMERFELT (1994) kutatása, ahol a víz zavarosságának hatását vizsgálták meg az Walleye/ Északi süllő lárvájának (*Stizostedion vitreum*) táplálékfelvételére. Kísérletük végén azt találták, hogy jelentős különbség van a tiszta és zavaros vízben nevelt lárvák táplálékfelvétele között. Az eredményeik azt

mutatták, hogy a zavaros vízből származó lárvák átlagos végső súlya 2,25-ször nagyobb volt, mint a tiszta vízben nevelt társaikénál.

Eredményeinknek ugyanakkor részben ellentmond TAMAZOUZT et al. (2000) kutatása. Kísérletükben a fényintenzitás és az akvárium falának színe közötti kölcsönhatást vizsgálták a sügérárvák (*Perca fluviatilis*) túlélésére és növekedésére a kelést követő 15 napon keresztül. Három fényintenzitást (250, 400 és 800 lux) és négy medencefalszínt (fekete, sötétszürke, világosszürke és fehér) használtak. A legmagasabb túlélési arány 250 lux alatt volt megfigyelhető. A legnagyobb súly- és hossznövekedést a világosszürke és fehér falú, erősen megvilágított tartályokban figyelték meg, míg a legkisebb növekedést a fekete falú, 250 lux megvilágítású medencékben tapasztalták.

A kísérletük végén arra a következtetésre jutottak, hogy az intenzív sügértenyésztés során az erős megvilágítás és a világos medenceszín alkalmazása jobb termelési mutatókat eredményeztek az alacsony fényintenzitáshoz és a sötét tartályszínekhez képest.

A sügérral végzett megfigyeléseink alapján az intenzív rendszerben történő nevelés során figyelembe kell venni a magas stresszérzékenységet és a sajátos környezeti igényeket. A fényviszonyok könnyen befolyásolják a sügér bioritmusát (BRÜNING et al., 2015), kísérletünk eredményei alapján mérsékelt fényviszonyok beállítása ajánlott a termelési paraméterek romlásának elkerülése érdekében.

4.2. Sügér takarmányozási kísérletek

4.2.1. Az etetési gyakoriság hatása a termelési paraméterekre

A víz oldott oxigén tartalma a kísérlet során $76,93 \pm 6,36\%$, a vízhőmérséklet $21,83 \pm 0,26$ °C, míg a pH $7,46 \pm 0,11$ volt. A rendszervízben lévő nitrogénformák koncentrációja az alábbiak szerint alakult: N-NH₃⁺: $0,7 \pm 0,36$ mg/l; N-NO₂⁻: $0,05 \pm 0,10$ mg/l és N-NO₃⁻: $9,6 \pm 3,1$ mg/l.

A vizsgálat során a megmaradás valamennyi kezelés esetében 90% felett alakult (**6. táblázat**). A kísérlet végén a legkedvezőbb egyedsúlyt ($13,96 \pm 0,14$ gramm), illetve növekedési ütemet (SGR: $3,08 \pm 0,01\%$ /nap) az a kezelés produkálta, amely a napi takarmányadagot kétszeri megosztásban kapta, ugyanakkor szignifikáns különbségek nem alakultak ki a csoportok között. A takarmányértékesítés vonatkozásában a legjobb eredményt azon kezelés esetében tapasztaltuk, amelyik napi háromszori megosztásban kapta meg a takarmányt (FCR: $1,06 \pm 0,18$ g/g), ugyanakkor szignifikáns különbséget ezen mutató esetében sem sikerült kimutatni. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a napi takarmányadagok kijuttatásának eloszlása nem befolyásolja a sügér ivadékok termelési paramétereit.

6. táblázat: A halak termelési paramétereit különböző etetési gyakoriság esetén

	T2	T3	T4
S%	$90 \pm 8,2$	$90 \pm 14,1$	$92,5 \pm 5,0$
Kezdő biomassa	$39,48 \pm 0,35$	$39,35 \pm 0,91$	$39 \pm 0,61$
Záró biomassa	$125,58 \pm 10,83$	$120,33 \pm 18,66$	$125,3 \pm 9,45$
Kezdő testtömeg	$3,95 \pm 0,04$	$3,94 \pm 0,09$	$3,90 \pm 0,06$
Záró testtömeg	$13,96 \pm 0,14$	$13,37 \pm 0,08$	$13,54 \pm 0,39$
SGR	$3,08 \pm 0,1$	$2,98 \pm 0,07$	$3,03 \pm 0,10$
FCR	$1,10 \pm 0,17$	$1,06 \pm 0,18$	$1,12 \pm 0,07$
CV%	$18,39 \pm 3,34$	$19,63 \pm 1,24$	$30,42 \pm 10,34$

T2: Napi 2 időpontban takarmányozott halak (8:00, 20:00); **T3:** Napi 3 időpontban takarmányozott halak (8:00 - 12:00 - 20:00); **T4:** Napi 4 időpontban takarmányozott halak (8:00 - 12:00 - 16:00 - 20:00), az adatok átlag \pm standard eltérésekben vannak megadva.

Bár eredményeink ezt nem támasztották alá, az optimális etetési gyakoriság meghatározása igen fontos a haltenyésztésben, ezért sok kutatás foglalkozik ezzel a témával (ANDREWS és PAGE, 1975; JOBLING, 1982; SUNDARARAJ et al., 1982;

LEE et al., 2000). Ezen etetési kísérletek eredményei alapján megállapítható, hogy az optimális etetési gyakoriság gyakran fajfüggő (GREENLAND és GILL, 1979), ezért érdemes minden halfajra hasonló vizsgálatokat végezni az optimális tenyésztési technológia kidolgozása érdekében.

NOESKE és SPIELER (1984) bebizonyította, hogy az optimális etetési időpont fontos tényező a halnevelés során. Kísérletük során vizsgálták a világos és sötét ciklusok, illetve az etetési idő közötti kapcsolatot. Kísérletükben az aranyhalat (*Carassius auratus*) 12V:12S (12 óra fény:12 óra sötét) ciklusnak tették ki. A világítás kezdete után 4 etetési időpontot alkalmaztak (0h, 6h, 12h, 18h). Kísérletük végén azt találták, hogy a fény beállta után 18 órával (6 órával a sötétedés után) etetett halak jobban nőttek. Vizsgálatomban a halakat a fény beállta után ugyanabban az időpontban etettem.

Eredményeinkkel összhangban van ROWLAND et al. (2005) kutatása, ahol különböző etetési gyakoriságok (1x/nap, 2x/nap, 3x/nap) növekedésre és takarmányértékesítésre gyakorolt hatását vizsgálták az ezüst sügér (*Bidyanus bidyanus*) ketreces nevelése során. Kísérletük végén a naponta kétszer etetett halak növekedése volt a legnagyobb.

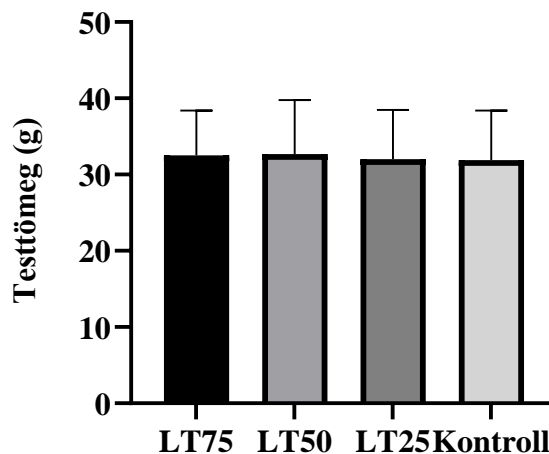
SILVA et al. (2007) tanulmányában a gyümölcsevő piranha (*Colossoma macropomum*) ketreces nevelése során a napi takarmányadagot két részre osztották, kétféle takarmányozási intenzitás mellett (5%, 10%), majd vizsgálták a kezelések halak termelési paramétereire gyakorolt hatását. Kísérletükben a halak etetési ideje a következő volt: 2 alkalommal/nap (8:00 és 16:00 óra), 3 alkalommal/nap (8:00, 12:00 és 16:00 óra). A szerzők a napi 3 alkalommal történő etetést javasolják 10%-os etetési arány mellett. Eredményeim mindezt nem támasztották alá, mivel a 3 alkalommal etetett halak (T3) a termelési paraméterek tekintetében nem teljesítettek jobban, mint a másik két kezelés (T2; T4). Eredményeinket azonban megerősíti GRAYTON és BEAMISH (1977) kutatása. Kísérletükben az etetési gyakoriságát hatását vizsgálták a szivárványos pisztráng (*Salmo gairdneri*) növekedésére. Vizsgálatuk végén nem találtak különbséget a növekedési teljesítményben a kezelések között. Eredményeik szerint a takarmányozási gyakoriság nem befolyásolta a halak növekedését ellenőrzött körülmények között.

A takarmányozás hatékonysága fajonként változhat, amint azt GREENLAND és GILL (1979) is észrevette, akik a csatornaharcsa (*Ictalurus punctatus*) termelési paramétereit vizsgálták napi 1, 2 és 4 etetési alkalom mellett. Kísérletük végén a napi 4 alkalommal etetett csoportok érték el a legnagyobb növekedést a többi kezeléshez képest.

4.2.2. A lisztbogár lárva beillesztése a sügér takarmányozásába

A víz oldott oxigén tartalma a kísérlet során $7,25 \pm 0,23$ mg/l, a vízhőmérséklet $22,15 \pm 0,71$ °C, míg a pH $7,31 \pm 0,17$ volt. A rendszervízben lévő nitrogénformák koncentrációja az alábbiak szerint alakult: N-NH₃⁺: $0,7 \pm 0,19$ mg/l; N-NO₂⁻: $0,09 \pm 0,15$ mg/l és N-NO₃: $11,7 \pm 6,5$ mg/l.

A kísérlet során nem volt elhullás, a megmaradás minden kezelés esetében 100% volt. A vizsgált termelési paraméterek egyikében sem tapasztaltunk statisztikailag igazolható eltérést (7. táblázat), még a legnagyobb dózisban lisztbogár lárvalal kiegészített takarmányt kapó kezelések (LT75) sem értek el kedvezőtlenebb eredményt a csak száraz takarmánnyal etetett csoporthoz (K) képest (8. ábra).



28. ábra: A halak egyedsúlya a lisztbogár lárva beilleszethetőségét vizsgáló kísérlet végén

Kontroll: 100% táp; **LT75:** 75% élő lisztbogár lárva / 25% táp; **LT50:** 50% élő lisztbogár lárva / 50% táp; **LT25:** 25% élő lisztbogár lárva / 75% táp

A kezelések átlagos testtömegének eredményeit tekintve a kísérlet végén az LT50 ($32,7 \pm 7,06$ g) kezelés érte el a legjobb eredményt, ezt követte az LT50 csoport eredménye ($32,5 \pm 5,91$ g). A legnagyobb dózisban élő lárvaat kapó kezelés sem ért el kedvezőtlenebb mutatót a kontroll kezelés ($31,9 \pm 6,48$ g) és az LT25 ($32 \pm 6,49$ g) csoporthoz viszonyítva. A kezelések biomassa növekménye (WG%) ott érte el a legmagasabb értéket, ahol a lisztbogár lárva kiegészítés aránya a legnagyobb volt (LT75= $34,54 \pm 1,96$ g), míg a legalacsonyabbat a kontroll csoportoknál (K= $30,33 \pm 7,09$ g). Mindezek ellenére

statisztikailag igazolható eltéréseket nem mutattunk ki a kezelések között, tehát a lisztbogár lárvá etetés nem befolyásolta az eredményeket. A kapott adatok a **28. ábrán** láthatóak.

A halak specifikus növekedési ütemét vonatkozásában a legkedvezőbb mutatót az LT75 ($0,85 \pm 0,04$ g) érte el, a legkedvezőtlenebbet a K ($0,75 \pm 0,15$ g). Az LT50 ($0,84 \pm 0,12$ g) és LT25 ($0,83 \pm 0,10$ g) csoportok LT75 kezelésénél alacsonyabb, a kontroll kezelésnél viszont magasabb értékei azt bizonyítják, hogy minél több rovarfehérjét tartalmazott a halak étrendje, annál jobban tudták a benne lévő tápanyagot hasznosítani és a növekedésre fordítani.

A halak takarmányértékesítését tekintve a legkedvezőbb mutatót az LT75 ($1,09 \pm 0,06$ g) kezelés érte el, míg a kontroll ($1,27 \pm 0,27$ g) kezelés a legkedvezőtlenebbet. Az LT50 ($1,11 \pm 0,20$ g) és LT25 ($1,15 \pm 0,18$ g) csekély mértékben ugyan, de elmaradt az LT75 kezeléstől, de a kontroll csoporttól kedvezőbb eredményt ért el. Az állomány homogenitását (CV%) tekintve az LT75 ($19,01 \pm 5,08$ g) bizonyult a leginkább egyöntetűnek, míg az LT50 ($22,33 \pm 8,05$ g) kezelésnél volt tapasztalható a legnagyobb mértékű szétnövés a többi kezeléshez képest (LT25= $20,93 \pm 7,92$ g), (K= $20,95 \pm 8,54$ g). A kísérlet eredményei alapján megállapítható, hogy a lisztbogár lárvák aránya a takarmányban nem befolyásolta negatívan a különböző növekedési paramétereket. A halak termelési paramétereit a **7. számú** táblázat foglalja össze.

7. táblázat: A halak termelési paramétereit a lisztbogár lárvá beilleszhetőségét vizsgáló kísérlet végén

	LT75	LT50	LT25	K
Kezdő testtömeg (g)	24,19 ± 4,70	24,39 ± 4,30	23,91 ± 5,40	24,50 ± 4,89
Végső testtömeg (g)	32,5 ± 5,91	32,7 ± 7,06	32 ± 6,49	31,9 ± 6,48
WG (%)	34,54 ± 1,96	34,16 ± 5,52	33,67 ± 4,74	30,33 ± 7,09
SGR (%/ nap)	0,85 ± 0,04	0,84 ± 0,12	0,83 ± 0,10	0,75 ± 0,10
FCR (g/g)	1,09 ± 0,06	1,11 ± 0,20	1,15 ± 0,18	1,27 ± 0,27
CV% kezdő	19,44 ± 4,66	17,67 ± 8,86	22,61 ± 8,68	19,87 ± 9,42
CV% záró	19,01 ± 5,08	22,33 ± 8,05	20,93 ± 7,92	20,95 ± 8,54

Az adatok átlag ± standard eltérésekben vannak megadva. **Kontroll:** 100% táp; **LT75:** 75% élő lisztbogár lárvá / 25% táp; **LT50:** 50% élő lisztbogár lárvá / 50% táp; **LT25:** 25% élő lisztbogár lárvá / 75% táp

Számos más kutatócsoport vizsgálta a lisztbogár lárvá beilleszthetőségét a haltakarmányozásba. Az általunk tapasztalt kedvező eredményeket alátámasztja IDO et al. (2018) etetési kísérlete is, melynek során során vörös tengeri sügér (*Pagrus major*) takarmányában található hallisztet részben, illetve teljesen hexán-etanol oldattal zsírtalanított lisztbogár lárvákkal helyettesítették. A kísérlet eredményei rávilágítottak, hogy a 65%-ban zsírtalanított lisztbogár lárvákat tartalmazó tápok jelentős növekedést eredményeztek. A lisztbogár lárvákból származó olajfrakció hozzáadása a takarmányhoz a növekedés csökkenését idézte elő, annak ellenére, hogy a vörös tengeri sügér táplálkozási igényeit kielégítette.

REMA et al. (2019) kutatása szintén kedvező eredményekről számolt be. Vizsgálatuk során a lisztbogár lárvával való takarmányozás hatását vizsgálták a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) ivadékainak növekedési teljesítményére. A kísérlet öt takarmányozási kezelést tartalmazott: 25%-os hallisztet tartalmazó kontroll tápot, valamint négy kísérleti tápot, amelyek 5%, 7,5%, 15% vagy 25% lisztbogár lárvát tartalmaztak, ami 20%, 30%, 60% vagy 100%-os halliszt-helyettesítésnek felelt meg. 90 nap elteltével a rovarfehérje-liszt fokozatos beépítése a végső testtömeg jelentős, lépcsőzetes növekedéséhez, valamint a specifikus növekedési ütem, a takarmányértékesítés és a fehérjehatékonysági arány is jelentős javulást mutatott a kontroll kezeléshez képest. Eredményeik alapján a lisztbogár lárvát liszt hatékonyan helyettesítheti akár 100%-os arányban a hallisztet.

Nem minden halfajnál gyakorol azonban kedvező hatást a lisztbogár lárvá beillesztése a takarmányozásba, ahogyan arra GU et al. (2022) kutatása rávilágít. A vizsgálat célja az volt, hogy értékelje a halliszt lisztbogár lárvával történő részleges helyettesítésének hatását a pisztrángsügér (*Micropterus salmoides*) növekedési teljesítményére, takarmányértékesítésére. Hét különböző, növekvő mennyiségű rovarlisztet tartalmazó tápot terveztek a halliszt helyettesítésére és az eredmények azt mutatták, hogy a *Tenebrio molitor* lárváörlemény 11,1%-os beépítési arányig helyettesítheti a hallisztet a pisztrángsügér takarmányában anélkül, hogy negatív hatással lenne a növekedési teljesítményre.

