



ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA

2025.

Különböző hullámhosszúságú fény hatása afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) embriófejlődésére

Készítette: Kóródi Konrád Ede

EMAZE3

Állattenyésztő mérnöki, alapképzés

Nappali tagozat

Szent István Campus

Témavezetők: Prof. Dr. Müller Tamás, egyetemi tanár

MATE, AKI, Természetesvízi Halökológiai

Tanszék

Gödöllő 2024

Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzések	3
2. Irodalmi áttekintés	4
2.1. A halak fényérzékelése	4
2.2. Amit eddig tudunk a fényhatásról	5
2.2.1. A kortizol	6
2.2.2. A kortizol és a fény hatása	7
2.3. Az afrikai harcsa mint faj.....	9
2.4. Az afrikai harcsa gazdasági szerepe	10
2.5. Az afrikai harcsa hazai megítélése	12
3. Anyag és módszer	13
3.1. A kísérletek helyszíne és körülményeik.....	13
3.2. Felhasznált eszközök.....	13
3.1.1. Ikra- és lárwanevelő rendszer speciális fényforrással.....	13
3.3. Szaporítás módszere	16
3.4. Kísérleti beállítás, adatfelvétel.....	17
4. Eredmények	18
4.1. Első kísérleti ciklus	18
4.2. Második kísérleti ciklus.....	19
4.3. Harmadik kísérleti ciklus.....	20
4.4. Termékenyülési-, és kelési arányok vizsgálata a 3 kísérleti eredmény alapján	20
4.5. Különböző hullámhosszú fény hatása az embriók fejlődési sebességére, kelésére.....	22
5. Eredmények értékelése	24
6. Összefoglalás	28
7. Irodalomjegyzék.....	29
8. Köszönetnyilvánítás	34
9. Mellékletek	35

1. Bevezetés és célkitűzések

Az élelmiszertermelés növelésének szükségessége a 21. században egyre hangsúlyosabbá válik a globális népesség folyamatos növekedése következtében. Az Egyesült Nemzetek Szervezetének előrejelzése szerint a világ népessége 2050-re elérheti a 9,7 milliárd főt, amely hatalmas kihívások elé állítja majd mind az élelmiszeripart, mind a mezőgazdasági szektort. Az élelmiszerbiztonság fenntartása érdekében elengedhetetlen az alternatív fehérjeforrások keresése és kihasználása. Ezen belül kiemelt figyelmet kaphat az akvakultúra, különösen a halgazdálkodás, mivel az innen származó élelmiszerek nemcsak az imént említett fehérjeforrásként, hanem egyedülálló és rendkívül változatos omega-3 zsírsavak és biológiailag hozzáférhető mikrotápanyagok forrásaként is szolgálnak. Az akvakultúra fejlődésének egy ékes példája lehet az, hogy a teljes, ezen ágazatból származó termelés még 2000-ben éppen 43 millió tonna volt, addigra 2020-ban már bőven meghaladta a 85 millió tonnát is. Ezen említésben nem szerepelnek az algatermelés számadatai (FAO, 2022). Az élelmiszerrendszerek átalakítása érdekében elengedhetetlen, hogy a halászatból és akvakultúrából származó termékek prioritást élvezzenek, és jobban integrálódjanak a globális, regionális és nemzeti élelmiszerstratégiákba és politikákba (FAO, 2022).

Az akvakultúra számos régióban elsősorban a halak termelésére és tenyésztésére összpontosít. Az afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) az egyik legígéretesebb édesvízi faj, amely jelentős szerepet játszhat az élelmiszerigény kielégítésében. Kiváló növekedési rátája, magas fehérjetartalma és alacsony zsírtartalma miatt táplálkozási szempontból ideális választás. Magyarország az Európai Unióban vezető helyen áll az afrikai harcsa termelésében, amit részben a kedvező földrajzi és geológiai adottságainak, valamint a termálvizek intenzív haltermelésre történő felhasználásának köszönhet (Lukácsik et al., 2021).

Ahhoz, hogy hazánk továbbra is eredményes és az élbolyban maradjon, új technológiákra, eljárásokra és kutatásokra van szükség, amelyek előre lendíthetik a magyar akvakulturális ágazatot. Kísérletsorozatunk is ezt a célt szolgálja, hiszen az afrikai harcsa intenzív termelésében a fény is szerepet játszik, amelynek hatását szeretnénk volna vizsgálni embriógenézis során. Kísérleteim során az eredeti célkitűzések megvalósításához szükség volt speciális rendszerépítésre, illetve olyan kísérlet tervezésére, ami ehhez a technológiához alkalmazkodott. Ennek során eszembe jutott – természetesen a léptékek különbözőek voltak – Hannibál Barkasz híres mondása az Alpokon való átkelés előtt „Vagy találunk ott utat, vagy építünk egyet.”

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A halak fényérzékelése

A vízi környezetben élő szervezetek, köztük a halak különféle ingereknek vannak kitéve. Ezek az ingerek különböző formákban és módokon jelenhetnek meg, például mechanikai ingerek, amelyeket időjárási viszonyok, napszakok vagy évszakok változása idézhet elő, hőingerek a hőmérséklet ingadozásai révén, illetve táplálkozásakor jelentkező ízérzékelési ingerek. Azonban a jelen kontextusban kiemelkedő jelentőséggel bír a fényinger, amely természetes környezetben a vízbe jutó napfény, míg mesterséges körülmények között a megvilágítás hatására alakul ki.

A halak szeméről általánosságban nehéz beszélni, mert a fajok közti különbség megmutatkozik anatómiában is, illetve biokémiai specializációkban is. Az ingoláktól (Petromyzontida) fejlettebb csontos (Osteichthyes) halakra azonban elmondható, hogy rendelkeznek nagy, oldalállású hólyagszemmel. A szemek a fej két oldalán helyezkednek el, így nem igazán láthatnak egybefüggő képet, ugyanis a látóterek nem érintkeznek minden esetben. Kivételek azonban itt is előfordulhatnak, nem minden halfajra igazak az előbbi kijelentések (Urbányi et al., 2015).

A halak szeme egymástól függetlenül, külön-külön is mozgatható, és az alakja egy lapított gömbhöz hasonlítható. A szemet az úgynevezett érhártya látja el, amely hajszálerek hálózatából épül fel. Az érhártya felett találhatóak a szemmozgató izmok, amelyek a szem felszínét burkoló porcokkal erősített ínhártyához tapadnak. A szem részei még a szaruhártya, a szivárványhártya, más néven az írisz. A pupillában, ami tulajdonképpen az írisz nyílása, megtalálhatjuk a gömbölyű szemlencsét, amelyet egy izmos sarlónyúlvány tart helyben és mozgat. A szem keresztül a retinához vezető úton a fénynek az üvegtest nevezetű, kocsonyás állományon kell áthaladnia, hogy aztán a retinában található pálcikák – fényérzékelő receptorsejtek, illetve a csapok – színérzékelő receptorsejtek generálnak ingerületet, amit szemből kilépő látóideg szállít az agyba (Dröscher, 1990).