4.2.3. A lisztbogár lárva nyomelem dúsítása

Az alkalmazott nyomelemeknek nem volt hatása a lisztbogár lárvák megmaradására és növekedésére, mivel az eredmények azt mutatták, hogy a kobalt és a mangán, valamint a két mikroelem kombinációja nem befolyásolta szignifikánsan a termelési paramétereket sem a 7 napos, sem pedig a 14 napos kezelések esetében. A lárvák nyomelem felvételét tekintve kijelenthető, hogy mind a kobalt, mind a mangán esetében hatékony akkumuláció történt már 7 nap elteltével (**8. táblázat**).

Kobalt akkumuláció

A kobalt kiegészítés minden esetben szignifikánsan befolyásolta a lárvák kobalt-tartalmát, illetve a 14 napig kezelt állományok szignifikánsan több nyomelemet akkumuláltak, mint a 7 napig kezelt állományok. A CoMn kezelések eredményei teljes mértékben korreláltak ezekkel az eredményekkel a kobalt felvételét tekintve. A kobalt és a mangán együttes alkalmazása tehát nem befolyásolta negatívan a kobalt felvételét. A kontroll állományok kimutatási határ alatt tartalmaztak kobaltot.

8. táblázat: A lisztbogár lárvák (LL) növekedése és nyomelem felvétele a 7. és a 14. napokon

Kezelés	BWi (g)	BWf (g)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)
K7	0,030±0,002	0,038±0,004	0,00±0,00 ^a	22,64±3,54 ^{abc}
Co7	0,033±0,001	0,463±0,002	30,19±9,71 ^b	18,36±3,56 ^{ab}
Mn7	0,030±0,004	0,400±0,004	0,00±0,00 ^a	35,38±9,60 ^{cde}
CoMn7	0,032±0,003	0,427±0,005	35,98±0,98 ^b	30,11±5,09 ^{bcd}
K14	0,037±0,003	0,059±0,004	0,00±0,00 ^a	15,75±0,85 ^a
Co14	0,032±0,002	0,052±0,005	53,10±8,91 ^c	15,67±0,77 ^a
Mn14	0,036±0,001	0,064±0,003	0,00±0,00 ^a	36,87±1,90 ^{de}
CoMn14	0,034±0,003	0,061±0,007	50,97±5,45 ^c	44,04±6,54 ^e

Az adatok átlag ± standard eltérésekben vannak megadva. Az oszlopokon belül különböző betűkkel jelölt átlagértékek szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$). **Kontroll:** Búzadara szubsztrátum; **Co7:** 7 napig kobalttal dúsított lisztbogár lárva; **Co14:** 14 napig kobalttal dúsított LL; **Mn7:** 7 napig mangánnal dúsított LL; **Mn14:** 14 napig mangánnal dúsított LL; **CoMn7:** 7 napig kobalttal és mangánnal dúsított LL; **CoMn14:** 14 napig kobalttal és mangánnal dúsított LL

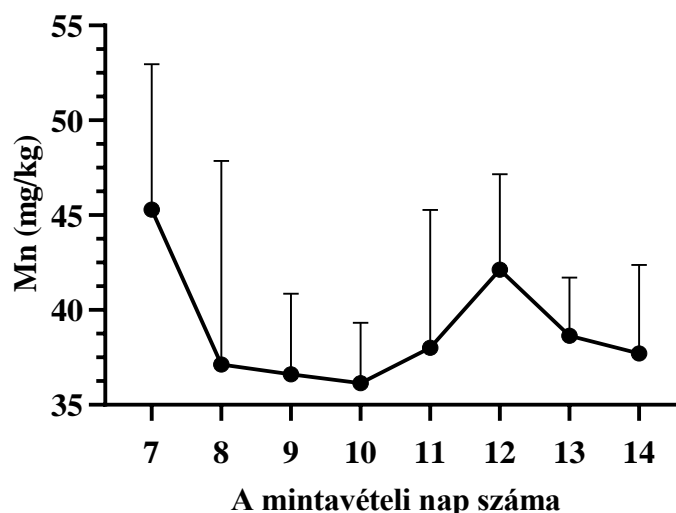
Mangán akkumuláció

A mangán esetében elmondható, hogy a 7 és a 14 napos kezelések esetében szignifikánsan különbözött a lárvák nyomelem akkumulációja a kontrollhoz képest, ugyanakkor a 7 és 14 napos mangán kiegészítés nem minden esetben tért el egymástól statisztikailag igazolható mértékben. A kontroll állományok is tartalmaztak mangánt, ellentétben a kobalttal, ami feltételezhetően a mangán fontosságát jelzi a szervezetben. Az eredményeket a **8. számú táblázat** foglalja össze.

A lisztbogár lárva kobalt és mangán akkumulációjának vizsgálata a 7. és 14. nap közötti időperiódusban

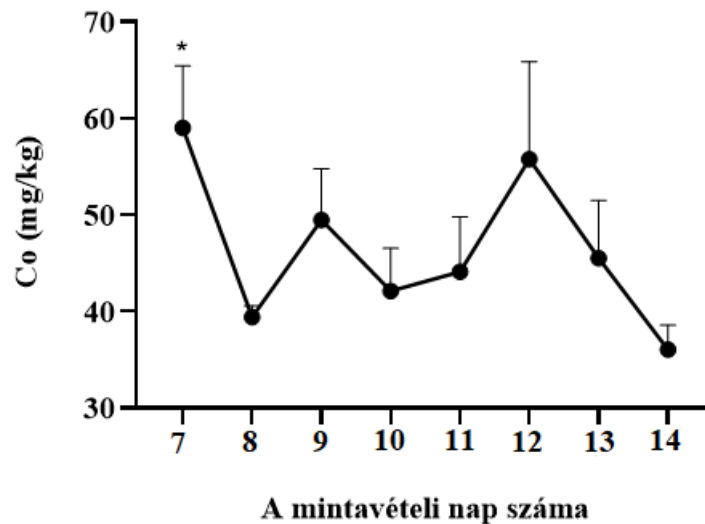
Kísérletünk során arra kerestük a választ, hogy napi szinten (a 7.-től 14. napig) hogyan változik a lárvák nyomelemtartalma, befolyásolják-e azt a lárvák fejlődési és vedlési folyamatai. A korábbi dúsítási vizsgálatoknak köszönhetően bebizonyosodott, hogy már 7 nap elteltével sikeresen képes akkumulálni a lisztbogár lárva a kobaltot és a mangánt, azonban az első vizsgálat nem terjedt ki a 7. és 14. nap közötti intervallumra.

A kísérletet eredményei részben ellentmondtak a korábbi vizsgálat eredményeinek. A 7. és 14. nap közötti nyomelem felvételt vizsgáló kísérlet végén nem volt tapasztalható elhullás, a megmaradás 100%-os volt minden kezelés esetében. Mindkét nyomelem felvételéhez elegendő volt a 7 nap, ahogy a **29. és a 30. ábrán** látható.



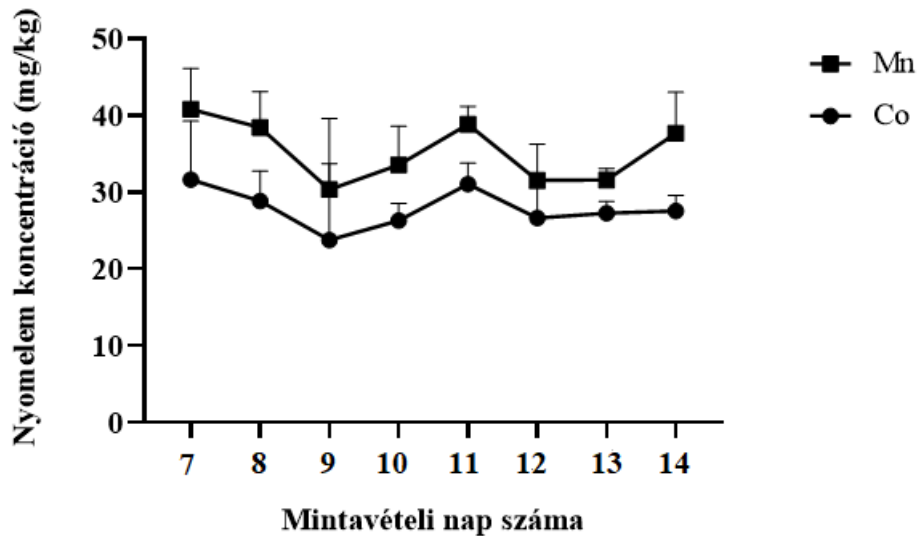
29. ábra: A mangánnal dúsított lisztbogár lárvák mangán tartalma a 7. és 14. nap között

A 7. és 14. nap közötti dúsítási kísérlet eredményei azt mutatták, hogy nem volt statisztikailag igazolható különbség a lárvák mangán felvételében ebben az időperiódusban. A legmagasabb mangán felvételt a 7. nap elteltével érték el a lisztbogár lárvák a kobalt akkumulációhoz hasonlóan. A vizsgálat többi napján néhol emelkedő, néhol csökkenő tendenciát mutatott a lárvák mangán koncentrációja, azonban szignifikáns különbség nem volt a napok között (**29. ábra**).



30. ábra: A kobalttal dúsított lisztbogár lárvák kobalt tartalma a 7. és 14. nap között
A csillaggal (*) jelölt kezelés szignifikánsan eltér a többi kezeléstől

A kobalt nyomelem analízise végén kapott eredmények szerint a lárvák a 7. nap elteltével szignifikánsan több nyomelemet tartalmaztak az utolsó nap eredményeihez képest (**30. ábra**) míg a 8. és a 13. nap között a lárvák kobalt koncentrációja ingadozó tendenciát mutatott. Míg a mangán esetében nem volt tapasztalható eltérés a nyomelem felvételének hatékonysága között a 7. és 14. nap vonatkozásában, a kobalt esetében egyértelműen a 7. nap után volt a legmagasabb a lárvák kobalt szintje, statisztikailag igazolható módon.



31. ábra: A CoMn kezelés kobalt és mangán koncentrációja

A kombinációban végzett kezelés során, a kobalt esetében kiemelhető egy antagonista hatás a mangánnak köszönhetően, mivel jelentősen rosszabb volt a nyomelem felvétele a mangán jelenlétében. A mangán esetében hasonló koncentrációt voltak ábraesek a lárvák akkumulálni a kobalt jelenlétében, mint nélküle (**31. ábra**).

Kísérletünk fő célja a sügérral beállított etetési kísérlet során alkalmazott dúsítási protokoll hatékonyságának alátámasztása, illetve annak megállapítása, hogy a hallal különböző napokon (7 és 14 nap között) megettetett lárvák nyomelem tartalma között van-e különbség, és ha igen, akkor az befolyásolhatja-e a takarmányozási teszt eredményeit. A kapott eredmények azt mutatták, hogy az etetési kísérletet nem befolyásolja az, hogy 8, 9, vagy akár 14 napig dúsított lárvát fogyasztanak-e a halak. A lisztbogár lárvák kobalt és mangán koncentrációjának vonatkozásában sincs eltérés függetlenül attól, hogy 7, vagy akár 14 napig dúsulnak az előtte nyomelemekkel dúsított tápközegben.

4.2.4. A sügér kobalt és mangán felvétele a dúsított lisztbogár lárvával történő etetés eredményeként

A termelési paraméterek

A víz oldott oxigén tartalma a kísérlet során $8,59 \pm 0,41$ mg/l, a vízhőmérséklet $19,92 \pm 1,23$ °C, míg a pH $8,51 \pm 0,29$ volt. A rendszervízben lévő nitrogénformák koncentrációja az alábbiak szerint alakult: N-NH₃⁺: $0,33 \pm 0,12$ mg/l; N-NO₂⁻: $0,03 \pm 0,01$ mg/l és N-NO₃⁻ $10,6 \pm 5,1$ mg/l.

A rendszer keresztzennyezés meghatározása érdekében minden héten vízmintát vettünk a rendszerből, hogy meghatározzuk az esetlegesen kioldódott nyomelemek koncentrációját. A kobalt átlagosan $2,52 \pm 0,20$ ug/L, míg a mangán $0,21 \pm 0,20$ ug/L értéket mutatott a kísérlet során. A nyomelemeknek tehát olyan alacsony volt a koncentrációja a rendszer vizében, hogy azok a kapott eredményeket vélhetően nem befolyásolhatták.

A kísérlet során minden kezelés esetében igen alacsony elhullás volt tapasztalható, szignifikáns eltéréseket nem tapasztaltunk a kezelések között. A két nyomelem együttes kombinációjával dúsított lisztbogár lárvát fogyasztó halak (CoMn) esetében nem tapasztaltunk elhullást (S=100%), míg a többi kezelést tekintve a legmagasabb értéket a kontroll csoport mutatta (S= $95,56 \pm 7,70\%$), a Co és Mn kezelésnél pedig egyaránt $97,78 \pm 3,85\%$ volt a megmaradási arány.

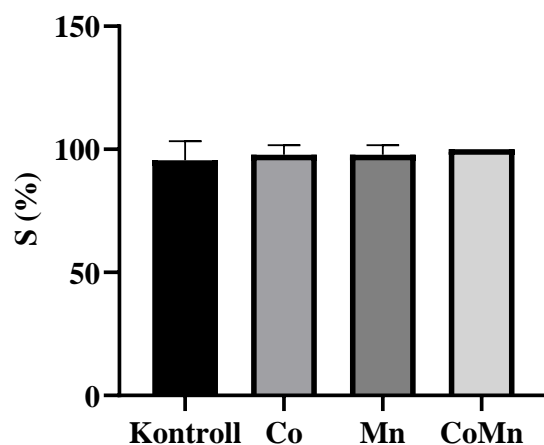


32. ábra: A halak boncolásból származó ikra

fotó: saját forrás

Az elhullást (**33. ábra**) nem vízminőségi gondok okozhatták, hanem több esetben kiugrottak a medencéből a halak, valamint az ivaréréssel (**32. ábra**) összefüggő étvágytalanság miatt a nem táplálkozó egyedek legyengülése is okozhatott mortalitást a kísérlet alatt.

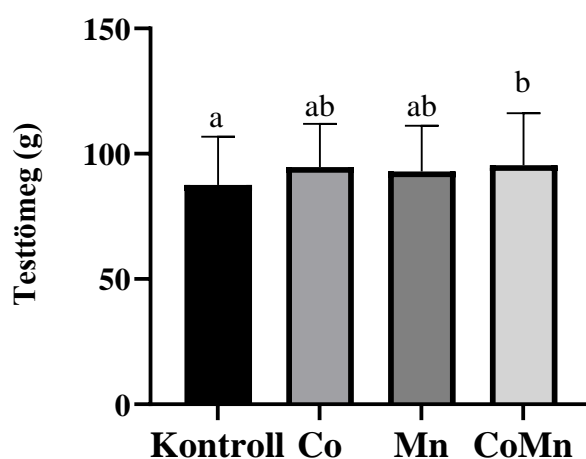
A vizsgálat során kannibalizmusra utaló jeleket nem tapasztaltunk.



33. ábra: A halak megmaradása a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak.

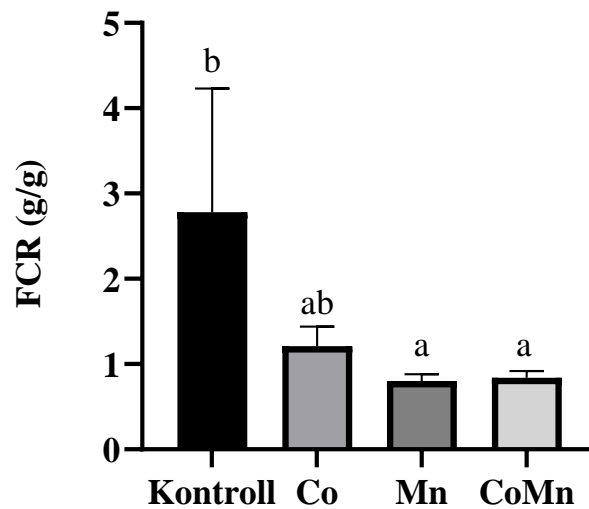
A kísérlet végén a kezelések átlagos biomasszája minden esetben növekedést mutatott a kezdő adatokhoz képest. A CoMn kezelés ($1430,67 \pm 8,09$ g) szignifikánsan magasabb eredményt ért el a kontroll csoporthoz képest ($K=1254,23 \pm 126,16$ g), míg a Co ($1388,1 \pm 46,94$ g) és Mn ($1363,3 \pm 108,59$ g) kezelés nem tért el statisztikailag igazolhatóan egyikőtől sem.



34. ábra: A kezelések egyedsúlya a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:**

Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól.

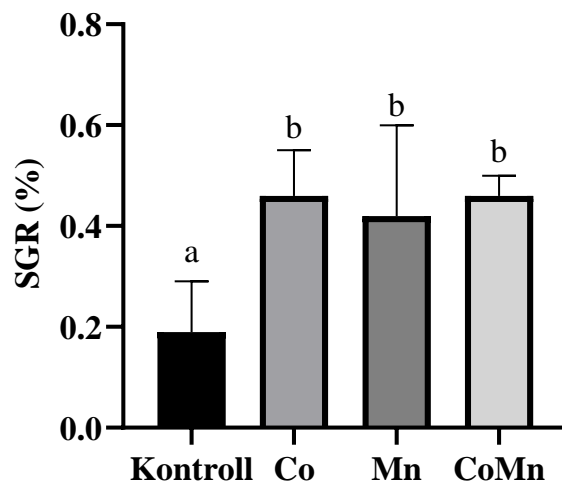


35. ábra: A halak takarmányértékesítése a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén (g/g)

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól.

A kezelések átlagos-egyedsúlya teljes mértékben korrelált ezekkel a mutatókkal ($K=87,50 \pm 19,26$ g; $Co=94,64 \pm 17,29$ g; $Mn=92,95 \pm 18,23$ g; $CoMn=95,38 \pm 20,81$ g) a kísérlet végén (**34. ábra**). Ezen eredmények alapján a két nyomelem együttes alkalmazása kedvező hatást gyakorolt a halak termelési paramétereire.

A takarmányértékesítést tekintve a CoMn ($0,84 \pm 0,08$ g/g) és Mn ($0,80 \pm 0,08$ g/g) kezelés szignifikánsan jobb mutatót produkált a kísérlet végén a kontroll ($1,99 \pm 0,34$ g/g) csoporthoz viszonyítva, míg a Co ($1,21 \pm 0,23$ g/g) kezelés nem mutatott statisztikailag igazolható eltérést egyik kezeléshez képest sem (**35. ábra**).



36. ábra: A halak specifikus növekedési üteme a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak, a különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól

A halak specifikus növekedési ütemét vizsgálva a kontroll csoport ($0,19 \pm 0,10\%$) szignifikánsan alacsonyabb mutatót ért el a többi kezeléshez viszonyítva a kísérlet végén ($Co = 0,46 \pm 0,09\%$; $Mn = 0,42 \pm 0,18\%$; $CoMn = 0,46 \pm 0,04\%$) (**36. ábra**).

Az állományok homogenitása (CV%) tekintetében nem tapasztaltunk statisztikailag igazolható különbséget a kísérlet végén, a legalacsonyabb értéket a Co ($18,27 \pm 3,12\%$) kezelés érte el, míg a legnagyobbat a kontroll csoport ($22,01 \pm 1,90\%$). A halak termelési paraméterek eredményei alapján kijelenthető, hogy a halak számára esszenciális két nyomelemmel, a kobalttal és mangánnal dúsított élő lisztbogár lárvával takarmányozott egyedek szignifikánsan magasabb egyedsúlyt és specifikus növekedési ütemet, valamint statisztikailag alacsonyabb takarmányértékesítést érték el a kísérlet végén a többi kezeléshez viszonyítva (**9. táblázat**).

9. táblázat: A halak termelési paraméterei a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetés eredményeként

Kezelés	Kontroll	Co	Mn	CoMn
Megmaradás (%)	$95,56 \pm 7,70$	$97,78 \pm 3,85$	$97,78 \pm 3,85$	$100 \pm 0,00$

Kezdő biomassa (g)	1244,57 ± 11,58	1248,67 ± 16,68	1237,77 ± 11,60	1258,23 ± 7,76
Záró biomassa (g)	1254,23 ± 126,16 ^a	1388,1 ± 46,94 ^{ab}	1363,3 ± 108,59 ^{ab}	1430,67 ± 8,09 ^b
Kezdő testtömeg (g)	82,97 ± 12,41	83,24 ± 11,32	82,52 ± 11,20	83,38 ± 14,03
Záró testtömeg (g)	87,50 ± 19,26 ^a	94,64 ± 17,29 ^{ab}	92,95 ± 18,23 ^{ab}	95,38 ± 20,81 ^b
FCR (g/g)	2,78 ± 1,45 ^b	1,21 ± 0,23 ^{ab}	0,80 ± 0,08 ^a	0,84 ± 0,08 ^a
SGR (%)	0,19 ± 0,10 ^a	0,46 ± 0,09 ^b	0,42 ± 0,18 ^b	0,46 ± 0,04 ^b
Kezdő CV%	14,96 ± 1,76	13,59 ± 1,74	13,58 ± 1,44	16,73 ± 1,78
Záró CV%	22,01 ± 1,90	18,27 ± 3,12	19,61 ± 4,13	21,82 ± 3,89

Az adatok átlag ± standard eltérésekben vannak megadva. **Kontroll:** Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A sorokon belül különböző betűkkel jelölt átlagértékek szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$).

A nyomelem felvétel eredményei

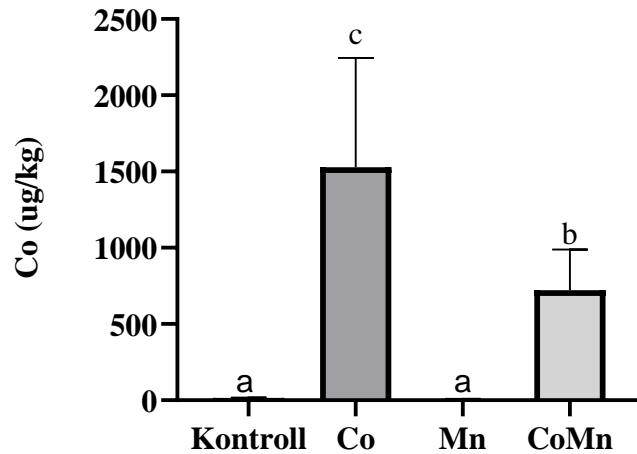
A kísérlet végén filé mintát vettünk, illetve az egész test nyomelem analízisére is sor került, az eredmények a **10. táblázatban** láthatóak.

10. táblázat: A halak húsában és egész testében mért kobalt és mangán koncentráció

Nyomelem konc.	Kezelés			
	Kontroll	Co	Mn	CoMn
Co _(test) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	15,1 \pm 3,12 ^a	1527,8 \pm 717,7 ^c	7,7 \pm 1,66 ^a	722,3 \pm 266,6 ^b
Co _(filé) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	0,00 \pm 0,00 ^a	806,1 \pm 230,4 ^c	5 \pm 1,16 ^a	359 \pm 257,8 ^b
Mn _(test) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	5145,6 \pm 917,4 ^a	5263,5 \pm 1716,1 ^a	8911,2 \pm 2388,6 ^b	9153,3 \pm 3351,1 ^b
Mn _(filé) ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	807,8 \pm 153,8 ^a	852,7 \pm 179,2 ^a	1691 \pm 103,56 ^b	1058,5 \pm 370,5 ^b

Az adatok átlag \pm standard eltérésekben vannak megadva. **Kontroll:** Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A sorokon belül különböző betűkkel jelölt átlagértékek szignifikánsan különböznek ($p < 0,05$).

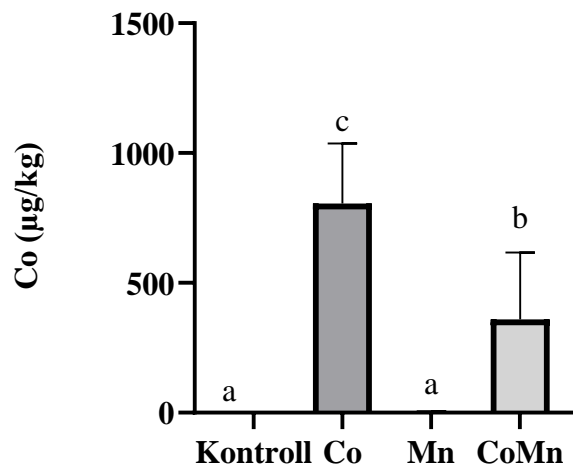
A sügérek testében feldúsult kobalt mennyisége szignifikánsan magasabb volt a Co kezelésben (1527,8 \pm 717,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$) a mindkét nyomelemmel dúsított kezeléshez képest (CoMn = 722,3 \pm 266,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$), míg a kontroll csoport és az Mn kezelés nem tért el egymástól statisztikailag igazolható mértékben a kísérlet végén (**37. ábra**). A mangánnal való dúsítás csökkenő kobalt akkumulációt eredményezett, ugyanis a kizárólag kobalttal dúsított rovarokat fogyasztó Co kezelés szignifikánsan nagyobb kobalt koncentrációval bírt a CoMn csoporthoz képest.



37. ábra: A kobalt akkumulációja a liofilizált haltestben a különböző kezeléseknél

(ug/kg)

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól

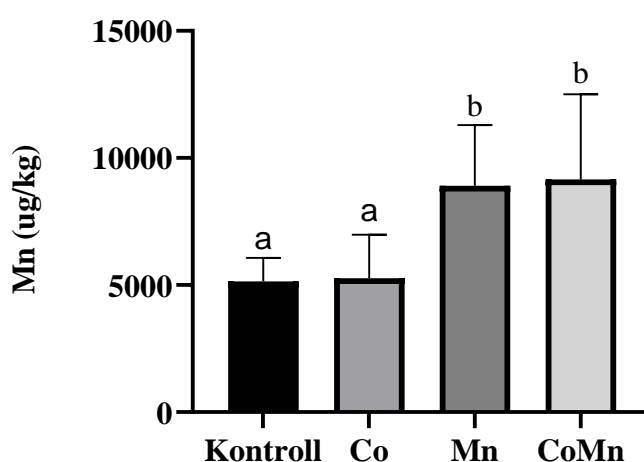


38. ábra: A kobalt akkumulációja a filében különböző kezeléseknél

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól

A halak egész testében feldúsult kobalt koncentráció teljes mértékben korrelált a filé minták eredményeivel. A halfilé kobalt tartalmát tekintve a kobalttal dúsított kezelésekben szignifikánsan több nyomelem dúsult fel (Co = $806,1 \pm 230,4$ $\mu\text{g/kg}$; CoMn = $359 \pm 257,8$ $\mu\text{g/kg}$) a másik két kezeléshez képest (**38. ábra**).

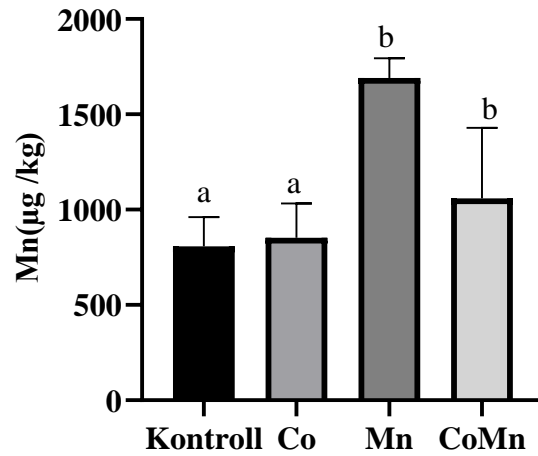
A halak mangán tartalmát tekintve hasonló eredmények születtek, mint a kobalt esetében. A kizárólag mangánnal (Mn), valamint a két nyomelem kombinációjával (CoMn) dúsított kezelések során, a haltest mangán tartalma szignifikánsan magasabb mangán tartalmat eredményezett a kontroll és Co kezelésekhez képest (**39. ábra**).



39. ábra: A mangán akkumulációja a liofilizált haltestben a különböző kezeléseknél (ug/kg)

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól

A halak egész testében feldúsult mangán szintet meghatározó mérések eredményei hasonlóan a kobalttal dúsított kezelésekhez, ebben az esetben is teljes korrelációt mutattak a filé minták nyomelem tartalmával. A halak húsában szignifikánsan nagyobb mangán szint volt mérhető a célzottan ezzel a nyomelemmel dúsított kezelésekben (Mn = $1691 \pm 103,56$ $\mu\text{g/kg}$; CoMn = $1058,5 \pm 370,5$ $\mu\text{g/kg}$) a kontroll csoport ($807,8 \pm 153,8$ $\mu\text{g/kg}$) és a Co ($852,7 \pm 179,2$ $\mu\text{g/kg}$) kezelésekhez képest (**40. ábra**).



40. ábra: A mangán akkumulációja a filében különböző kezeléseknél

Kontroll: Lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Co:** Kobalttal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **Mn:** Mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak; **CoMn:** Kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvával takarmányozott halak. A különböző betűkkel jelölt kezelések szignifikánsan eltérnek egymástól

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5. 1. Sügér tartástechnológiai kísérletek

5.1.1. A medenceszín hatása a sügér termelési és élettani paramétereire

Számos kutatás rávilágított a medenceszín és a halak termelési paramétereinek közötti összefüggésre (STRAND et al., 2007a; MCLEAN et al., 2008). Az eredményeink alapján a sügér magas fokú stressz érzékenysége ellenére megfelelő körülmények között, néhány tartástechnológiai fejlesztés végrehajtása által sikeresen nevelhető intenzív rendszerben. Vizsgálatunk a medence különböző részein (aljzat és oldalfal) két szín (fekete és világosszürke) közötti kontraszt hatásainak feltárására irányult a sügér termelési és antioxidáns paramétereire, intenzív nevelés során. Kísérletünk eredményei azt mutatják, hogy a sötét és világos medenceszín közötti kontraszt jelentősen befolyásolta a halak termelési- és antioxidáns paramétereit. A fekete aljú és világosszürke oldalfalakkal ellátott medencék szignifikánsan nagyobb egyedi testtömegű halakat eredményeztek, de nem voltak hatással a megmaradásra, a takarmányértékesítésre, a kondíciófaktorra és az állomány homogenitására. Ezeket az eredményeket az antioxidáns paraméterek vizsgálata is alátámasztotta. Eredményeim megerősítik a kísérlet elején felállított hipotézist, miszerint a fekete aljú és világosszürke oldalfalakkal ellátott medencék kedvezőek lehetnek az intenzív nevelés során, mivel ez a színkombináció valószínűleg hasonlít az sügér természetes élőhelyén tapasztaltakkal, így a halakat kevesebb stresszhatás érte és kedvezőbb termelési paramétereket produkáltak. A medenceszín és a halak antioxidáns paramétereinek közötti összefüggésekkel kapcsolatban ezidáig nem álltak rendelkezésre szakirodalmi források, így eredményeink újszerűek és hozzájárulhatnak a sügér intenzív rendszerben történő nevelésének fejlesztéséhez.

5.1.2. Különböző fényviszonyok hatása a termelési paraméterekre

Kutatási eredmények bizonyították, hogy a fényintenzitásnak fontos szerepe van a sügér nevelése során (STRAND et al., 2007a). A kísérletem eredményei azt mutatták, hogy a sügér nevelésének korai szakaszában a mérsékelt megvilágítás kedvezően hat a növekedésre, ugyanakkor a teljes elsötétítés, valamint a teljes megvilágítás negatívan befolyásolja a termelési paramétereket. Kijelenthető, hogy a megvilágítás és a víz zavarosság befolyásolja a juvenilis sügér termelési paramétereit az intenzív nevelés során, továbbá a mérsékelt megvilágítás ($118,0 \pm 24,4$ lux) kedvezően hat az egyedi

testtömeg alakulására és a specifikus növekedési ütemre. Fontos kiemelni, hogy a víz zavarossága önmagában nem, csak az említett fényintenzitás alkalmazása mellett gyakorolt pozitív hatást a termelési paraméterekre.

A kísérlet eredményei alátámasztják az előzetesen felállított hipotézist, miszerint a sügér a mérsékelt megvilágítást előnyben részesíti, ami valószínűleg annak tudható be, hogy a természetes élőhelyeül szolgáló litorális régióban hasonló fényviszonyok uralkodnak.

5.2. Sügér takarmányozási kísérletek

Számos vizsgálat bebizonyította, hogy az etetés gyakorisága fontos szerepet játszik a haltakarmányozásban (JOBILING, 1982; SUNDARARAJ et al., 1982; LEE et al., 2000). A takarmányozás intenzitását vizsgáló kísérletem eredményei szerint a napi takarmányadagok kijuttatásának eloszlása nem befolyásolja a sügér ivadékok termelési paramétereit. Kijelenthető, hogy nem sikerült igazolni azt a gyakorlati tapasztalatainkra alapozott hipotézist, miszerint a sügér a napi kétszeri etetést preferálja.

A kutómunkám későbbi szakaszában megvizsgáltam, hogy a mesterséges takarmány milyen mértékben váltható ki élő lisztbogár lárvákkal etetéssel. A rovar alapú takarmányozási kísérletek során minden esetben a lisztbogár lárvák adagok a halak szükségleteit figyelembe véve, szárazanyag ekvivalencia alapján kerültek meghatározásra. A lisztbogár lárvák alkalmazásával végrehajtott takarmányozási kísérlet eredményei rávilágítottak arra, hogy az élő rovarlárvákat a halak megfelelő hatékonysággal emésztik, amely elősegítette az állományok növekedését. Ezt a hipotézist alátámasztja az is, hogy az FCR értékek teljes egészében korrelálnak a kísérlet végén mért egyedsúlyok adataival. A termelési paraméterek vonatkozásában szignifikáns eltéréseket nem tapasztaltunk a 35 napos kísérletünk végén, tehát kedvező eredménnyel zárult a vizsgálat. Fontos kiemelni, hogy a sügér szívesen elfogyasztotta az élő lisztbogár lárvát, tehát hosszútávon nem csak liszté őrölt formában lehetséges beilleszteni a takarmányozási protokolljába, ahogyan azt számos kutatócsoport korábban már megállapította (TRAN et al., 2021). Az általunk vizsgált termelési paraméterek nem mutattak kedvezőtlenebb eredményt a nagyobb dózisban lisztbogár lárvát kapó kezeléseknél sem a kontroll csoporthoz viszonyítva. A lisztbogár lárvák élő eseként való alkalmazása teljes mértékben alkalmasnak bizonyult a halliszt alapú takarmány kiváltására, feltehetően kedvező fehérje tartalmának és a halliszthez hasonló aminosav profiljának köszönhetően.