A szárazföldi gerinceseknél az imént említett szemlencsében funkcionális különbség jelentkezik a halaknál, ugyanis az előbbieket képesek a szemlencse domborúságának változtatására, míg utóbbiak nem. Ezt a hiányt valamilyen szinten azzal tudják kompenzálni, hogy a sarló alakú nyúlvány a szemlencse, ideghártyához viszonyított távolságát tudja igazítani,

ezzel előidézve a nagyobb látótávolságot, azonban természetesen ennek is megvan a maga határa (Dröscher, 1990).

A látás élessége összefüggésben van a hal életmódjával és a környezetével (Urbányi et al., 2015), a szürkületi és nappali ragadozó halak (csuka, süllő) látása lényegesen jobb (látástávolság és érzékenység), mint a kimondottan éjjeli ragadozó halaké (harcsa).

2.2. Amit eddig tudunk a fényhatásról

Magáról a tényről, hogy a fénynek kifejezett hatása van az élőlények fejlődésében, akár saját magunk is megbizonyosodhatunk. Ezt egy roppantul leegyszerűsített példával szeretném szemléltetni. Gondoljunk csak a saját kertünkben termő paradicsomokra. Vajon, ők mire mennének fény nélkül? Hoznék egy saját megfigyelésem alakuló példát is, hogy magának a megvilágításnak is szerepe lehet a halak napi aktivitását figyelembe véve is. Évek óta akvarizálok, és reggelente mikor az akváriumom felett elhelyezkedő lámpa az automata időzítő segítségével felkapcsol, ez egy hirtelen ingerként éri a halaimat, és bár minden egyes nap megtörténik ez velük, mégis úgy veszem észre a viselkedésükön, hogy megijednek ettől a gyors változástól, ami lejátszódik a környezetükben. Már kaphatóak különböző úgynevezett dimmelhető akváriumi lámpák is, amelyek alternatívát jelenthetnek ezen „probléma” megoldására, azonban ez a technológia egy átlagos akvarista számára még valószínűleg anyagi szempontokból sem rentábilis, illetve nem is túl gyakoriak még ezek otthoni körülmények között. Még egy szempont, amelyet a horgász tapasztalataim alapján észrevettem és feltételezek, hogy az őshonos ragadozóink gyakorta fényváltásban ragadoznak. Ezalatt a napfelkelte, naplemente időszakát értem, de Cerri (1983) is beszámolt arról, hogy kísérletei alapján a ragadozó halak - az ő esetében *Semotilus atromaculatus* - aktivitása jóval magasabb volt alacsony fényintenzitás mellett, míg erős fény hatására mérsékelt volt. Szerinte a prédahalakban a menekülési hajlamot sokkal inkább az befolyásolja, hogy a ragadozó milyen aktivitási formát képvisel, és csak mellékes szerep jut annak, hogy időben észlelik-e a tényleges ragadozót.

Appelbaum és Mcgeer (1998) afrikai harcsa (*C. gariepinus*) lárvákkal végzett kísérlete alapján, amelyben a takarmányozási szerepet összevonták a megvilágítással, egyértelmű eredmények jöttek ki. Azonos környezeti feltételek és takarmányozási szempont mellett minden egyes kísérletcsoportjuk halain fokozott növekedési erélyt tapasztaltak, ha azok folyamatos sötétben voltak, ellentétben a megvilágítást kapó csoportokkal szemben. Náluk a sötét

tartályokban lévő halak testtömege volt egyedenként a legnagyobb, azonban azt is fontos megemlíteni, hogy a mortalitási ráta is itt volt a legnagyobb, egészen pontosan kétszerese a többi tartályban mért értékeknek. Sallehudin et al., (2014) afrikai harcsa növényekkel végzett kísérletsorozatai alapján arra a következtetésre jutott, hogy a fényintenzitás a magatartásbeli tulajdonságokra is hatással van. A magas fényintenzitás mellett bekövetkező aktivitás növekedés egyre nagyobb mértékű agresszivitási hajlamot váltott ki a halakban.

2.2.1. A kortizol

A kortizol egy fontos stresszhormon, amely mind az emberekben, mind az állatokban, így a halakban is jelentős szerepet játszik a szervezet válaszreakcióiban a különböző környezeti ingerekre. A halak stresszreakcióinak tanulmányozása különösen fontos az akvakultúrában, mivel a stresszhormon szintje jelentős hatást gyakorolhat a halak növekedésére, egészségére és viselkedésére. A stressz számos környezeti tényező következménye lehet, beleértve a fizikai ingereket, a szociális interakciókat és a környezeti változásokat, mint például a fényviszonyok változása. Ez a környezeti stressz jelentős hatással van az anyagcsere-folyamatokra, és különböző módokon befolyásolja a szervezet működését: az egészségi állapot romolhat, a növekedés lelassulhat, a kopoltyúk és az idegrendszer károsodhat, valamint a hipotalamusz-hipofízis-gonád tengely működésében is gátlás léphet fel (Hegyi et al., 2008).

A kortizol egy szteroid hormon, amely az agyalapi mirigy által kiválasztott adrenokortikotrop hormon (ACTH) hatására termelődik a halak mellékvese-szövetéhez hasonló struktúrában, a mellékvese interrenális sejtjeiben (Wendelaar Bonga, 1997). A kortizol a halakban, mint az elsődleges stresszhormon, központi szerepet játszik a stresszre adott válaszreakciókban. Az állatok stresszválasza általában két fázisból áll: a rövid távú, gyors válasz (akut stressz) és a hosszú távú, fenntartott stresszreakció (krónikus stressz).

Az akut stresszhelyzetekre adott válaszban a kortizol felszabadulása gyorsan megemelkedik. Ez a hormon lehetővé teszi a halak számára, hogy a vészhelyzetekben gyorsan mobilizálják az energiatartalékaikat, például a glükózt, amely az izmok és az agy számára azonnali energiaforrást biztosít (Mommsen et al., 1999). Ezzel egyidejűleg a kortizol a szövetek glükózfelvételének gátlásával segíti elő az energia hatékony felhasználását.

Krónikus stressz esetén a kortizol szintje tartósan magas maradhat, ami negatív hatással lehet a halak egészségére. A hosszan fennálló magas kortizolszint például elnyomja az immunrendszert, lassítja a növekedést, és rontja a szaporodási képességeket (Barton & Iwama,

1991). Ezért az akvakultúrában különös figyelmet kell fordítani a halak stresszmentes környezetének biztosítására, mivel a stressz hosszú távon károsíthatja a termelési eredményeket is.