A következtetések levonása során fontos megemlíteni, hogy takarmány-, illetve élelmiszerbiztonsági okokból kifolyólag a lisztbogár lárvát sok más rovarfajhoz hasonlóan rendszerint liszt formájában keverik a takarmányhoz, miután szárítással, hőkezeléssel és egyéb fertőtlenítő módszerekkel sterilizálják. A rovarfogyasztás, illetve az azzal való takarmányozás gyakorlati alkalmazása előtt számos egyéb tényező vizsgálatát el kell végezni. Ez azért is fontos, mert nem lehet kizárni, hogy különböző vírusok a termelés során alkalmazott szubsztrátumról a rovarok testfelületére kerülve vagy közvetett úton a rovarok által elfogyasztva átterjedhetnek az állatokra, illetve az emberre (BAIANO, 2020). A rovarok bélcsatornájukban a gazdasági állatokra és az emberre egyaránt veszélyes patogén mikroorganizmusokat is hordozhatnak, illetve további veszélyt jelenthetnek egyes mikotoxinok és paraziták. A rovarok ezen felül számos allergén anyagot is termelhetnek, valamint nehézfémeket is akkumulálhatnak. Mindezeket figyelembe véve a különböző halfajok rovar alapú takarmányozása csakis szigorú laboratóriumi vizsgálatok elvégzését követően lehetséges. A teljes mértékben lisztbogár lárvára alapozott takarmányozás gyakorlati alkalmazásának bevezetése érdekében további vizsgálatok elvégzése szükséges.

Összeségében megállapítható, hogy a kísérlet eredményei alátámasztották az előzetesen felállított hipotézisünket, miszerint a lisztbogár lárvá élv formában, akár 75%-os arányban is beilleszthető a sügér takarmányozásába a termelési paraméterek romlása nélkül. Mindez feltehetően annak köszönhető, hogy a különböző rovarok a sügér természetes táplálékai között is megtalálhatók.

5.3. A lisztbogár lárvá nyomelem dúsítása

A lisztbogár lárvá különböző nyomelemekkel történő dúsítása a kísérleteim eredményei alapján hatékonyan és rövid idő alatt megvalósítható. Kijelenthető, hogy a lisztbogár lárvá nagy mennyiségű kobaltot és mangánt, mint két, a különböző halfajok, köztük a sügér számára esszenciális nyomelemet képes felvenni a szubsztrátumból, így a kutatás során felállított hipotézist sikerült igazolnom. A dúsítási technológia kidolgozása mellett eredményeink szerint 7 nap elegendő a lárvák nyomelem felvételéhez mind a kobalt, mind a mangán esetében. Az alkalmazott dúsítási protokoll megfelelő lehet a különböző sügér korosztályok mikroelemekkel történő ellátására, akár élv táplálékként, akár a halliszt kiváltására szolgáló fehérjeforrásként hasznosítjuk a rovarlárvákat.

A kialakított dúsítási protokoll fontossága emellett abban rejlik, hogy az alapjául szolgált a dúsított, élő lisztbogár lárvával kivitelezett takarmányozási kísérleteknek. Élő lisztbogár lárvával kapcsolatos nyomelem dúsítási protokoll mindeddig nem került kidolgozásra, így a kifejlesztett technológia innovatívnak tekinthető, és alapjául szolgálhat bármelyik élő táplálékszervezet dúsításával kapcsolatos vagy bioaktív anyagok vizsgálatára irányuló kutatásnak.

5.4. A sügér kobalt és mangán felvétele a dúsított lisztbogár lárvával történő etetés eredményeként

A kísérlet eredményei alapján kijelenthető, hogy a kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárvára etetése kedvező hatást gyakorol piaci méretű sügér termelési paramétereire. A kísérletet végén a CoMn kezelések szignifikánsan magasabb egyedi testtömeget és specifikus növekedési ütemet, valamint alacsonyabb takarmányértékesítést produkáltak a kontroll csoporthoz képest.

A nyomelem kiegészítés minden esetben növekvő egyedsúlyt eredményezett, ugyanakkor a kontroll csoport is kedvező biomassza növekményt produkált a kísérlet végén, bizonyítva ezzel a rovar alapú takarmányozásban rejlő potenciált.

A kobalttal és mangánnal dúsított élő lisztbogár lárvára elfogyasztásával a sügér képes felvenni ezt a két számára esszenciális számító nyomelemet. A nyomanalízis eredményei szerint nem csupán az egész haltest különböző részeiben, hanem a húsban is megjelentek a nyomelemek a kísérlet végén, alátámasztva ezzel a kísérlet elején felállított, közvetett nyomelem felvétellel kapcsolatos hipotézisemet.

A kísérlet végén megfigyeltünk egy igen aktív táplálkozási periódus után egy inaktív szakaszt, amely feltehetően a halak ivaréretté válásával függ össze. A boncolás során jelentős ikramennyiséget találtunk számos halban, amely megerősíti az állítást.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A tartástechnológia kísérletek eredményei alapján megállapítottam, hogy a juvenilis sügér számára a fekete aljú, világosszürke oldalfalú medence kedvező hatással van a termelési paraméterekre (egyedi testtömeg, specifikus növekedési ütem) az intenzív nevelés során, eredményeimet a termelési mutatók mellett az antioxidáns paraméterek (kortizol, glükóz, kataláz, C-vitamin, MDA, GR, GSH, GSSG) is megerősítették.

2. A megvilágítással és a víz zavarosságával kapcsolatos kísérletem eredményei alapján megállapítottam, a mérsékelt megvilágítás ($118,0 \pm 24,4$ lux) kedvezően befolyásolja az egyedi testtömeget és a specifikus növekedési ütemet a juvenilis sügér nevelés során. A víz zavarossága önmagában nem, csak az említett fényintenzitás mellett gyakorolt pozitív hatást a termelési paraméterekre.

3. A sügérral végzett takarmányozási vizsgálataim eredményei alapján megállapítottam, hogy ivadék korosztályban azonos takarmányadagok (takarmány összetétele: nyersfehérje: 53%, nyerszsír: 18%, intenzitás: 5%) esetén az etetés gyakorisága nincs hatással a termelési paraméterekre, amennyiben a takarmányozás napi 2 - 3 - 4 alkalom között történik.

4. Megállapítottam, hogy a lisztbogár lárva élő formában beilleszthető a juvenilis sügér takarmányozásába. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a rovarlárva szárazanyag ekvivalencia értékben számítva akár 75%-os arányban is kiválthatja a száraz takarmányokat a termelési paraméterek romlása nélkül.

5. Megállapítottam, hogy a lisztbogár lárva a szubsztrátum kobalt-kloriddal és mangán-kloriddal történő dúsítása esetén hatékonyan akkumulálja a két nyomelemet már 7 nap elteltével. A lárvák kobalt tartalma a 14 napos dúsítás követően szignifikánsan nagyobb volt, mint a 7 napos dúsítás esetében, ugyanakkor a lárvák mangán tartalma statisztikailag nem különbözött a két vizsgált időpontban.

6. Megállapítottam, hogy a kobalttal és mangánnal kombinációban dúsított lisztbogár lárva etetése kedvező hatással van a piaci méretű sügér termelési paramétereire (egyedi testtömeg, takarmányértékesítés, specifikus növekedési ütem). A halak teljes test és filé

mintáinak analízise alapján kimutattam, hogy a sügér nagy mennyiségben képes felvenni a két nyomelemet a rovarlárvákból közvetett úton.

7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

A sügér őshonos ragadozó halfaj Magyarországon, azonban az akvakultúrás termelésben nem tölt be jelentős szerepet, inkább járulékos halként jelenik csak meg. Ennek egyik oka, hogy magas stressz érzékenység jellemzi, amit számos környezeti faktor kiválthat (ACERETE et al., 2004). Emellett a hűvös, mérsékelt égöv nagy tavaiban található egyedekhez képest hazánkban relatíve kistermetűre nő, feltehetően a klimatikus viszonyoknak köszönhetően (FERINCZ, 2022).

A doktori értekezés célja az intenzív haltermelésben ezidáig újnak tekinthető sügér termelésbe vonásának, valamint piaci bevezetésének támogatása, részben az állati eredetű alternatív fehérje források közé tartozó közönséges lisztbogár lárva felhasználására alapozott takarmányozási protokoll fejlesztése által.

A kutatás másik fő célja a sügér tartástechnológiájának fejlesztése volt. A különböző módon elsötétített medencében végrehajtott kísérletem eredményei alapján megállapítottam, hogy a sötét aljú, világos oldalú medence egyértelműen kedvezően befolyásolja a halak stressz állapotát és ezzel összhangban a termelési paramétereket, míg a sötét oldalfalú, világos aljú medence kedvezőtlen hatást vált ki. Az egyes halfajok és korosztályok szükségleteihez igazodó medence szín az intenzív nevelés egyik fontos alapköve, ennek ellenére ezidáig a szakirodalomban nem állt rendelkezésre olyan kutatás, mely a medenceszín és az antioxidáns paramétereket közötti összefüggéseket vizsgálta, így kijelenthető, hogy eredményeim hozzájárulhatnak a sügér intenzív nevelési technológiájának fejlesztéséhez. A medenceszínrel, a megvilágítással, illetve a víz zavarosságával kapcsolatban nyert tapasztalatok egy esetleges beruházás során is hasznos információkat nyújthatnak a termelőknek a termelői közeg tervezését és kialakítását illetően. A sügérrel végzett kutatásaim kiinduló pontot jelenthetnek más stressz érzékeny halfajok nevelése során, akár más korosztályokban esetében is.

A doktori kutatás során elért eredmények egyik fontos pillére, hogy a közönséges lisztbogár lárva beemelhető a haltakarmányozásba, amit a takarmányozási kísérletek során elért kedvező eredmények alátámasztanak. A lisztbogár lárvával végrehajtott takarmányozási kísérletek kedvező eredményei elősegíthetik a rovar alapú takarmányozás fejlesztését, így hosszútávon a kutatás hozzájárulhat a halliszt felhasználás csökkentéséhez.

A sügér takarmányozásának fejlesztését etetési kísérletek kivitelezésével és rovar alapú fehérjeforrások tesztelésével vittük véghez. A sügér természetes táplálékának jelentős

részét teszik ki szezonálisan előforduló különböző rovarfajok, ami a rovar alapú takarmányozás egyik fontos alapját adja. Nemcsak a sügér esetében, hanem más sügérféléknél is relevánsak lehet a doktori kutatásom során szerzett, ezzel kapcsolatos tapasztalatok.

Fontos gyakorlati tapasztalat, hogy a lisztbogár lárva hatékonyan dúsítható kobalttal és mangánnal. Az általam kapott, kedvező eredmények alapján egyéb nyomelemek és bioaktív anyagok beillesztésével kapcsolatos, illetve különböző élő táplálékszerkezetek dúsítását célzó kísérletek is indíthatók a jövőben.

A lisztbogár lárva, illetve egyéb rovarfajok haltakarmányozásba való beemelése jelenleg nem gazdaságos, ugyanakkor a rovar alapú takarmányok beszerzési ára a rovarpiac volumenének növekedésével párhuzamosan feltehetően csökkeni fog. A doktori kutatásomhoz hasonló rovar alapú haltakarmányozási kutatások eredményei hozzájárulhatnak ahhoz, hogy a rovarfehérje a halliszt valós alternatívája legyen a (közel) jövőben.

A sügér nevelés utolsó szakaszában a dúsított élő lisztbogár lárva etetésének hatásaként a kobalt és a mangán megjelent a halfilében is, tehát nem csupán a szervekben történik meg a nyomelem akkumulációja. Ez humán egészségügyi szempontból is fokozottan előnyös, így kijelenthető, hogy a doktori kutatás egyes eredményei akár a magyarországi halfogyasztás népszerűsítéséhez és növeléséhez is hozzájárulhatnak.

Összességében elmondható, hogy a doktori kutatás eredményei számos gyakorlatban hasznosítható információt tartalmaznak a sügér intenzív nevelésével, az ezzel szorosan összefüggő tartástechnológia fejlesztésével és rovar alapú takarmányozási protokollal kapcsolatban.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A doktori kutatásom során a hazánkban őshonos ragadozó halfajok közé tartozó sügér tartás- és takarmányozási technológiájának fejlesztési lehetőségeit tanulmányoztam. A halfaj takarmányozási technológiájának fejlesztése során vizsgáltam többek között a közönséges lisztbogár lárvá takarmányként történő felhasználását és beillesztését intenzív körülmények között.

A sügérrel kapcsolatos tartástechnológiai kutatások első lépéseként meghatároztam az ideális medenceszint, a kísérlet során a halnevelő medence eltérő részein a különböző színek kontrasztjának (világosszürke, fekete) hatását vizsgáltam a halak termelési- és antioxidáns paramétereire. Később meghatároztam az ideális takarmányozási intenzitást egy 6 hetes vizsgálat keretében, ahol azonos takarmánymennyiség, de különböző mennyiségben és időszakban került kietetésre. A tartástechnológia fejlesztését célzó vizsgálatok harmadik szakaszában meghatároztam a sügér neveléshez kedvező megvilágítást és zavarossági (NTU) szintet.

Az eredmények értékelése során megállapítottam, hogy a sügér intenzív nevelése során a fekete aljú, világos oldalfalú medence statisztikailag igazoltan kedvező hatást gyakorol a termelési- és antioxidáns paraméterekre. A sötét oldalfalú, világos aljú kombináció kedvezőtlenebb eredményeket produkált, így az nem javasolható a juvenilis korosztály esetében. Az optimális takarmányozás intenzitás meghatározására irányuló kísérlet eredményei alapján megállapítottam, hogy azonos takarmányadag különböző napszakokban és adagokban való kietetése nem befolyásolja a halak termelési paramétereit ebben a korosztályban. Eredményeim alapján a sügér intenzív nevelése során a mérsékelt megvilágítás és az enyhén zavaros vízatlátszóság javasolható.

A haltakarmányok fő fehérjehordozója a halliszt, amely napjainkban a tengerek túlhalászata miatt egyre korlátozottabb mennyiségben áll rendelkezésre. A halliszt kiváltása az akvakultúra egyik legégetőbb problémája jelenleg, amely csak alternatív fehérjeforrásokra alapozott takarmányozási technológiák kidolgozásával oldható meg. A rovarfehérje az egyik olyan potenciális fehérje hordozó, amelynek kiváló tápértéke, illetve emellett előállítására minimális környezeti terhelés mellett valósítható meg. A közönséges lisztbogár lárvá a hazai klimatikus viszonyok mellett kiválóan tenyészthető. Magas fehérje tartalma, kedvező zsírsav összetétele és a halliszthez hasonló aminosav tartalma lehetővé teszi a haltakarmányozásba való beilleszthetőségét, ezáltal a halliszt kiváltását.

A sügér takarmányozásának fejlesztése során a rovarfehérjére alapozott takarmányozási kísérletek meghatározóak a kutatás eredményeit illetően. A közönséges lisztbogár lárva számos kutatástól eltérően nem liszt formájában illeszttem be a takarmányreceptúrába, hanem élő eleségként került kietetésre, a halak számára esszenciális nyomelemeknek számító kobalttal és mangánnal dúsítva. Ezt követően megvizsgáltam a lárvák, majd az azokat elfogyasztó halak nyomelem felvételét.

A kobalttal és mangánnal dúsított tápközegben nevelt lisztbogár lárvák hatékonyan akkumulálták a nyomelemeket már az egy hetes dúsítási periódust követően. A kobalt és a mangán együttes alkalmazása nem befolyásolta a két nyomelem felvételét. A nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával való takarmányozási kísérlet bebizonyította, hogy a sügér közvetett úton, a rovar elfogyasztása által hatékonyan képes mindkét nyomelemet akkumulálni, nem csak a különböző szerveiben, hanem a húzában (filé) is. A kobalttal és mangánnal dúsított lisztbogár lárva etetése emellett a halak termelési paramétereire (egyedi testtömeg, takarmányértékesítés, specifikus növekedési ütem) is kedvező hatást gyakorolt.

A doktori kutatás során fejlesztésre és finomhangolásra került a sügér intenzív nevelése során alkalmazott tartási és takarmányozási technológia néhány olyan eleme, amely támogathatja a halfaj akvakultúrák termelésbe történő bevonását. Bizonyítást nyert, hogy a lisztbogár lárva beilleszthető a sügér takarmányozásába, így a rovarlárva alkalmas lehet a halliszt részleges kiváltására. Mindemellett kidolgoztam egy hatékony lisztbogár lárva nyomelem dúsítási technológiát, amelynek eredményeként a lárvák összetétele kedvezőbbé tehető, illetve a halak nyomelem szükséglete biztosítható.