A kortizol szintje megbízhatóan mérhető a halak különböző szöveteiben és testnedveiben, mint például a vérplazmában, a kopoltyúnyálkahártyában, vagy akár a halak nyálkájában is. A kortizolszint elemzése fontos eszköz lehet a halak egészségi állapotának és stresszreakcióinak monitorozásában. A vérplazma kortizolszintjének mérését gyakran használják a halak stresszállapotának meghatározására különböző kísérleti körülmények között, így történt ez Atanas et al. (2023) kísérleteikben is, hiszen ők így mutatták ki a kortizolszintet. Például Pickering és Pottinger (1989) tanulmányában megvizsgálták a kortizol felszabadulásának mértékét a halakban különböző stresszhelyzetek, mint például a fogási és szállítási stressz hatására. A tanulmány kimutatta, hogy a halakban jelentős kortizolszint-emelkedés tapasztalható ilyen körülmények között.

2.2.2. A kortizol és a fény hatása

A fényviszonyok jelentős hatással lehetnek a halak kortizol-termelésére. Több tanulmány is kimutatta, hogy a világítás és a nappali-éjszakai ciklusok befolyásolják a halak cirkadián ritmusát, ami közvetlen hatással van a hormonális szabályozásra, beleértve a kortizol felszabadulását is. Egy bolgár kutatócsoport különböző luxokon mért értékek mellett megállapította, hogy a 63 luxon tartott afrikai harcsák emelkedett kortizolszintet mutattak a többi kísérleti csoporthoz viszonyítva (51, 40 lux), ezzel bizonyítva azt is, hogy a fénynek valóban mérhető hatása van a halak kortizolszintjére (Atanas et al., 2023).

Horváth et al. (2018) cikkükben is beszámoltak a kortizol és fény az angolna fajban kifejtett hatásáról, ami szerint: az angolnafajok (*Anguillidae*) egy része képes édesvízben élni, noha őseik kizárólag tengeri halak voltak. Az evolúció során ezek az angolnák fotofób (fénykerülő) viselkedést fejlesztettek ki. Fejlett látószerveik nemcsak a látásban és a fény érzékelésében fontosak, hanem a szaporodási folyamatok szabályozásában is szerepet játszanak. Ezek a fajok trópusi óceáni környezetben szaporodnak, és több évnyi lárvaszakaszt követően, az első metamorfózis után válnak képessé az édesvízi ozmoregulációra. Az ezüstangolnák a táplálékban gazdag és ragadozóiban szegény kontinentális vizekben jelentős zsírtartalékokat halmoznak fel, majd megkezdik visszaútjukat a trópusi óceánok ívóhelyeire. Az édesvízi szaporodás késleltetésében kulcsszerepe van egy dopamin nevű

neurotranszmitternek, amely fény hatására aktiválódik, és gátolja a gametogenezist serkentő hormonok (hipofízis hormonok) termelődését, így az angolnák édesvízben prepubertás állapotban maradnak.

A gametogenezis újbóli beindulása az ívóhelyek felé történő hosszú, több mint hat hónapig tartó vándorlás alatt következik be, amikor az angolnák fényszegény, hideg óceáni környezetben úsznak. A vándorlás során kortizol termelődik a mellékveséjükben, amelyből szaporodási folyamatokban jelentős szerepet játszó hormonok is keletkezhetnek. Az angolnák szeme különösen érzékeny a nagy energiájú, rövid hullámhosszú kék fényre, amely képes behatolni az óceán mélyrétegeibe, ahol az angolnák vándorolnak. A kék fény áthalad a szemükön, és serkenti a kortizol termelést. Látószervük annyira érzékeny, hogy képes érzékelni még a Hold fényszegény fázisváltozásait is. Mivel az angolnák fénykerülő állatok, természetes körülmények között mindig újhold idején, a legkisebb fényben ívnak.

Sumpter és Donaldson (1986) tanulmányában kimutatta, hogy a nappali-éjszakai ciklusok és a fényintenzitás jelentős szerepet játszanak a halak kortizolszintjének szabályozásában. Az éjszakai világítás hatására például megfigyelhető volt a kortizolszint emelkedése, amely arra utal, hogy a halak stresszesnek érzékelik a nem természetes világítási körülményeket.

Egy másik, Pavlidis et al. (1999) által végzett kutatás rámutatott, hogy a folyamatos világítás növelte a kortizolszintet a tengeri sügérben (*Dicentrarchus labrax*), ami azt sugallja, hogy a természetellenes fényciklusok megzavarhatják a halak hormonális egyensúlyát, és hozzájárulhatnak a krónikus stressz kialakulásához. A természetes nappali-éjszakai ciklusok fenntartása ezért különösen fontos lehet az akvakultúrában a halak jóléte érdekében.

Sinnott et al. (2019) kísérletük során a különböző világítási feltételek hatását vizsgálták a lazacok (*Salmo salar*) kortizolszintjére. A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a halak, amelyek hosszabb ideig voltak kitéve magas intenzitású fénynek, magasabb kortizolszintet mutattak, mint azok, amelyek természetes világítási körülmények között tartózkodtak. Ez a felfedezés alátámasztja azt az elképzelést, hogy a fényviszonyok stresszt okozhatnak a halak számára, ami a kortizolszint emelkedéséhez vezet.

A tartósan magas kortizolszint, amely gyakran összefüggésbe hozható krónikus stresszállapotokkal, számos káros hatást gyakorolhat a halakra. Ezek közé tartozik az immunrendszer elnyomása, amely növeli a fertőzések iránti fogékonyságot (Wendelaar Bonga, 1997), valamint a csökkent növekedési ütem, ami különösen fontos gazdasági szempont az akvakultúrában.

Emellett a kortizol hosszú távon befolyásolhatja a halak szaporodási képességeit is. Krónikus stressz alatt a kortizol gátolhatja a gonadotropin hormonok termelését, amelyek kulcsfontosságúak a reprodukciós folyamatokban (Schreck et al., 2001).

2.3. Az afrikai harcsa mint faj

Az afrikai harcsa (*C. gariepinus* Burchell, 1822) (1. ábra), mint ahogyan a neve is árulkodóan beszél róla, az afrikai kontinensen őshonos halfaj. Elterjedési területei közé tartozik Törökország déli része, Libanon, Szíria, Izrael is (Csorbai et al., 2015). Az afrikai harcsa a zacskóharcsafélék (Clariidae) családjához tartozik, amely több mint 100 fajt foglal magába (Péteri et al., 1989).

Testfelépítése hosszú és hengeresnek mondható, valamint jelentős hosszúságú hátúszóval és fark alatti úszóval rendelkezik, amelyek lágy úszósugarakat tartalmaznak. A mellúszó módosulataként a külső úszósugár tüskévé változott. Nagy méretű, erősen csontos fejjel rendelkezik, amely a hústermelés szempontjából nem túl kedvező, hiszen így a vágási veszteség is jelentősebb mértéket ölt. Az állat összesen 4 pár, azaz 8 darab bajuszszállal rendelkezik, amelyek elsősorban a táplálék felkutatására szolgálnak (Csorbai et al., 2015).

Az afrikai harcsa bőre nyálkás és pikkelymentes, szürkésen márványozott a test felső és oldalsó részein, míg a hasi részen piszkos fehér. Erősebb fény hatására a színezet világosabbá válik, míg stressz hatására sötét foltok jelennek meg a bőrén (Viveen et al., 1985; Harka és Sallai, 2004).

Az afrikai harcsa egy speciális járulékos légzőszervvel is rendelkezik, amelyet karfiolszervnek hívnak. Ez a kiegészítő légzőszerv a hal 15-20 napos korában, és a testhossz szempontjából 2,5-3,0 cm-es állapotában fejlődik ki (Csorbai et al., 2015). Az egyik kopolyúíve járulékos légzőszervvé alakul, amely egy pár körte alakú, szerteágazó struktúrát tartalmazó légkamrából áll. Ezeket a faágszerűen elágazó képződményeket gazdagon átszövik a vérerek, így az érfalakon keresztül a hal a légköri levegőből is képes felvenni az oxigént (Moussa, 1956; Péteri et al., 1989). A harcsa ennek a szervének köszönhetően képes túlélni szélsőséges, akár oxigénhiányos víz környezetében is, illetve a szárazföldön, víz nélkül is néhány órát elvisel.

Az ivari dimorfizmusnak köszönhetően a 2 ivar egyedei megkülönböztethetőek, ez az úgynevezett papillának köszönhető, amely a hím ivarú egyedek végbélnyílása mögött található. A papilla a nőivarú egyedeknél nem található meg.

A halfaj ökológiai igényeiről szólva ideális víz hőmérsékletnek mondható számára a magasabb, akár a 25-30 °C, viszont ettől tágabb határokon belül mozog a tűrőképessége, ugyanis mesterséges rendszerekben egészen a 16 °C-tól a 39 °C-ig életképes az állat. (Hogendoorn et al., 1983) Fontos azonban azt kiemelni, hogy a faj 20 °C alatt fogékonyabb a bakteriális eredetű fertőzésekre. A hőmérséklet optimumtól eltérő, alacsonyabb hőmérséklet eredeztetheti a különböző állományok szétnövésének szélsőségesebb mivoltát, ezzel előidézve az esetleges kannibalizmus kockázatának növelését (Britz és Hecht, 1987).

Az afrikai harcsa táplálkozási sajátosságára jellemző az igen mohó táplálékszerzés. Az étkezési paletta igen széles, hiszen ezen mindenevő fajú harcsa előszeretettel fogyaszt zooplankton, vízi és szárazföldi rovarokat, gerincteleneket, kisebb halakat, de nem veti meg a növényi eredetű táplálékot sem, és mértéket ölt a kannibalizmus jelensége is náluk. Ezeket a táplálékokat a víztér egészében keresik (Péteri et al., 1989).



1. ábra: Az afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) (Fotó: Dr. Ferincz Árpád)

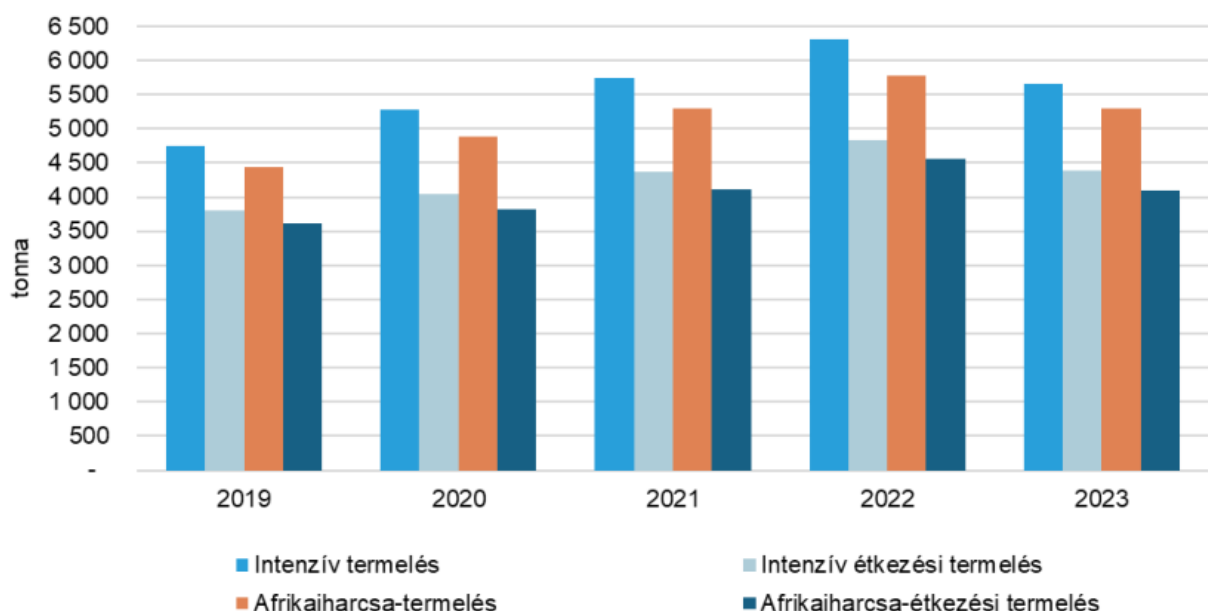
2.4. Az afrikai harcsa gazdasági szerepe

A halfaj termelése kimondottan növekedésnek örvend, amelyet a statisztikai adatok alapján világszinten is megállapíthatunk, hiszen a 2022-es FAO adatok alapján a *Clarias* nembe (*Clarias* spp.) tartozó fajok, - amelybe az afrikai harcsa is tartozik - az édesvízi haltermelését figyelembe véve a 10. helyen álltak az össztermelés tekintetében 1,249 millió tonnával.

Az afrikai harcsa termelésének növekvése elsősorban kifejezetten a halfaj kiváló alkalmazkodóképességének és kedvező tulajdonságainak köszönhető. Az afrikai harcsa képes a légköri oxigén felvételére, ami azt jelenti, hogy szegényes oxigéntartalmú vizekben is megél, ez különösen előnyös az intenzív akvakultúra rendszerekben. Ezenkívül a harcsa magas ammóniatűrő képességgel rendelkezik, így jól tűri a vízminőség-ingadozásokat, amelyek