9. SUMMARY

During my doctoral research, I studied the possibilities of improving the keeping and feeding technology of perch, a predatory fish species native to Hungary. During the development of feeding technology for this fish species, I investigated the use and incorporation of common mealworm larvae as feed under intensive conditions.

As a first step in the research on perch farming technology, I determined the ideal tank colour and experimentally investigated the effect of contrasting colours (light grey, black) in different parts of the fish-rearing tank on the production and antioxidant parameters of the fish. I also determined the ideal feeding intensity in a 6-week study, where the same amount of feed was fed, but at different levels and times. In the third phase of the studies aimed at improving the rearing technology, I determined the lighting and turbidity (NTU) levels favourable for perch rearing.

Evaluating the results, I found that in the intensive rearing of perch the black-bottomed, light grey-sided tank has statistically proven beneficial effects on production and antioxidant parameters. The dark sidewall, the light bottom combination produced less favourable results and is not recommended for juvenile age classes. Based on the results of the experiment to determine the optimal feeding intensity, feeding fish the same ration at different times of day and in different ways has no impact on their production parameters in this age class. Based on my results, moderate lighting and slightly turbid water colour are recommended for intensive rearing of perch.

The main source of protein in fish feed is fishmeal, which is nowadays available in increasingly limited quantities due to overfishing in the seas. The substitution of fishmeal is one of the most pressing problems in aquaculture today, which can only be solved by developing feed technologies based on alternative protein sources. Insect proteins are one of the potential protein carriers with excellent nutritional value and can be produced with minimal environmental impact. The larvae of the common mealworm can be farmed under the climatic conditions of the country. Its high protein content, favourable fatty acid composition and amino acid content similar to fishmeal make it suitable for use in fish feed, thus enabling the replacement of fishmeal.

Feeding experiments based on insect proteins have been crucial to the development of perch feeding. Unlike many studies, the common mealworm larvae were not incorporated into the feed recipe as a meal but were fed as live feed, enriched with cobalt and

manganese, essential trace elements for fish. I examined the trace element uptake by the larvae and later by the fish that consumed them.

Mealworm larvae reared on cobalt and manganese-enriched substrate accumulated trace elements efficiently after a one-week enrichment period. The combined application of cobalt and manganese did not affect the uptake of the two trace elements. The feeding experiment with the larvae of mealworm enriched with trace elements demonstrated that the perch could efficiently accumulate both trace elements indirectly by consuming the insect, not only in its different organs but also in its meat (fillets). In addition, feeding the mealworm larvae enriched with cobalt and manganese had a positive effect on the production parameters of the fish (body weight, feed conversion, specific growth rate).

The PhD research has developed some elements of the farming and feeding technology used in the intensive rearing of perch that can support the introduction of the species into aquaculture production. It has been demonstrated that mealworm larvae can be incorporated into the feeding of perch, making the insect larvae suitable for partial replacement of fish meal. Moreover, I developed efficient mealworm larvae trace element enrichment technology, which may result in a more favourable larval composition and ensure the trace element requirements of the fish.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. Abele, D. - Heise, K. - Portner, H.O. - Puntarulo, S.: 2002. Temperature-dependence of mitochondrial function and production of reactive oxygen species in the intertidal mud clam *Mya arenaria*. *Journal of Experimental Biology*. 205. 1831–1841.
2. Abidi, S.F. - Khan, M.A.: 2007. Dietary leucine requirement of fingerling Indian major carp, *Labeo rohita* (Hamilton). *Aquaculture Research*. 38. 478–486.
3. Acerete, L. - Balasch, J.C. - Espinosa, E. - Josa, A. - Tort, L.: 2004. Physiological responses in Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L.) subjected to stress by transport and handling. *Aquaculture*. 237. 167–178.
4. Adámková, A. - Adámek, M. - Mlček, J. - Borkovcová, M. - Bednářová, M. - Kouřimská, L. - Vitová, E.: 2017. Welfare of the mealworm (*Tenebrio molitor*) breeding with regard to nutrition value and food safety. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 11.1: 460-465.
5. Adámková, A. - Mlček, J. - Adámek, M. - Borkovcová, M. - Bednářová, M. - Hlobilová, V. - Juríková, T.: 2020. *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) - Optimization of rearing conditions to obtain desired nutritional values. *Journal of Insect Science*. 20.5. 24: 1-10.
6. Aguilar-Miranda, E. D. - López, M. G. - Escamilla-Santana, C. - Barba De La Rosa, A. P.: 2002. Characteristics of maize flour tortilla supplemented with ground *Tenebrio molitor* larvae. *Journal of agricultural and food chemistry*. 50.1: 192-195.
7. Akram, R. - Iqbal, R. - Hussain, R. - Jabeen, F. - Ali, M.: 2021. Evaluation of Oxidative stress, antioxidant enzymes and genotoxic potential of bisphenol A in fresh water bighead carp (*Aristichthys nobilis*) fish at low concentrations. *Environmental Pollution*. 268. 115896.
8. Alanärä, A. - Strand, Å.: 2015. The Energy Requirements of Percid Fish in Culture. [In: *Biology and Culture of Percid Fishes: Principles and Practices*; Szerk. Kestemont, P., Dabrowski, K., Summerfelt, R.C.]; Springer: Dordrecht, The Netherlands; Heidelberg, Germany; New York, NY, USA; London, UK.353–368.
9. Anadu, D. I. - Anozie, O. C. - Anthon, A. D.: 1990. Growth responses of *Tilapia zillii* fed diets containing various levels of ascorbic acid and cobalt chloride. *Aquaculture*. 88.3-4: 329-336.

10. Andrews, J.W. – Page, J.W. 1975. The Effects of Frequency of Feeding on Culture of Catfish. *Transactions of the American Fisheries Society*. 104. 2: 317–321.
11. Ansari, F. A. - Guldhe, A. - Gupta, S. K. - Rawat, I. - Bux, F.: 2021. Improving the feasibility of aquaculture feed by using microalgae. *Environmental Science and Pollution Research*. 28.32: 43234-43257.
12. Apri, A. D. - Komalasari, K.: 2020. Feed and animal nutrition: insect as animal feed. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 465. 1p. 012002). IOP Publishing.
13. Aragão, C. - Gonçalves, A. T. - Costas, B. - Azeredo, R. - Xavier, M. J. -Engrola, S. (2022). Alternative proteins for fish diets: Implications beyond growth. *Animals*. 12.9: 1211.
14. Arbab, A.: 2019. Effect of temperature on pupal development in meal worm *Tenebrio molitor* L. *Indian Journal of Entomology*. 81.4: 640-646.
15. Arru, B. - Furesi, R. - Gasco, L. - Madau, F. A. - Pulina, P. (2019): The introduction of insect meal into fish diet: The first economic analysis on European sea bass farming. *Sustainability*. 11.6:1697.
16. Astuti, D. A. - Komalasari, K.: 2020. Feed and animal nutrition: Insect as animal feed. In *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*. 465. No. 1. IOP Publishing.
17. Azagoh, C. - Ducept, F. - Garcia, R. - Rakotozafy, L. - Cuvelier, M.-E. - Keller, S. - Mezdour, S.: 2016. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. *Food Research International*. 88. 24–31.
18. Aziz, M.A. - Diab, A.S. - Mohammed, A.A.: 2019. Antioxidant categories and mode of action. In: *Antioxidants*. Szerk. Shalaby, E., Ed.; IntechOpen: London, UK. 3–22.
19. Baekelandt, S. - Mandiki, S.N. - Kestemont, P.: 2019. Are cortisol and melatonin involved in the immune modulation by the light environment in pike perch *Sander lucioperca*? *Journal Pineal Research*. 67. 1. e12573.
20. Baiano, A.: 2020. Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology*. 100. 35–50.
21. Basu, N. - Nakano, T. - Grau, E.G. - Iwama, G.K.: 2001. The effects of cortisol on heat shock protein 70 levels in two fish species. *General and Comparative Endocrinology*. 124. 97–105.

22. Bayrami, A. - Allaf Noverian, H., - Asadi Sharif, E.: 2017. Effects of background colour on growth indices and stress of young sterlet (*Acipenser ruthenus*) in a closed circulated system. *Aquaculture Research*. 48.5: 2004-2011.
23. Becker, E. W.: 2007. Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology advances*. 25.2: 207-210.
24. Bellezza Oddon, S. - Biasato, I. - Imarisio, A. - Pipan, M. - Dekleva, D. - Colombino, E. - Schiavone, A.: 2021. Black Soldier Fly and Yellow Mealworm live larvae for broiler chickens: Effects on bird performance and health status. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 105. 10-18.
25. Birnie-Gauvin, K. - Costantini, D. - Cooke, S.J. - Willmore, W.G.: 2017. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: A review. *Fish and Fisheries*. 18. 928–942.
26. Bishop, C. D., - Angus, R. A. - Watts, S. A.: 1995. The use of feather meal as a replacement for fish meal in the diet of *Oreochromis niloticus* fry. *Bioresource Technology*. 54.3:291-295.
27. Blazer, V. S.: 1992. Nutrition and disease resistance in fish. *Annual Review of Fish Diseases*, 2. 309-323.
28. Blust, R.: 2011. Cobalt. *Fish physiology*.31, 291-326. Szerk. Academic Press.
29. Bokor, Z. - Kajtár, A. - Żarski, D. – Radóczy, J. - Urbányi, B. - Bernáth, G.: 2016. The effects of different parameters on the induced propagation in Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) In: *Aquaculture Europe*. European Aquaculture Society. Abstracts 1. 146: 133-134. 2.
30. Bokor, Z. - Kozma, M. - Radóczy, J. – Żarski, D. – Krejszef, S. - Urbányi, B.: 2014. Growth of two European perch populations from Poland and Hungary. In: *Aquaculture Europe*. European Aquaculture Society. 1. 154-154.
31. Brian, O. (2015): Effects of tank background colour on the hatching and survival performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2. 6: 81-86.
32. Bristow, B. T. - Summerfelt, R. C.: 1994. Performance of Larval Walleye Cultured Intensively in Clear and Turbid Water 1. *Journal of the World Aquaculture Society*. 25.3: 454-464.
33. Broekhoven, S. V. - Oonincx, D. - Huis, A. V. - Loon, J. A. P.: 2015. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible 4 mealworm species

- (*Coleoptera:Tenebrionidae*) on diets composed of 5 organic by-products. *Journal of Insect Physiology*. 73.1-10.
34. Brüning, A. - Hölker, F. - Franke, S. - Preuer, T. - Kloas, W.: 2015. Spotlight on fish: Light pollution affects circadian rhythms of European perch but does not cause stress. *Science of the Total Environment*. 511. 516–522.
 35. Bryning, G. P. - Chambers, J. - Wakefield, M. E.: 2005. Identification of a sex pheromone from male yellow mealworm beetles, *Tenebrio molitor*. *Journal of chemical ecology*. 31. 2721-2730.
 36. Bukkens, S. G. F.: 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*. 36.2-4: 287–319.
 37. Cappelli, A. - Oliva, N. - Bonaccorsi, G. - Lorini, C. - Cini, E.: 2020. Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour? *Lwt*. 118: 108867.
 38. Chakraborty, P. - Mallik, A. - Sarang, N. - Lingam, S. S.: 2019. A review on alternative plant protein sources available for future sustainable aqua feed production. *Int. J. Chem. Stud*. 7.3:1399-1404.
 39. Chanda, S. - Paul, B. N. - Ghosh, K. - Giri, S. S.: 2015. Dietary essentiality of trace minerals in aquaculture - A Review. *Agricultural Reviews*. 36.2:100-112.
 40. Christensen, E. A. - Svendsen, M. B. - Steffensen, J. F.: 2020. The combined effect of body size and temperature on oxygen consumption rates and the size-dependency of preferred temperature in European perch *Perca fluviatilis*. *Journal of Fish Biology*, 97.3:794-803.
 41. Costa, S. - Pedro, S. - Lourenço, H. - Batista, I. - Teixeira, B. - Bandarra, N.M. - Pires, C.:2020. Evaluation of *Tenebrio molitor* larvae as an alternative food source. *NFS Journal*. 21. 57–64.
 42. Cotton, R. T.: 1927. Notes on the Biology of the Meal Worms, *Tenebrio Molitor* Linne and *T. Obscurus* Fab. *Annals of the Entomological Society of America*. 20.1: 81-86.
 43. Craig, J. F.: 2000. Percid fishes: Systematics, Ecology and Expoytation. Blackwell Science. Oxford, UK. pp. 368
 44. Czarnecka, M.–Kakareko, T.–Jermacz, Ł.–Pawlak, R.–Kobak, J.: 2019. Combined effects of nocturnal exposure to artificial light and habitat complexity on fish foraging. *Science of the Total Environment*. 684. 14–22.

45. Davis, D. A. - Gatlin Iii, D. M.: 1996. Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. *Reviews in Fisheries Science*. 4.1:75-99.
46. De Abreu, M.S. - Giacomini, A.C. - Genario, R. - Dos Santos, B.E. - Marcon, L. - Demin, K.A. - Kalueff, A.V.: 2020. The impact of housing environment color on zebrafish anxiety-like behavioral and physiological (cortisol) responses. *General and Comparative Endocrinology*. 294. 113499.
47. De Souza-Vilela, J. - Andrew, N. R. - Ruhnke, I.: 2019. Insect protein in animal nutrition. *Animal Production Science*. 59.11:2029-2036.
48. Defo, M.A. - Bernatchez, L. - Campbell, P.G. - Couture, P.: 2014. Waterborne cadmium and nickel impact oxidative stress responses and retinoid metabolism in yellow perch. *Aquatic Toxicology*. 154. 207–220.
49. Demeter, K.: 2019. Ragadozó halak (sügér, *Perca fluviatilis*; fogassüllő, *Sander lucioperca*; lesőharcsa, *Silurus glanis*) néhány szaporítás-és nevelés-technológiai elemének vizsgálata üzemi körülmények között. Doktori (PhD) értekezés, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Fesztetics Doktori Iskola, Keszthely.
50. Díaz-Flores, M. - Angeles-Mejia, S. - Baiza-Gutman, L.A. - Medina-Navarro, R. - Hernández-Saavedra, D. - Ortega-Camarillo, C. - Alarcon-Aguilar, F.J.: 2012. Effect of an aqueous extract of *Cucurbita ficifolia* Bouché on the glutathione redox cycle in mice with STZ-induced diabetes. *Journal of Ethnopharmacology*. 144. 101–108.
51. Douxfils, J. - Mandiki, S.N.M. - Marotte, G. - Wang, N. - Silvestre, F. - Milla, S. - Henrotte, E. - Vandecan, M. - Rougeot, C. - Mélard, C. - Kestemont, P.: 2011. Does domestication process affect stress response in juvenile Eurasian perch *Perca fluviatilis*? *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular és Integrative Physiology*. 159.1: 92-99.
52. Dreassi, E. - Cito, A. - Zanfini, A. - Materozzi, L. - Botta, M. - Francardi, V.: 2017. Dietary fatty acids influence the growth and fatty acid composition of the yellow mealworm *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Lipids*. 52. 3: 285–294.
53. Dror, M. - Sinyakov, M. S. - Okun, E. - Dym, M. - Sredni, B. - Avtalion, R. R.: 2006. Experimental handling stress as infection-facilitating factor for the goldfish ulcerative disease. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 109. 3-4: 279–287.

54. *Elorduy, R.J. - González, E.A. - Hernández, A.R. - Pino, J.M.:* 2002. Use of *Tenebrio molitor* (*Coleoptera: Tenebrionidae*) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of economic entomology*. 95.1: 214-220.
55. *Endrődi, S.:* 1975. Bogarak: Búvár zsebkönyvek. Budapest: Móra kiadó. 28. o.
56. *Eroglu, A. - Dogan, Z. - Kanak, E.G. - Atli, G. - Canli, M.:* 2015. Effects of heavy metals (Cd, Cu, Cr, Pb, Zn) on fish glutathione metabolism. *Environmental Science and Pollution Research*. 22. 3229–3237.
57. *Esteban, M. Á. - Rodríguez, A. - Ayala, A. G. - Meseguer, J.:* 2004. Effects of high doses of cortisol on innate cellular immune response of seabream (*Sparus aurata* L.). *General and Comparative Endocrinology*. 137. 1: 89–98.
58. *Fábregas, J. - Herrero, C.:* 1986. Marine microalgae as a potential source of minerals in fish diets. *Aquaculture*. 51. 3-4: 237-243.
59. *FAO.* (2021): Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4094en>
60. *FAO.:*2023. FishstatJ szoftver
61. *Fast, M. D. - Hosoya, S. - Johnson, S. C. - Afonso, L. O. B.:* 2008. Cortisol response and immune-related effects of Atlantic salmon (*Salmo salar Linnaeus*) subjected to short- and long-term stress. *Fish és Shellfish Immunology*. 24. 2: 194–204.
62. *Fehér, M. - Baranyai, E. - Simon, E. - Bársony, P. - Szűcs, I. - Posta, J. - Stündl, L.:* 2013. The interactive effect of cobalt enrichment in *Artemia* on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*. 414. 92-99.
63. *Fehér, M.:* 2014. A barramundi (*Lates calcarifer*, Bloch, 1790) és a vörös árnyékhal (*Sciaenops ocellatus*, L. 1766) ivadéknevelési és takarmányozási technológiának fejlesztése. Doktori disszertáció. Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola. Debrecen.
64. *Feiner, Z. S. - Höök, T. O.:* 2015. Environmental biology of percid fishes. [In: Kestemont, P., Dabrowski, K., Summerfelt, R.C. (Szerk.) *Biology and Culture of Percid Fishes: Principles and Practices*.] Springer: Dordrecht, The Netherlands; Heidelberg, Germany; New York, NY, USA; London, UK.353–368.
65. *Feledi, T. – Kiss, Á. – Borbély, Gy. – Kucska, B. – Kovács, Gy. – Stündl, L. – Bársony, P. – Rónyai, A.:* 2009. A hibrid csíkos sügér (*Morone saxatilis* x *M. chrysops*) nevelése recirkulációs és "tó a tóban" rendszerben. *Halászatfejlesztés 32 – Fisheries és Aquaculture Development*. Szarvas, 32:23-30.