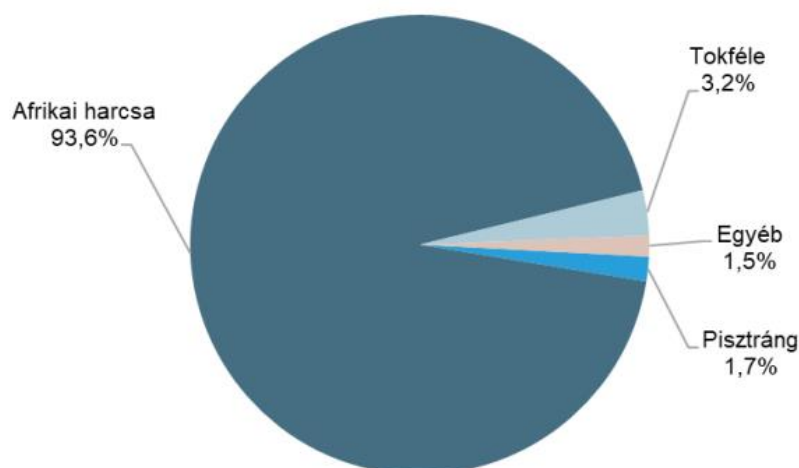
gyakoriak lehetnek nagy sűrűségű telepítés esetén. A nagy telepítési sűrűséget is jól viseli, ami lehetővé teszi a termelők számára, hogy kisebb területen több halat neveljenek. Továbbá, az afrikai harcsa gyors növekedési üteme és kiváló takarmányhasznosítási képessége gazdaságilag is kedvező, mivel alacsonyabb takarmányköltséget eredményez. Az imént említett adottságok alapján is elmondható, hogy ezek a tulajdonságok tenyésztői szempontból jók és ráadásul exogén hormonkezeléssel előidézhethetünk szaporodást a fajban, így az afrikai harcsa tenyésztése egész évben folytatható, mivel nincsen összefüggésben az évszakok változásával. Az afrikai harcsa hideggel szembeni ellenálló képessége nem alakult ki, nem tud hozzá adaptálódni, sőt 15°C alatt összeomlik az immunrendszere és a gombás, illetve bakteriális eredetű fertőzésekre is elhullik (Kiss, 2024) (Urbányi és Woynárovich).

Hazánkban a halfaj termelése az intenzív üzemi körülmények közé korlátozódik, hiszen a klimatikus viszonyok miatt a teleket nem vészelik át, így elsősorban recirkulációs, vagy pedig átfolyóvizes rendszerű medencékben valósul meg a termelés. Korábban már szó esett róla, hogy az afrikai harcsa az Európai Unión belül is az első helyen áll az afrikai harcsa termelését illetően, ez pedig köszönhető annak is, hogy 2023-ban a hazai intenzív termelés csaknem 94%-át csupán az afrikai harcsa tette ki, a fennmaradót pedig egyéb halfajok, mint a pisztráng, a tok, és precíziós körülmények közt termelt szürkeharcsa vagy süllő adta ki (Kiss, 2024, 2. -3. ábra).



Forrás: AKI ASIR

2. ábra: Afrikai harcsa termelésének megoszlása az intenzív termelésen belül
(Forrás: Kiss, 2024)



Megjegyzés: Az egyéb kategória tartalmazza az intenzíven termelt szürkeharcsa, süllő és egyéb halak adatait.
 Forrás: AKI ASIR

3. ábra: Magyarország intenzív rendszereiben történő haltermelésének fajonkénti megoszlása (Forrás: Kiss, 2024)

2.5. Az afrikai harcsa hazai megítélése

Ez a faj Magyarországra az 1980-as évek közepén került be, és azóta a tenyésztése gőzerővel hajt. Leginkább geotermikus hulladékvizek, de akár hőforrások és fürdők meleg vizeinek másodlagos hasznosítására használják (Horváth és Magyary, 2007). A nyári meleg hónapokban kisebb halastavakban és teletetőkben is sikeresen nevelhető, de az őszi lehűlések előtt le kell halászni, ugyanis a már korábban említett melegvíz igénye ilyen körülmények közepette nem megvalósítható, és ha a lehalászás elmaradna, akkor az elpusztult egyedek tömkelegével néznének szembe a tenyésztők.

A könnyű tenyészthetősége miatt az ára viszonylag alacsony, előfordul, hogy a ponty árával vetekszik. Az intenzív és folyamatos termelést végző gazdaságok különböző méretű afrikai harcsaállományok konyhakész feldolgozására specializálódtak, ezért a nagy üzlethálózatok hűtőpultjain rendszeresen megtalálható, és bővíti a halkínálatot. Az alacsony ára és szálkamentes, ízletes húsa miatt egyre népszerűbb a lakosság körében, - és ezt saját tapasztalatból is mondhatom, hiszen a családi körömben is érzékelem-, hogy néha előnyben részesítik a már feldolgozott, filézett afrikai harcsa húsát elkészíteni, mint mondjuk egy pontyét.

3. Anyag és módszer

3.1. A kísérletek helyszíne és körülményeik

Az elvégzett kísérleteink helyszínül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campusán elhelyezkedő Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet hallaboratóriuma állt rendelkezésünkre. A munkát magát a kísérletek elméleti megtervezésével kezdtük, aztán következett a gyakorlatba történő áthelyezés, melynek első lépése a szükséges használati eszközök, berendezések beszerzése volt.

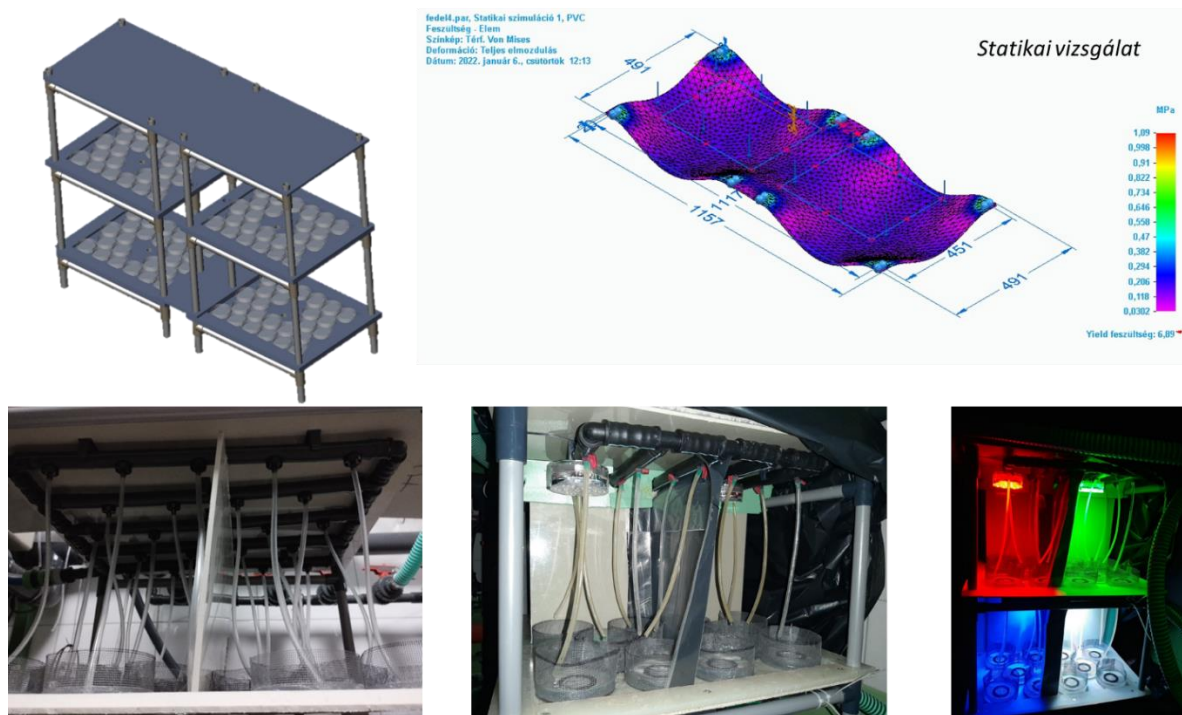
3.2. Felhasznált eszközök

3.1.1. Ikra- és lárwanevelő rendszer speciális fényforrással

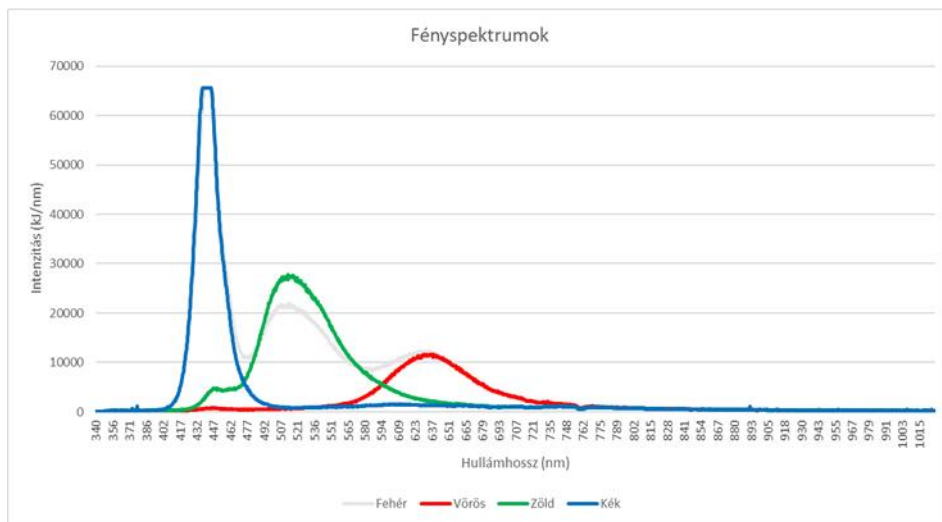
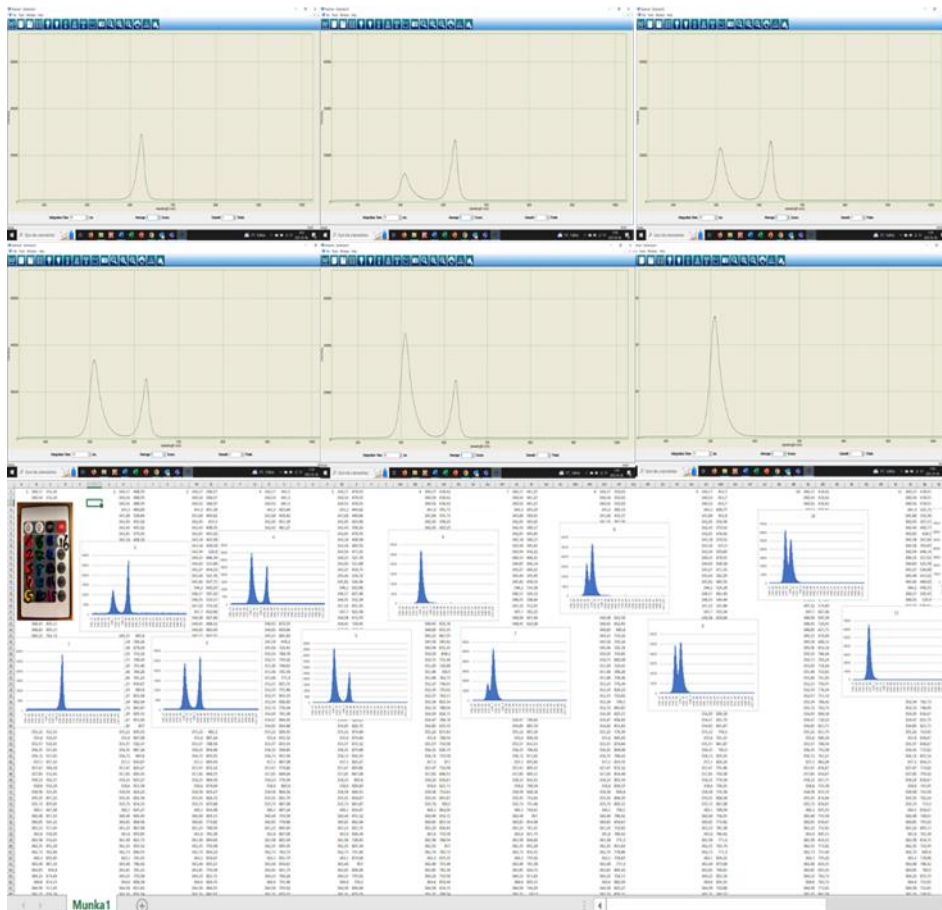
A kísérleteinkhez egy egyedi tervezésű a kutatócsoportunk által tervezett speciális ikrainkubáló és lárwanevelő egységet alkalmaztunk. A rendszer tervezése során elsődleges szempont volt a megbízhatóság, a könnyű karbantarthatóság és a pontos és állítható átfolyó víz biztosítása. A csepegtetőrendszer váza PVC nyomócsövekből és különböző idomokból készült, amelyek biztosították a szerkezet stabilitását és könnyű összeállíthatóságát. A váz szerkezetét PVC lemez tálcák egészítették ki, amelyek ragasztott kivitelben készültek. A csepegtető rendszer vízellátását KPE (kemény polietilén) csövek és hozzájuk illesztett idomok biztosították. A rendszer négy külön táplálható vízhatlan tálcából állt, amelyek mindegyikébe 22 darab – 9 cm átmérőjű - Petri csésze volt elhelyezhető. Ugyanebbe a rendszerbe 15 cm átmérőjű petricsésze alkalmazása esetén 6 db elhelyezése volt kivitelezhető. Ez a kialakítás lehetőséget nyújtott a precíz és egyenletes vízellátásra, mivel minden tálca külön vezérelhető. A vízszállítást microdrip csepegtetőfejek végezték, amelyek névleges teljesítmény szerint 1 liter/órával dolgoztak. A megfelelően kialakított vízelvezető csatornák biztosították a felesleges víz gyors és hatékony elvezetését, ami megakadályozta a pangó víz kialakulásának kockázatát. Ez különösen fontos a csepegtető rendszerek esetében, ahol a víz pontos adagolása alapvető szükséglet a pontos eredmények érdekében. A csepegtetőrendszer kompakt mérete