66. Ferincz, Á. – Weiperth, A. – Lente, V. – Hegedűs, A. – Takács, P. – Staszny, Á.: 2022. A sügér elterjedése, ökológiai és környezeti igényei. [In: Bokor, Z. - Csorbai, B. - Urbányi, B. (szerk.) A sügér biológiája és tenyésztése.] Dr. Kriszt Balázs intézetigazgató, Vármédia Print Kft. Gödöllő. 23-27.
67. Fiogbe, E. D. - Kestemont, P. - Melard, C. - Micha, J. C.: 2008. Effects of dietary crude protein on growth of the Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Aquaculture*. 144. 1-3: 239–249.
68. Fiogbe, E. D.: 1996. Contribution à l'étude des besoins nutritionnels chez les larves et juvéniles de la perche fluviatile (*Perca fluviatilis* L.) PhD thesis, Presses Universitaires de Namur, Namur, Belgium, 334 pp.
69. Florou-Paneri, P. - Christaki, E. - Giannenas, I. - Bonos, E. - Skoufos, I. - Tsinas, A. - Peng, J.: 2014. Alternative protein sources to soybean meal in pig diets. *J. Food Agric. Environ*, 12. 655-660.
70. Fontaine, P. - Gardeur, N., J. - Kestemont, P. - Georges, A.: 1997. Influence of feeding level on growth, intraspecific weight variability and sexual growth dimorphism of european perch *perca fluviatilis* reared in recirculation system. *Aquaculture*.157. 1-9.
71. Fontaine, P.: 2004. L'élevage de la perche commune, une voie de diversification pour l'aquaculture continentale . *Productions Animales*.17. 3: 189-193.
72. Gao, X.J. - Tang, B. - Liang, H.H. - Yi, L. - Wei, Z.G.: 2019. Selenium deficiency inhibits micRNA-146a to promote ROS-induced inflammation via regulation of the MAPK pathway in the head kidney of carp. *Fish Shellfish Immunology*. 91. 284–292.
73. Gasco, L. - Belforti, M. - Rotolo L. - Lussiana, C. - Parisi G. - Terova G. - Roncarati A. - Gai, F.: 2014. Mealworm (*Tenebrio molitor*) as a potential ingredient in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Abstract book Conference “Insects to Feed The World”. The Netherlands. 14-17.
74. Gasco, L. - Henry, M. - Piccolo, G. - Marono, S. - Gai, F. - Renna, M. - Chatzifotis, S.: 2016. *Tenebrio molitor* meal in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) juveniles: growth performance, whole body composition and in vivo apparent digestibility. *Animal Feed Science and Technology*. 220. 34-45.
75. Ge, C. - Cheng, H. - Li, J. - Wang, H. - Ma, S. - Qin, Y. - Xue, M.: 2022. Effects of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) on the feed qualities and the growth

- performance of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Journal of Insects as Food and Feed*. 8. 11: 1265-1279.
76. Gillet, C. - Lang, C. - Dubois, J. P.: 2013. Fluctuations of perch populations in Lake Geneva from 1984 to 2011 estimated from the number and size of egg strands collected in two locations exposed to different fishing practices. *Fisheries Management and Ecology*. 20. 484-493.
 77. Girao, P.M. - Pereira Da Silva, E.M. - De Melo, M.P.: 2012. Dietary lycopene supplementation on Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles submitted to confinement: Effects on cortisol level and antioxidant response. *Aquaculture Research*. 43. 5: 789–798.
 78. Godfray, H. C. J. - Beddington, J. R. - Crute, I.R. - Haddad, L. - Lawrence, D. - Muir, J. F. - Pretty, J. - Robinson, S. - Thomas, S. M. - Toulmin, C.: 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*. 327. 5967: 812-818.
 79. Grau, T. - Vilcinskis, A. - Joop, G.: 2017. Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Zeitschrift für Naturforschung C*. 72. 9-10: 337-349.
 80. Grayton, B.D. – Beamish, F.W.H.: 1977. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*. 11. 2: 159–172.
 81. Greenland, D.C. – Gill, R.L.: 1979. Multiple daily feedings with automatic feeders improve growth and feed conversion rates of channel catfish. *The Progressive Fish-Culturist*. 41. 3: 151–153.
 82. Griffiths, W.E.: 1976. Food and feeding habits of European perch in the Selwyn River, Canterbury, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 10. 417–428.
 83. Grignard, J. C. - Mélard, C. - Baras, E. - Poirier, A. - Philippart, J. C. - Bussers, J. C.: 1996a. Occurrence and impact of *Heteropolaria* sp.(Protozoa, Ciliophora) on intensively cultured perch (*Perca fluviatilis*). *Annales Zoologici Fennici*. 33, 653-657.
 84. Grignard, J. C. - Mélard, C. - Kestemont, P.: 1996b. A preliminary study of parasites and diseases of perch (*Perca fluviatilis*) in an intensive culture system. *Journal of Applied Ichthyology*. 12. 195-200.
 85. Grossmann, L. - Weiss, J.: 2021. Alternative protein sources as technofunctional food ingredients. *Annual Review of Food Science and Technology*. 12. 93-117.

86. Grozea, A. - Draşovean, A. - Lalescu, D. - Gál, D. - Cziszter, L. T. - Cristina, R. T.: 2016. The pikeperch (*Sander lucioperca*) background color first choice in the recirculating aquaculture systems. *Turkish journal of fisheries and aquatic sciences*. 16. 4: 891-897.
87. Grutter, A.S. - Pankhurst, N.W.: 2000. The effects of capture, handling, confinement and ectoparasite load on plasma levels of cortisol, glucose and lactate in the coral reef fish *Hemigymnus melapterus*. *Journal of Fish Biology*. 57. 391–401.
88. Gu, J. - Liang, H. - Ge, X. - Xia, D. - Pan, L. - Mi, H. - Ren, M.: 2022. A study of the potential effect of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) substitution for fish meal on growth, immune and antioxidant capacity in juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Fish & Shellfish Immunology*. 120. 214-221.
89. Halliwell, B. - Chirico, S.: 1993. Lipid peroxidation: Its mechanism, measurement, and significance. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 57. 715S–725S.
90. Härkönen, L. - Hyvärinen, P. - Mehtätalo, L. - Vainikka, A.: 2017. Growth, survival and interspecific social learning in the first hatchery generation of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*). *Aquaculture*. 466. 64-71.
91. Hawkey, K. J. - Lopez-Viso, C. - Brameld, J. M. - Parr, T. - Salter, A. M.: 2021. Insects: a potential source of protein and other nutrients for feed and food. *Annual review of animal biosciences*. 9. 333-354.
92. Head, A.B. - Malison, J.A.: 2000. Effects of Lighting Spectrum and Disturbance Level on the Growth and Stress Responses of Yellow Perch *Perca flavescens*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 31. 1: 73–80.
93. Helfman, G.S.: 1986. Fish behaviour by day, night and twilight. In *The behaviour of teleost fishes*. 366–387. Springer, Boston, MA.
94. Henrique, M.M.F. - Gomes, E.F. - Gouillou-Coustans, M.F. - Oliva-Teles, A. - Davies, S.J.: 1998. Influence of supplementation of practical diets with vitamin C on growth and response to hypoxic stress of seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture*. 161. 415–426.
95. Henry, M. - Gasco, L. - Chatzifotis, S. - Piccolod, G.: 2018. Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Developmental és Comparative Immunology*. 81. 204-209.

96. Henry, M. - Gasco, L. - Fountoulaki, E.: 2015. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal feed science and technology*. 203. 1-22.
97. Herman, P. - Fehér, M. - Molnár, Á. - Harangi, S. - Sajtos, Z. - Stündl, L. - Baranyai, E.: 2021. Iron and manganese retention of juvenile zebrafish (*Danio rerio*) exposed to contaminated dietary zooplankton (*Daphnia pulex*) - a model experiment. *Biological Trace Element Research*. 199. 2: 732-743.
98. Horváth, M. - Babinszky, L.: 2019. Impact of selected antioxidant Vitamins (Vitamin A, E and C) and micro minerals (Zn, Se) on the antioxidant status and performance under high environmental temperature in poultry. A review. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*. 68. 3: 152-160.
99. Iaconisi, V. - Secci, G. - Sabatino, G. - Piccolo, G. - Gasco, L. - Papini, A. - Parisi, G.: 2019. Effect of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) larvae meal on amino acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) fillets. *Aquaculture*. 513. 15.
100. Ibrahim, N. - Naggar, G.E.: 2010. Water quality, fish production and economics of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, and African catfish, *Clarias gariepinus*, monoculture and polycultures. *Journal of the World Aquaculture Society*. 41. 574–582.
101. Ido, A. - Hashizume, A. - Ohta, T. - Takahashi, T. - Miura, C. - Miura, T.: 2019. Replacement of fish meal by defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae in diet improves growth performance and disease resistance in red seabream (*Pargus major*). *Animals*. 9. 3: 100.
102. Jabeen, S. - Salim, M. - Akhtar, P.: 2004. Feed conversion ratio of major carp *Cirrhinus mrigala* fingerlings fed on cotton seed meal, fish meal and barley. *Pakistan Veterinary Journal*. 24. 1. 42–45.
103. Javed, M.: 2013. Chronic effects of nickel and cobalt on fish growth. *International Journal of Agriculture and Biology*. 15. 575–579.
104. Jentoft, S. - Aastveit, A. H. - Torjesen, P. A. - Andersen, Ø.: 2005. Effects of stress on growth, cortisol and glucose levels in non-domesticated Eurasian perch (*Perca fluviatilis*) and domesticated rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular és Integrative Physiology*. 141. 3: 353–358.

105. Jentoft, S. - Held, J.A. - Malison, J.A. - Barry, T.P.: 2002. Ontogeny of the cortisol stress response in yellow perch (*Perca flavescens*). *Fish Physiology and Biochemistry*. 26. 4: 371–378.
106. Jentoft, S. - Oxnevad, S. - Aastveit, A. H. - Andersen, O.: 2006. Effects of Tank Wall Color and Up-welling Water Flow on Growth and Survival of Eurasian Perch Larvae (*Perca fluviatilis*). *Journal of the World Aquaculture Society*. 37. 3. 313–317.
107. Jeong, S. M. - Khosravi, S. - Mauliasari, I. R. - Lee, S. M.: 2020. Dietary inclusion of mealworm (*Tenebrio molitor*) meal as an alternative protein source in practical diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry. *Fisheries and Aquatic Sciences*. 23. 1: 1-8.
108. Jobling, M.: 1982. Some observations on the effects of feeding frequency on the food intake and growth of plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Biology*. 20. 4: 431–444.
109. Kestemont, P. - Craig, J. F. - Harrell, R.: 2009. Warm water fish: the perch pike, and bass families. *Fisheries and Aquaculture*. 3. 200-229.
110. Kim, S. W. - Less, J. F. - Wang, L. - Yan, T. - Kiron, V. - Kaushik, S. J. - Lei, X. G.: 2019. Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. *Annual Review of Animal Biosciences*. 7. 221-243.
111. Kim, S. Y. - Chung, T. H. - Kim, S. H. - Song, S. - Kim, N.: 2014. Recycling agricultural wastes as feed for mealworm (*Tenebrio molitor*). *Korean journal of applied entomology*, 53. 4. 367-373.
112. Knox, D. - Cowey, C.B. - Adron, J.W.: 1982. Effects of dietary copper and copper:zinc ratio on rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*. 27. 2: 111-119.
113. Köhler, H.R. - Bartussek, C. - Eckwert, H. - Farian, K. - Gränzer, S. - Knigge, T. - Kunz, N.: 2001. The hepatic stress protein (hsp70) response to interacting abiotic parameters in fish exposed to various levels of pollution. *Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery*. 8. 3: 261–279.
114. Kröncke, N. - Bösch, V. - Woyzichowski, J. - Demtröder, S. - Benning, R.: 2018. Comparison of suitable drying processes for mealworms (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science és Emerging Technologies*. 50. 20-25.
115. Kucska, B. - Stettner, G. - Horváth, Z. - Varga, D. - Ljubobratovic, U.: 2020. A süllő (*Sander lucioperca*) intenzív lárvanevelésének fejlesztése – különböző

- megvilágítás alkalmazásával. In: *A XLIV. Halászati Tudományos Tanácskozás kiadványa*. 14–15.
116. Laflamme, J.S. - Couillard, Y. - Campbell, P.G. - Hontela, A.: 2000. Interrenal metallothionein and cortisol secretion in relation to Cd, Cu, and Zn exposure in yellow perch, *Perca flavescens*, from Abitibi lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 57. 1692–1700.
 117. Lall, S.P.: (1989): The Minerals. [In: J.E. Halver (szerk) Fish Nutrition]. Academic Press, New York. 219-257.
 118. Lall, S.P.: 1979. Minerals in finfish nutrition. [In: J.E. Halver and K. Tiews (szerk.) Finfish Nutrition and Fishfeed Technology. I.]. Heenemann, Berlin, 85-97.
 119. Lee, K.J. - Dabrowski, K.: 2004. Long-term effects and interactions of dietary vitamins C and E on growth and reproduction of yellow perch, *Perca flavescens*. *Aquaculture*. 230. 377–389.
 120. Lee, S.M. – Cho, S.H. – Kim, D.J.: 2000. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel). *Aquaculture Research*. 31. 12: 917–921.
 121. Li, L. - Xie, B. - Dong, C. - Hu, D. - Wang, M. - Liu, G. - Liu, H.: 2015. Rearing *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) in the “Lunar Palace 1” during a 105-day multi-crew closed integrative BLSS experiment. *Life Sciences in Space Research*. 7. 9-14.
 122. Lin, Y. H. Wu, J. Y.- Shiau, S. Y.: 2010. Dietary cobalt can promote gastrointestinal bacterial production of vitamin B12 in sufficient amounts to supply growth requirements of grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Aquaculture*. 302. 1-2: 89-93.
 123. Ljubobratovic, U. – Kitanović, N. – Marinović, Z. – Vass, N. – Fazekas, G. – Stanivuk, J. – Nagy, Z. – Horváth, Á.: 2022. Háziasított süllő anyahal mesterséges hormon stimulációra kész állapotának meghatározása. *Halászatfejlesztés*. 39. 48-50.
 124. Ljubobratović, U. - Kitanović, N. - Milla, S. - Marinović, Z. - Fazekas, G. - Stanivuk, J. - Horváth, Á.: 2023. Predicting population's oocyte maturation competence and evaluating individual's latency time using in vitro oocyte maturation in pikeperch (*Sander lucioperca*). *Aquaculture*. 562. 738851.
 125. Llagostera, P.F. - Kallas, Z. - Reig, L. - De Gea., D.A.: 2019. The use of insect meal as a sustainable feeding alternative in aquaculture: Current situation, Spanish

- consumers' perceptions and willingness to pay. *Journal of Cleaner Production*. 229. 10-21.
126. Lucentini, L. - Lorenzoni, M. - Panara, F. - Mearelli, M.: 2002. Effects of short- and long-term thermal stress in perch (*Perca fluviatilis*) determined through fluctuating asymmetry and HSP70 expression. *Italian Journal of Zoology*. 69. 1. 13–17.
 127. Lutz, P. L.: 1972. Ionic and body compartment responses to increasing salinity in the perch *Perca fluviatilis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*. 42. 3: 711-717.
 128. MA-HAL (2021): Jelentés a Szövetség működésének 2020. évi eredményeiről. Budapest, 2021.
 129. Makkar, H. P. - Tran, G. - Heuzé, V. - Ankers, P.: 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*. 197. 1-33.
 130. Mareš, J. - Hillermann, J. - Kouřil, J. - Kopp, R. - Kalová, M. 2004: Experience with European perch (*Perca Fluviatilis L.*) Larval rearing in controlled conditions.
 131. Mazur, C.F. - Iwama, G.K.: 1993. Effect of handling and stocking density on hematocrit, plasma cortisol, and survival in wild and hatchery-reared chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*. 112. 291-299.
 132. Mckee, B. - Murray, G. - Moran, H. - Montes, A. - Maharjan, S.: 2019. The Effect of Light Conditions on the Metabolic Rate of Mealworms, *Tenebrio molitor*. *Journal of Introductory Biology Investigations*. 10.1.
 133. Mclean, M. - Cotter, P. - Thain, C. - King, N.: 2008. Tank color impacts performance of cultured fish. *Ribarstvo*. 66. 2. 43 - 54.
 134. Mélard, C. - Kestemont, P. - Grignard, J. C.: 1996. Intensive culture of juvenile and adult Eurasian perch (*Perca fluviatilis*): Effect of major biotic and abiotic factors on growth. *Journal of Applied Ichthyology*. 12. 175-180.
 135. Melis, R. - Braca, A. - Sanna, R. - Spada, S. - Mulas, G. - Fadda, M. L. - Anedda, R.: 2019. Metabolic response of yellow mealworm larvae to two alternative rearing substrates. *Metabolomics*. 15. 8: 1-13.
 136. Merzlov, S. - Mashkin, Y. - Merzlova, H. - Vovkohon, A.: 2017. Californian red worm biomass increase and its cobalt accumulation under different concentrations of the metal in nutrient medium. *Ukrainian Journal of Ecology*. 7. 4. 525-528.
 137. Mézes, M.: 2018. A rovarfehérje, mint a fehérjeellátás új alternatívája. *Állattenyésztés és takarmányozás*. 67 (4), 287-296.

138. Mézes, M.: 2022. A sügér táplálkozása és táppal történő takarmányozása [In: Bokor, Z. - Csorbai, B. - Urbányi, B. (szerk.) A sügér biológiája és tenyésztése.] Dr. Kriszt Balázs intézetigazgató, Vármédia Print Kft. Gödöllő. 29-39.
139. Milla, S. - Mathieu, C. - Wang, N. - Lambert, S. - Nadzialek, S. - Massart, S. - Mandiki, S. N. M.: 2010. Spleen immune status is affected after acute handling stress but not regulated by cortisol in Eurasian perch, *Perca fluviatilis*. *Fish és Shellfish Immunology*. 28. 5-6: 931–941.
140. Mohsen, A. A. - Lovell, R. T.: 1990. Partial substitution of soybean meal with animal protein sources in diets for channel catfish. *Aquaculture*. 90. 3-4. 303-311.
141. Monk, J. - Puvanendran, V. - Brown, A.J.: 2008. Does different tank bottom colour affect the growth, survival and foraging behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae? *Aquaculture*. 277. 197-202.
142. Montero, D. - Marrero, M. - Izquierdo, M.S. - Robaina, L. - Vergara, J.M. - Tort, L.: 1999. Effect of vitamin E and C dietary supplementation on some immune parameters of gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles subjected to crowding stress. *Aquaculture*. 171. 269–278.
143. Morgan, K. N. - Tromborg, C. T.: 2007. Sources of stress in captivity. *Applied Animal Behaviour Science*. 102. 3-4: 262–302.
144. Motte, C. - Rios, A. - Lefebvre, T. - Do, H. - Henry, M. - Jintataporn, O.: 2019. Replacing fish meal with defatted insect meal (Yellow Mealworm *Tenebrio molitor*) improves the growth and immunity of pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals*. 9. 5: 258.
145. Müller, T. – Braun, Á. – Hegyi, Á. – Ivánovics, B. - Żarski, D. – Makk, J. – Varju-Katona, M. – Ács, É.: 2022. A sügér elterjedése, ökológiai és környezeti igényei. [In: Bokor, Z. - Csorbai, B. - Urbányi, B. (szerk.) A sügér biológiája és tenyésztése.] Dr. Kriszt Balázs intézetigazgató, Vármédia Print Kft. Gödöllő. 81-88.
146. Musyoka, S. N. - Liti, D. M. - Ogello, E. - Waidbacher, H.: 2019. Utilization of the earthworm, *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) as an alternative protein source in fish feeds processing: A review. *Aquaculture Research*. 50. 9: 2301-2315.
147. Narra, M.R. - Rajender, K. - Reddy, R.R. - Murty, U.S. - Begum, G.: 2017. Insecticides induced stress response and recuperation in fish: Biomarkers in blood and tissues related to oxidative damage. *Chemosphere*. 168. 350–357.
148. Narra, M.R. - Rajender, K. - Reddy, R.R. - Rao, J.V. - Begum, G.: 2015. The role of vitamin C as antioxidant in protection of biochemical and haematological stress

- induced by chlorpyrifos in freshwater fish *Clarias batrachus*. *Chemosphere*. 132. 172–178.
149. Naylor, R. L. - Goldberg, R. J. - Primavera, J. H. - Kautsky, N. - Beveridge, M. C. M. - Clay, J. - Troell, M.: 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature*. 405. 6790: 1017–1024.
 150. Ng, W. K. - Liew, F. L. - Ang, L. P. - Wong, K. W.: 2002. Potential of mealworm (*Tenebrio molitor*) as an alternative protein source in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Research*. 32. 273–280.
 151. Noeske, T.A. – Spieler, R.E.: 1984. Circadian Feeding Time Affects Growth of Fish. *Transactions of the American Fisheries Society*. 113. 4: 540–544.
 152. Nogales-Mérida, S. - Gobbi, P. - Józefiak, D. - Mazurkiewicz, J. - Dudek, K. - Rawski, M. - Józefiak, A.: 2019. Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*. 11. 4: 1080–1103.
 153. Nugroho, R. A. - Nur, F. M.: 2018. Insect-based protein: future promising protein source for fish cultured. In *IOP conference series: Earth and environmental Science* (Vol. 144, No. 1, p. 012002). IOP publishing.
 154. Olvido, A. E. - Thulé, K. G.: 2019. How variation in temperature and diet affect adult lifespan of the yellow mealworm beetle, *Tenebrio molitor* L (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 7. 5: 661–665.
 155. Oonincx, D. G. - Van Itterbeeck, J. - Heetkamp, M. J. - Van Den Brand, H. - Van Loon, J. J. - Van Huis, A.: 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS one*. 5. 12: e14445.
 156. Orban, E. - Navigato, T. - Masci, M. - Di Lena, G. - Casini, I. - Caproni, R. - Rampacci, M.: 2007. Nutritional quality and safety of European perch (*Perca fluviatilis*) from three lakes of Central Italy. *Food Chemistry*. 100. 2. 482–490.
 157. Padmini, E. - Rani, M.U.: 2008. Impact of seasonal variation on HSP70 expression quantitated in stressed fish hepatocytes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 151. 3: 278–285.
 158. Palińska-Żarska, K. - Krejszef, S. - Łopata, M. - Żarski, D.: 2019: Effect of water hardness, temperature, and tank wall color, on the effectiveness of swim bladder inflation and survival of Eurasian perch (*Perca fluviatilis*, L.) larvae reared under controlled conditions. *Aquaculture International*. 27. 931–943.

159. Palińska-Żarska, K. - Żarski, D. - Krejszef, S. - Nowosad, J. - Biłas, M. - Kucharczyk, D.: 2013. Tank wall color affects swimbladder inflation in Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L., under controlled conditions. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 78. 338–341.
160. Park, J. B. - Choi, W. H. - Kim, S. H. - Jin, H. J. - Han, Y. S. - Lee, Y. S. - Kim, N. J.: 2015. Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars. *International Journal of Industrial Entomology*. 28. 1: 5-9.
161. Pati, P. - Mondal, K.: 2019. A review on the dietary requirements of trace minerals in freshwater fish. *Journal of Environment and Sociobiology*. 16. 2: 171-206.
162. Pintér K.: 2002. Magyarország halai, Akadémiai Kiadó, Budapest. pp. 176-177.
163. Policar, T. - Samarin, A.M. - Méléard, C.: 2015. Culture Methods of Eurasian Perch During On-growing. [In: Kestemont, P., Dabrowski, K., Summerfelt, R.C. (szerk.) *Biology and Culture of Percid Fishes: Principles and Practices*.] Springer: Dordrecht, The Netherlands; Heidelberg, Germany; New York, NY, USA; London, UK, 417–435.
164. Policar, T. - Schaefer, F.J. - Panana, E. - Meyer, S. - Teerlinck, S. - Toner, D. - Żarski, D.: 2019. Recent progress in European percid fish culture production technology—Tackling bottlenecks. *Aquaculture International*. 27. 1151–1174.
165. Pottinger, T.G. - Carrick, T.R.: 1999. Modification of the plasma cortisol response to stress in rainbow trout by selective breeding. *General and Comparative Endocrinology*. 116. 122–132.
166. Pourkhabbaz, A. - Khazaei, T. - Behraves, S. - Ebrahimpour, M. - Pourkhabbaz, H.: 2011. Effect of water hardness on the toxicity of cobalt and nickel to a freshwater fish, *Capoeta fusca*. *Biomedical and Environmental Sciences*. 24. 6: 656-660.
167. Purschke, B. - Mendez Sanchez, Y. D. - Jäger, H.: 2018. Centrifugal fractionation of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) for protein recovery and concentration. *LWT*. 89. 224–228.
168. Qin, P. - Wang, T. - Luo, Y.: 2022. A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*. 7. 100265.
169. Rajeshkumar, S. - Mini, J. - Munuswamy, N.: 2013. Effects of heavy metals on antioxidants and expression of HSP70 in different tissues of Milk fish (*Chanos*

- chanos) of Kaattuppalli Island, Chennai, India. *Ecotoxicology and environmental safety*. 98. 8–18.
170. Ravzanaadii, N. - Kim, S.H. - Choi, W.H. - Hong, S.J. - Kim, N.J.: 2012. Nutritional value of mealworm (*Tenebrio molitor*) as food source. *International Journal of Industrial Entomology*. 25. 1: 93–98.
171. Rema, P. - Saravanan, S. - Armenjon, B. - Motte, C. - Dias, J.: 2019. Graded incorporation of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet improves growth performance and nutrient retention. *Animals*. 9. 4: 187.
172. Ren, X. - Huang, D. - Wu, Y. B. - Jiang, D. L. - Li, P. - Chen, J. M. - Wang, Y.: 2020. Gamma ray irradiation improves feather meal as a fish meal alternate in largemouth bass *Micropterus salmoides* diet. *Animal Feed Science and Technology*. 269. 114647.
173. Roncarati, A. - Gasco, L. - Parisi, G. - Terova, G.: 2015. Growth performance of common catfish (*Ameiurus melas Raf.*) fingerlings fed mealworm (*Tenebrio molitor*) diet. *Journal of Insects as Food and Feed*. 1. 3: 233-240.
174. Rotllant, J. - Tort, L. - Montero, D. - Pavlidis, M. - Martinez, M. - Bonga, S.W. - Balm, P.H.M.: 2003. Background colour influence on the stress response in cultured red porgy *Pagrus pagrus*. *Aquaculture*. 223. 129–139.
175. Rowland, S.J. – Allan, G.L. – Mifsud, C. – Nixon, M. – Boyd, P. – Glendenning, D.: 2005. Development of a feeding strategy for silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell), based on restricted rations. *Aquaculture Research*. 36. 14: 1429–1441.
176. Rumbos, C. I. - Mente, E. - Karapanagiotidis, I. T. - Vlontzos, G. - Athanassiou, C. G.: 2021. Insect-Based Feed Ingredients for Aquaculture: A Case Study for Their Acceptance in Greece. *Insects*. 12. 7: 586.
177. Ruschioni, S. - Loreto, N. - Foligni, R. - Mannozi, C. - Raffaelli, N. - Zamporlini, F. - Mozzon, M.: 2020. Addition of olive pomace to feeding substrate affects growth performance and nutritional value of mealworm (*Tenebrio molitor L.*) larvae. *Foods*. 9. 3: 317.
178. Sabri, D.M. - Elnwishy, N. - Nwonwu, F.: 2012. Effect of Environmental Color on the Behavioral and Physiological Response of Nile Tilapia, *Oreochromis Niloticuss*. *Global Journal of Science Frontier Research Biological Sciences*. 12. 4. 17-32.

179. Saleh, H. H.: 2020. Review on Using of Macro Algae (seaweeds) in Fish Nutrition. *Journal of Zoological Research*. 2. 2: 23-26.
180. Sankian, Z. - Khosravi, S. - Kim, Y. O. - Lee, S. M.: 2018. Effects of dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) meal on growth performance, feed utilization, body composition, plasma biochemical indices, selected immune parameters and antioxidant enzyme activities of mandarin fish (*Siniperca scherzeri*) juveniles. *Aquaculture*. 496. 79-87.
181. Shafique, L. - Abdel-Latif, H. M. - Hassan, F. U. - Alagawany, M. - Naiel, M. A. - Dawood, M. A. - Liu, Q.: 2021. The feasibility of using yellow mealworms (*Tenebrio molitor*): Towards a sustainable aquafeed industry. *Animals*. 11. 3: 811.
182. Siemianowska, E. - Kosewska, A. - Aljewicz, M.: 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agricultural Sciences*. 4. 287-291.
183. Silva, C.R. – Gomes, L.C. – Brandão, F.R.: 2007. Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages. *Aquaculture*. 264. 1–4: 135–139.
184. Sogari, G. - Amato, M. - Biasato, I. - Chiesa, S. - Gasco, L.: 2019. The potential role of insects as feed: A multi-perspective review. *Animals*. 9. 4: 119.
185. Son, Y.J. - Choi, S.Y. - Hwang, I.K. - Nho, C.W. - Kim, S.H.: 2020. Could defatted mealworm (*Tenebrio molitor*) and mealworm oil be used as food ingredients? *Foods*. 9.1. 40.
186. Sonnack, L. - Klawonn, T. - Kriehuber, R. - Hollert, H. - Schäfers, C. - Fenske, M.: 2018. Comparative analysis of the transcriptome responses of zebrafish embryos after exposure to low concentrations of cadmium, cobalt and copper. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*. 25. 99-108.
187. Stejskal, V. - Tran, H.Q. - Prokesova, M. - Gebauer, T. - Giang, P.T. - Gai, F. - Gasco, L.: 2020. Partially defatted *Hermetia illucens* larva meal in diet of eurasian perch (*Perca fluviatilis*) juveniles. *Animals*. 10. 1876.
188. Stenberg, O. K. - Holen, E. - Piemontese, L. - Liland, N. S. - Lock, E.-J. - Espe, M. - Belghit, I.: 2019. Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induced gene response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leukocytes. *Fish és Shellfish Immunology*. 91. 223–232.
189. Stepien, C. A. - Haponski, A. E.: 2015. Taxonomy, distribution, and evolution of the Percidae. In *Biology and culture of percoid fishes*. Springer, Dordrecht. 3-60.

190. Strand, Å. - Alanärä, A. - Staffan, F. - Magnhagen, C.: 2007a. Effects of tank colour and light intensity on feed intake, growth rate and energy expenditure of juvenile Eurasian perch, *Perca fluviatilis* L. *Aquaculture*. 272. 1-4: 312-318.
191. Strand, Å. - Magnhagen, C. – Alanärä, A.: 2007b. Effects of repeated disturbances on feed intake, growth rates and energy expenditures of juvenile perch, *Perca fluviatilis*. *Aquaculture*. 265 (1-4),163-168.
192. Sun, Y. - Yin, Y. - Zhang, J. - Yu, H. - Wang, X.: 2007. Bioaccumulation and ROS generation in liver of freshwater fish, goldfish *Carassius auratus* under HC Orange No. 1 exposure. *Environmental Toxicology: An International Journal*. 22. 3. 256–263.
193. Sun, Z. - Gong, C. - Ren, J. - Zhang, X. - Wang, G. - Liu, Y. - Hou, J.: 2020. Toxicity of nickel and cobalt in Japanese flounder. *Environmental Pollution*. 263. 114516.
194. Sundararaj, B.I. – Nath, P. – Halberg, F.: 1982. Circadian Meal Timing in Relation to Lighting Schedule Optimizes Catfish Body Weight Gain. *The Journal of Nutrition*. 112. 6: 1085–1097.
195. Szentgyörgyvölgyi Á. - Merth J. - Beliczky G. - Havasi M. - Bercsényi M.:2014. A pisztrángsügér (*Micropterus salmoides*) és a sügér (*Perca fluviatilis*) nevelése elkülönített és kevert tartásban. A két faj horgászati alkalmazhatóságának lehetőségei. [In: XXXVIII. Halászati Tudományos Tanácskozás, 2014. május 28-29. Kivonat füzet.] Szarvas. 50-51. ISSN 0230-8312)
196. Tacon, A. G. J. - Metian, M. - Turchini, G. M. - De Silva, S. S.: 2009. Responsible Aquaculture and Trophic Level Implications to Global Fish Supply. *Reviews in Fisheries Science*. 18. 1: 94–105.
197. Tacon, A. G. J. - Metian, M.: 2009. Fishing for Aquaculture: Non-Food Use of Small Pelagic Forage Fish - A Global Perspective. *Reviews in Fisheries Science*. 17. 3: 305–317.
198. Tacon, A. G. J.: 2004. Use of fish meal and fish oil in aquaculture: a global perspective. *CAB Reviews*. 1, 3-14.
199. Tamazouzt, L. - Chatain, B. - Fontaine, P.: 2000. Tank wall colour and light level affect growth and survival of Eurasian perch larvae (*Perca fluviatilis* L.). *Aquaculture*. 182. 85–90.
200. Tanck, M.W.T. - Claes, T. - Bovenhuis, H. - Komen, J.: 2002. Exploring the genetic background of stress using isogenic progenies of common carp selected for high or low stress-related cortisol response. *Aquaculture*. 204. 419–434.