(1157×518×471 mm) lehetővé tette a könnyű integrációt szűkebb helyeken is, például, mint a mi laboratóriumunkban. Vízartályok nélkül a felépítmény súlya cca. 20 kg volt, amely elősegítette a könnyű szállítást és az egyszerű telepítést. A bemutatott csepegtetőrendszer tehát egy jól megtervezett, könnyen kezelhető és rendkívül hatékony megoldást jelentett a mi szempontunkból a kísérleteink kielégítésére. (4. ábra)

A csepegtetőrendszerrel párhuzamosan dönteni kellett a fényforrással kapcsolatosan is, és végül kiválasztásra került a kísérletekhez használt LED forrás, amelyek Glowsubs vízálló LED-es lámpák. (<https://smania.store/hu/termek/glowsubs-vizallo-led-es-lampak/>) Mindezek után lezajlott ezek műszaki tesztelése is. A műszaki méréseket a MATE Műszaki Intézetében Pap Tibor István a MATE Állattenyésztési Tudományok Intézetének, Állattenyésztés-technológiai és Állatjóléti Tanszékének Tudományos segédmunkatársa segítségével került sor, a kapott adatokat Excelben rögzítették és küldték meg kutatócsoportunknak. (5. ábra) A mért tulajdonságok a következők voltak: teljes fényerő spektrum mérés, fényerő középállásban, LUX fényerő – 1 méteres távolságban - mérés több állásban (maximum, közepes és leggyengébb fényerőre állítva). 4 színnel elvégzett tesztelés során (fehér, vörös, zöld, kék) több, mint 65 ezer adat keletkezett, a hozzá tartozó diagramokkal (pl. intenzitás (kj/nm) és hullámhossz, stb.). Az adatok méréséhez egy Ocean Optics USB2000+VIS-NIR-ES típusú spektrofotométert használtak. (5. ábra)



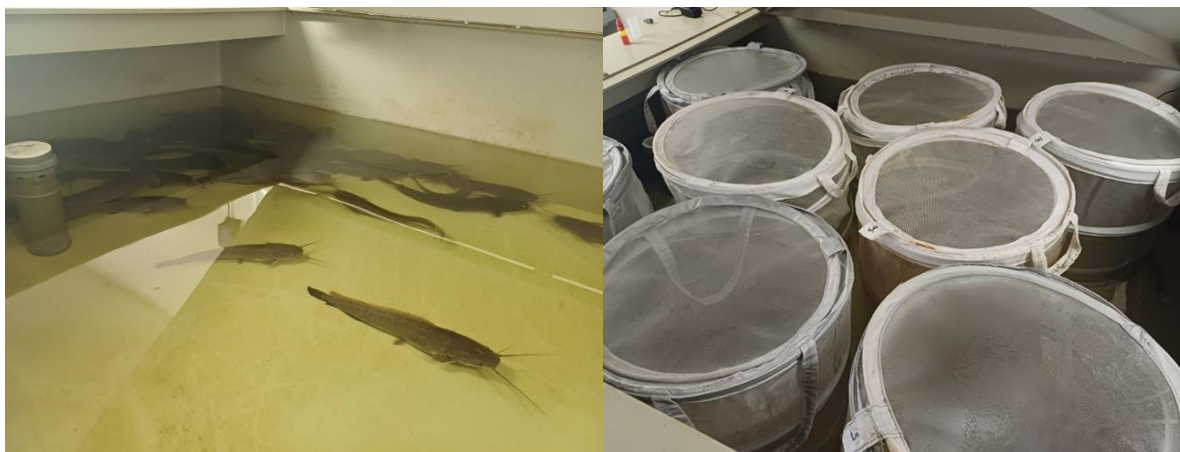
4. ábra. Ikra és lárwanevelő rendszer tervezése (fent), valamint kivitelezése és működtetése (lent), működő világítás mellett három különböző kísérleti ciklusban, tesztelés közben.



5. ábra. Részlet a LED fényforrás tesztelési munkákról és jegyzőkönyvből (fent), valamint a kísérleti beállításokban használt fényspektrumok intenzitás és hullámhossztartományai (lent), fehér ($\lambda_1 = 441 \text{ nm}$, $\text{int.} = 65\,535 \text{ kJ/nm}$, $\lambda_2 = 513 \text{ nm}$, $\text{int.} = 22\,002,12 \text{ kJ/nm}$, $\lambda_3 = 635 \text{ nm}$, $\text{int.} = 12\,287,81 \text{ kJ/nm}$); vörös ($\lambda = 635 \text{ nm}$, $\text{int.} = 11\,647,59 \text{ kJ/nm}$); zöld ($\lambda = 513 \text{ nm}$, $\text{int.} = 27\,738,95 \text{ kJ/nm}$); kék ($\lambda = 441 \text{ nm}$, $\text{int.} = 66\,535 \text{ kJ/nm}$)

3.3. Szaporítás módszere

A kísérletsorozatokba vont afrikai harcsa (*C. garepinus*) ikrás anyahalak saját szaporításából származtak, amelyeket szintén a munkacsoportunk által fenntartott kísérleti recirkulációs rendszerekben (n=3, 200×45×145 cm, hasznos térfogat kb. 1300 l) tartottunk, valamint készítettünk fel a szaporítási munkákra. (6.ábra) A halakat a nevelési időszakban $26\pm 0,5$ °C-on tartottuk, napi 1,5 % / testtömegkilogramm (ttkg) takarmányadag (Aqua Garant Vital Swim 6,0 mm) mellett. A legfontosabb vízminőség paramétereket - $\text{NH}_4\text{-N}$ 0,1-0,4 mg/l, NO_2 0,02-0,3 mg/l, és NO_3 9,3-30 mg/l koncentrációs tartományokban – a halak számára megfelelő értékeken tartottuk.



6. ábra. Szaporító anyahalállomány tartása (balra) és ívató ketrecek (jobbra)

(fotó: Horváth József István)

A tejeseket (n=2 kísérleti ciklusonként, testtömeg min-max: 180-330g) a kísérleti ciklusban benzokain (ethyl 4-126 aminobenzoate, Norcaine) oldatban túllaltattuk (100 mg L⁻¹), majd a fej mögötti gerinc átvágásával leöltük őket. A páros heréket kioperáltuk a felnyitott hasüregből a heréket nedvszívó papírra fektettük. Ezt követően a heréket ollóval felvagtuk és gyenge nyomással a spermát kinyertük petricsészékbe egyedileg. Az sejtek mozgóképességét mikroszkóp (200× nagyítás) segítségével becsültük. Hozzávetőlegesen 10µl spermát tárgylemezre helyeztünk, majd 50µl vízzel aktiváltuk, és fedőlappal lefedtük. Amennyiben a mozgóképes sejtek aránya meghaladta a becsült 80%-ot, a sperma adagokat pooloztuk, (kevert mixet hoztunk létre) végül a felhasználásig eppendorf csövekben tároltuk.