201. Tian, H.Y. - Zhang, D.D. - Xu, C. - Wang, F. - Liu, W.B.: 2015. Effects of light intensity on growth, immune responses, antioxidant capability and disease resistance of juvenile blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. *Fish és Shellfish Immunology*. 47. 674–680.
202. Tidwell, J. H. - Allan, G. L.: 2001. Fish as food: aquaculture's contribution. *EMBO Reports*. 2. 11: 958-963.
203. Tilami, S. K. - Turek, J. - Červený, D. - Lepič, P. - Kozák, P. - Burkina, V. - Mráz, J.: 2020. Insect meal as a partial replacement for fish meal in a formulated diet for perch *Perca fluviatilis*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 20.12: 867-878.
204. Tran, G. - Heuzé, V. - Makkar, H. P. S.: 2015. Insects in fish diets. *Animal frontiers*. 5. 2: 37-44.
205. Tran, H. Q. - Van Doan, H. - Stejskal, V.: 2021. Does dietary *Tenebrio molitor* affect swimming capacity, energy use, and physiological responses of European perch *Perca fluviatilis*? *Aquaculture*. 539. 736610.
206. Urbinati, E. C. - De Abreu, J. S. - Da Silva Camargo, A. C. - Landinez Parra, M. A.: 2004. Loading and transport stress of juvenile matrinxã (*Brycon cephalus*, *Characidae*) at various densities. *Aquaculture*. 229. 1-4: 389–400.
207. Van Huis, A. - Van Itterbeeck, J. - Klunder, H. - Mertens, E. - Halloran, A. - Muir, G. - Vantomme, P.: 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171). Food and agriculture organization of the United Nations.
208. Varju-Katona, M.: 2018. A takarmánymegvonás, mint technológiai elem beépítésének lehetősége intenzív süllőnevelési rendszerbe és ennek hatása hím ivarú halak szaporodásbiológiai folyamataira. Doktori disszertáció. Szent István Egyetem, Gödöllő.
209. Viegas, M. N. - Salgado, M. A. - Aguiar, C. - Almeida, A. - Gavaia, P. - Dias, J. 2021. Effect of dietary manganese and zinc levels on growth and bone status of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) post-larvae. *Biological Trace Element Research*. 199. 5: 2012-2021.
210. Villarreal, H. - Civera-Cerecedo, R. - Hernandez-Llamas, A.: 2006. Effect of partial and total replacement of fish, shrimp head, and soybean meals with red crab meal *Pleuroncodes planipes* (Stimpson) on growth of white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone). *Aquaculture Research*. 37. 3: 293-298.

211. Vinagre, C. - Madeira, D. - Narciso, L. - Cabral, H.N. - Diniz, M.: 2012. Effect of temperature on oxidative stress in fish: Lipid peroxidation and catalase activity in the muscle of juvenile seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Ecological Indicators*. 23. 274–279.
212. Vogel, R. - Wiesinger, H. - Hamprecht, B. - Dringen, R.: 1999. The regeneration of reduced glutathione in rat forebrain mitochondria identifies metabolic pathways providing the NADPH required. *Neuroscience Letters*. 275. 2: 97–100.
213. Wang, H. C. - Liao, H. Y. - Chen, H. L.: 2011. Tenebrio Small-Scale Ecological Farming Feasibility Study. *In Advanced Materials Research*. 356–360. 267–270.
214. Watanabe, T. - Kiron, V. - Satoh, S.: 1997. Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture*. 151. 1-4: 185-207.
215. Wendelaar, B. - Sjoerd, E.: 1997. The stress response in fish. *Physiological Reviews*. 77. 591–625.
216. Wu, S. - Lin, H. - Li, M. - Tang, X.: 2009. Determination of some important technique parameters in the course of breeding *Tenebrio molitor*. *Journal of Economic Animal*. 13. 1: 28-31.
217. Wynants, E. - Frooninckx, L. - Van Miert, S. - Geeraerd, A. - Claes, J. - Van Campenhout, L.: 2019: Risks related to the presence of Salmonella sp. during rearing of mealworms (*Tenebrio molitor*) for food or feed: Survival in the substrate and transmission to the larvae. *Food Control*. 100. 227-234.
218. Wysocki, L.E. - Dittami, J.P. - Ladich, F.: 2006. Ship noise and cortisol secretion in European freshwater fishes. *Biological Conservation*. 128. 4: 501–508.
219. Yamashita, M. - Takeshi, Y. - Nobuhiko, O.: 2010. Stress protein HSP70 in fish. *Aqua-BioScience Monographs*. 3. 111–141.
220. Yildiz, M.: 2008. Mineral composition in fillets of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and sea bream (*Sparus aurata*): a comparison of cultured and wild fish. *Journal of Applied Ichthyology*. 24. 5: 589-594.

Internetes források:

1. <https://www.researchandmarkets.com/reports/5571274/global-insect-protein-market-size-share-and#rela1-4231945>

Jogszabályok és rendeletek:

1. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32022R0169&sqid=1664438669118>

Internetes ábra források:

1. ábra: <https://hirek.unideb.hu/suger-az-egyetemtől>
5. ábra : Balogh Diána, izeltlabuak.hu
6. ábra: https://www.rd.com/wpcontent/uploads/2018/12/shutterstock_1029451078.jpg?resize=700,466

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR

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

Nyilvántartási szám: DEENK/255/2023.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Molnár Áron
Doktori Iskola: Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10070852

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

1. Molnár, Á., Dajka, B., Fehér, M.: Does the feeding frequency influence the growth performance of European perch juveniles (*Perca fluviatilis*) during intensive rearing?
Agrártud. Közl. 1, 123-128, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/10705>
2. Molnár, Á., Toviho, O. A., Fehér, M.: Investigation of the production parameters, nutrient and mineral composition of mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae grown on different substrates.
Agrártud. Közl. 1, 129-133, 2022. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/10418>
3. Molnár, Á., Kovács, L., Homoki, D., Minya, D., Fehér, M.: Examining the production parameters of European perch (*Perca fluviatilis*) juveniles under different lighting conditions.
Agrártud. Közl. 1, 149-153, 2021. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/8494>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

4. Molnár, Á., Homoki, D., Bársony, P., Kertész, A., Gálné Remenyik, J., Pesti-Asbóth, G., Fehér, M.: The Effects of Contrast between Dark- and Light-Coloured Tanks on the Growth Performance and Antioxidant Parameters of Juvenile European Perch (*Perca fluviatilis*).
Water. 14 (6), 1-10, 2022. EISSN: 2073-4441.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/w14060969>
IF: 3.53 (2021)

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

5. Molnár, Á., Homoki, D., Lelesz, J. É., Kovács, L., Bársony, P., Fehér, M.: A mesterséges takarmány kiváltásának lehetőségei élő lisztbogár lárva (*Tenebrio molitor*) etetésével a csapósügér (*Perca fluviatilis*) intenzív nevelése során.
In: XXVII. Ifjúsági Tudományos Fórum Keszthely : Konferenciakötet. Szerk.: Bene Szabolcs, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus, Keszthely, 27-33, 2021.
ISBN: 9786156338044





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

6. Molnár, Á., Homoki, D., Kertész, A., Bársony, P., Fehér, M.: Rovarlárvával történő takarmányozás lehetőségei a csapósügér (*Perca fluviatilis*) intenzív nevelése során.

In: Halászatfejlesztés 38. Szerk.: Fazekas Gyöngyvér, Gyalog Gergő, Nagyné, Biró Janka, Bozáné Dr. Békefi Emese, Dr. Halasi - Kovács Béla, Szarvas, 25-27, 2021, (ISSN 0230-8312) ISBN: 9789632699615

7. Molnár, Á., Homoki, D., Bársony, P., Stündl, L., Gálné Remenyik, J., Fehér, M.: A medenceszín hatása a csapósügér (*Perca fluviatilis*) termelési és élettani paramétereire.

Halászatfejlesztés. 37, 16-17, 2020. ISSN: 1219-4816.

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

8. Kertész, A., Bereczki, G., Dajka, B., Molnár, Á., Bársony, P., Fehér, M.: A különböző fény spektrumok hatása az intenzíven nevelt harcsa (*Silurus glanis*) termelési és élettani paramétereire.

Halászatfejlesztés. 39, 41-43, 2022. ISSN: 1219-4816.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

9. Kovács, L., Minya, D., Homoki, D., Toviho, O. A., Molnár, Á., Fehér, M., Stündl, L., Bársony, P.: Comparison of growth of mature all-female and mixed-sex Common carp (*Cyprinus carpio* L.) stocks in RAS.

Agrártud. Közl. 1 (1), 65-68, 2020. ISSN: 1587-1282.

DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/3748>

10. Homoki, D., Minya, D., Kovács, L., Molnár, Á., Balogh, K., Bársony, P., Fehér, M., Kövics, G., Stündl, L.: Comparison of the technological background of aquaponic systems.

Agrártud. Közl. 1, 47-52, 2020. ISSN: 1587-1282.

DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/4511>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

11. Herman, P., Fehér, M., Molnár, Á., Harangi, S., Sajtos, Z., Stündl, L., Fábán, I., Baranyai, E.: Iron and Manganese Retention of Juvenile Zebrafish (*Danio rerio*) Exposed to Contaminated Dietary Zooplankton (*Daphnia pulex*)-a Model Experiment.

Biol. Trace Elem. Res. 199 (2), 732-743, 2021. ISSN: 0163-4984.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-020-02190-z>

IF: 4.081





12. Sajtos, Z., Fehér, M., Molnár, Á., Stündl, L., Naszályi Nagy, L., Martins, J. C., Harangi, S., Magyar, I., Fehér, K., Baranyai, E.: The retention of Zr from potential therapeutic silica-zirconia core-shell nanoparticles in aquatic organisms.
Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 16, 1-10, 2021. ISSN: 2215-1532.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100572>

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (2)

13. Homoki, D., Kovács, L., Minya, D., Molnár, Á., Fehér, M., Kövics, G., Stündl, L.: Különböző bazsalikom (*Ocimum basilicum* L.) fajták akvapóniás vizsgálata.
In: A XLIV. Halászati Tudományos Tanácskozás kiadványa = Proceedings of the 44th Scientific Conference on Fisheries & Aquaculture. Szerk.: Nagyné Biró Judit, NAIK HAKI, Szarvas, 31-33, 2020, (Halászatfejlesztés, ISSN 1219-4816 ; 37) ISBN: 9789637120428
14. Kovács, L., Minya, D., Homoki, D., Molnár, Á., Fehér, M., Stündl, L., Bársony, P.: Monoszex ikrás pontyállományok (*Cyprinus carpio* L.) teljesítményvizsgálata.
In: XLIII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Halászati Kutatóintézet, Szarvas, 102-104, 2019, (ISSN 0230-8312)

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 7,611

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 3,53

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

Debrecen, 2023.06.15.



12. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2023.

.....

A jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Molnár Áron doktorjelölt 2019-2023 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2023.

.....

A témavezető aláírása

13. MELLÉKLETEK

Ábrák jegyzéke

1. **ábra:** Az akvakultúrában termelt és halászsákmányból származó sügér mennyisége világviszonylatban
2. **ábra:** A globális akvakultúrában termelt sügér mennyisége
3. **ábra:** A sügér (*Perca fluviatilis*)
4. **ábra:** A kannibalizmus jelensége a sügér intenzív nevelése során
5. **ábra:** A közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*)
6. **ábra:** A közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*) lárva
7. **ábra:** A fekete színű tófóliával lesötétített aljú medence
8. **ábra:** DE MÉK Halbiológiai Laboratórium
9. **ábra:** A halak válogatása a kísérlet előtt
10. **ábra:** A vérminták laboratóriumi mérése
11. **ábra:** A különböző megvilágítás és zavarosság hatását célzó kísérlet során alkalmazott kezelések
12. **ábra:** A kísérleti elrendezés a különböző megvilágítás és zavarosság hatását célzó vizsgálat során
13. **ábra:** A moduláris akvárium rendszer
14. **ábra:** A kimért élő lisztbogár lárva és takarmány adagok
15. **ábra:** A saját termelésből származó lárvák
16. **ábra:** A búzadara táptalaj kimérése a műanyag egységekbe
17. **ábra:** A nyomelem oldatok kijuttatása a búzadara táptalajra
18. **ábra:** 1g lisztbogár lárva kimérése
19. **ábra:** A kimért lisztbogár lárva adatok kezelésenként
20. **ábra:** A nyomelem oldatok kijuttatása
21. **ábra:** A dúsított lisztbogár lárva tenyészetek
22. **ábra:** A halak testsúly mérése
23. **ábra:** Filé mintavétel a kísérlet végén
24. **ábra:** A húsminták kezelésenként
25. **ábra:** A húsminták liofilizálása
26. **ábra:** A sügér ivadékok egyedsúlya a kísérlet végén különböző medenceszínek esetén

27. **ábra:** A sügér ivadékok specifikus növekedési üteme a kísérlet végén különböző medenceszínek esetén
28. **ábra:** A halak egyedsúlya a lisztbogár lárvá beilleszhetőségét vizsgáló kísérlet végén
29. **ábra:** A mangánnal dúsított lisztbogár lárvák mangán tartalma a 7. és 14. nap között
30. **ábra:** A kobalttal dúsított lisztbogár lárvák kobalt tartalma a 7. és 14. nap között
31. **ábra:** A CoMn kezelés kobalt és mangán koncentrációja
32. A halak boncolásból származó ikra
33. **ábra:** A halak megmaradása a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén
34. **ábra:** A kezelések egyedsúlya a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén
35. **ábra:** A halak takarmányértékesítése a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén (g/g)
36. **ábra:** A halak specifikus növekedési üteme a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvával történő etetési kísérlet végén
37. **ábra:** A kobalt akkumulációja a liofilizált haltestben a különböző kezeléseknél (ug/kg)
38. **ábra:** A kobalt akkumulációja a filében különböző kezeléseknél
39. **ábra:** A mangán akkumulációja a liofilizált haltestben a különböző kezeléseknél (ug/kg)
40. **ábra:** A mangán akkumulációja a filében különböző kezeléseknél

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

- 1. táblázat:** A lisztbogár lárva beilleszhetőségét vizsgáló kísérlet során alkalmazott takarmányozási protokoll
- 2. táblázat:** A lisztbogár lárva beilleszhetőségét vizsgáló kísérlet során a halak heti takarmányadagja kezelésenként
- 3. táblázat:** A sügér állomány termelési paraméterei különböző medenceszínek esetén
- 4. táblázat:** A sügér állomány antioxidáns paraméterei különböző medenceszínek esetén
- 5. táblázat:** A sügér ivadékok termelési paraméterei különböző megvilágítás és zavarosság esetén
- 6. táblázat:** A halak termelési paraméterei különböző etetési gyakoriság esetén
- 7. táblázat:** A halak termelési paraméterei a lisztbogár lárva beilleszhetőségét vizsgáló kísérlet végén
- 8. táblázat:** A lisztbogár lárvák növekedése és nyomelem felvétele a 7. és a 14. napokon
- 9. táblázat:** A halak termelési paraméterei a nyomelemekkel dúsított lisztbogár lárvaival történő etetés eredményeként
- 10. táblázat:** A halak húzában és egész testében mért kobalt és mangán koncentráció

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsőként hálás köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek és a DE MÉK Halbiológiai Laboratórium vezetőjének, **Dr. Fehér Milánnak** az elmúlt évek alatt kapott megszámlálhatatlan segítségért és szakmai útmutatásért, melyeket korábbi kutatásaim során és a Doktori Kutatás alatt kaptam.

Kiemelt köszönet illeti **Dr. Bársony Péter** adjunktust, akitől rengeteg szakmai segítséget kaptam az elmúlt évek során, melyek kulcsfontosságúak voltak a kutatásaim és publikálásaim során egyaránt.

Köszönettel tartozom a DE MÉK **Halbiológiai Laboratórium** minden dolgozójának az elmúlt 4 év során kapott rengeteg támogatásért és a kutatásomhoz szükséges infrastruktúra biztosításáért.

Köszönöm az **Állattenyésztési Tanszék** és az **Állattenyésztési Doktori Iskola** minden oktatójának a színvonalas képzést.

Köszönettel tartozom a **Debreceni Egyetem Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék** minden munkatársának a nyomelem mérések során nyújtott létfontosságú segítségükért, különösen **Harangi Sándor** külső előadónak.

Végül köszönöm a **családtagjaim, barátaim és barátnőm** támogatását, bátorító szavait, melyek nagyban hozzájárultak a dolgozatom elkészüléséhez.

A dolgozat elkészítését a **MAHOP-2.1.1-2016-2017-00002** és az **EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008** számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.