Hasonlóan a tejesekhez az ikrásokat először bódítottuk, majd megmértük és feljegyeztük a testtömegüket (1. kísérlet: 196 g, 2. kísérlet 279g, 3. kísérlet 176g). Minden kezelt ikrás esetben a vivőanyag (sperma vagy 0,9% NaCl fiziológias sóoldat) 2 ml volt, melyben 1

Ovopelt oldottunk fel (20 µg emlős GnRH-a-t (D-Ala6, Pro9NET-mGnRH és 10 mg metaklopramid (dopamin antagonistá vegyület), Interfish Kft). Ezt az adagot (1 Ovopel / 2 ml vivő anyag / testtömeg kg) alkalmaztuk mindhárom kísérleti ciklusban függetlenül minden kísérleti halban. Az izom közé és hasüregi kezelésekhöz 2 ml-es fecskendőket és 21 G szárnyas tűt használtunk. Az Ovopel golyókat dörzsmozsár és dörzscsésze segítségével homogenizáltuk és készítettük fel oldatkészítésre. Az intramusculáris kezelés: a bódított ikrást hasra fektettük és a hátúszó vonalában, ~ 2 cm-rel a hátúszótól a fej irányába irányítottuk az injekciós tűt, és testtömeg arányosan a számított adagot injektáltuk be. Az afrikai harcsa pikkelytelen bőre lényegesen erősebb, az izomszövet eléggé tömött volt ahhoz, hogy ne kelljen a tű bemeneti helyét leszorítani az esetleges hormon visszafolyás megakadályozásához. A beérési idő alatt (11 óra) az ikrásokat egyedi hálóketreben tartottuk. Ovulációkor a halakat egyesével altattuk, majd az ikrát kifejtük a fejőtálakba. Azonos mennyiségű ikradagokat (1.-3. kísérlet: 0,1 ml térfogat, 65,5±13,14 ikraszem/petricsésze 4.-6- kísérlet: 0,2 ml térfogat, 124,71±15,11 ikraszem/petricsésze) adagoltunk ki petricsészébe (átmérő×magasság: 90×14,2 mm). Az in vitro termékenyítésnél egy csepp sperma/ikradag (körülbelül 5 mm³) vegyítve vízaktivációval termékenyítettünk.

3.4. Kísérleti beállítás, adatfelvétel

Az ikrainkubáló és lárwanevelő rendszert maximális kapacitáson üzemeltettük 200 ml/óra/csepegtető egység átfolyási sebesség mellett. A különböző megvilágítási hullámhossz tartományokat beállítottuk, és a következő, napi 24 órás kezeléseket alkalmaztuk: vörös, kék, zöld, fehér és sötét (megvilágítás nélkül). Minden kezelést 5 ismétlésben végeztünk. A LED lámpák elemeit 8 óránként cseréltük, a kísérletek 40 óráig tartottak a termékenyítési időpontot követően. Négy időszakban (29., 32., 36., 40. óra a termékenyítéstől) minden petricsészeről fényképek készültek, és image J programcsomag segítségével leszámoltuk a termékeny (élő embriót tartalmazó ikraszemek, a termékenyüléstől számított 12. órában, gerinchúros állapotban) számát, mintavételi időpontokban feljegyeztük a kelési időt, valamint megszámláltam a kikelt lárva számokat. A következő paramétereket számoltam:

Termékenyülési arány (%) = (termékenyült ikraszemek száma / összes ikraszem) × 100

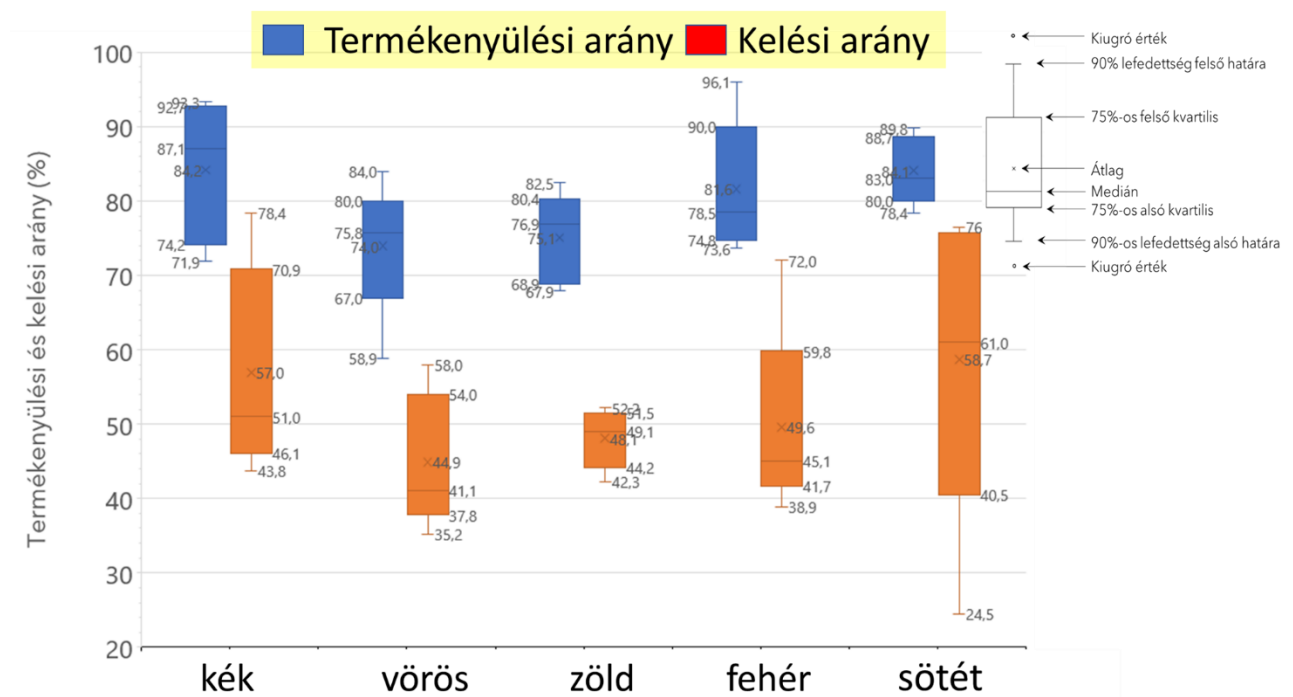
Kelési arány (%) = (kikelt lárvák száma / összes ikraszem) × 100

Az adatok elemzését és statisztikai vizsgálatát Microsoft Office, Excel programcsomagjának Adatelemzés menüjében (két mintás t próba és egytényezős variáncianalízissel $p < 0,05$ szinten) végeztem.

4. Eredmények

4.1. Első kísérleti ciklus

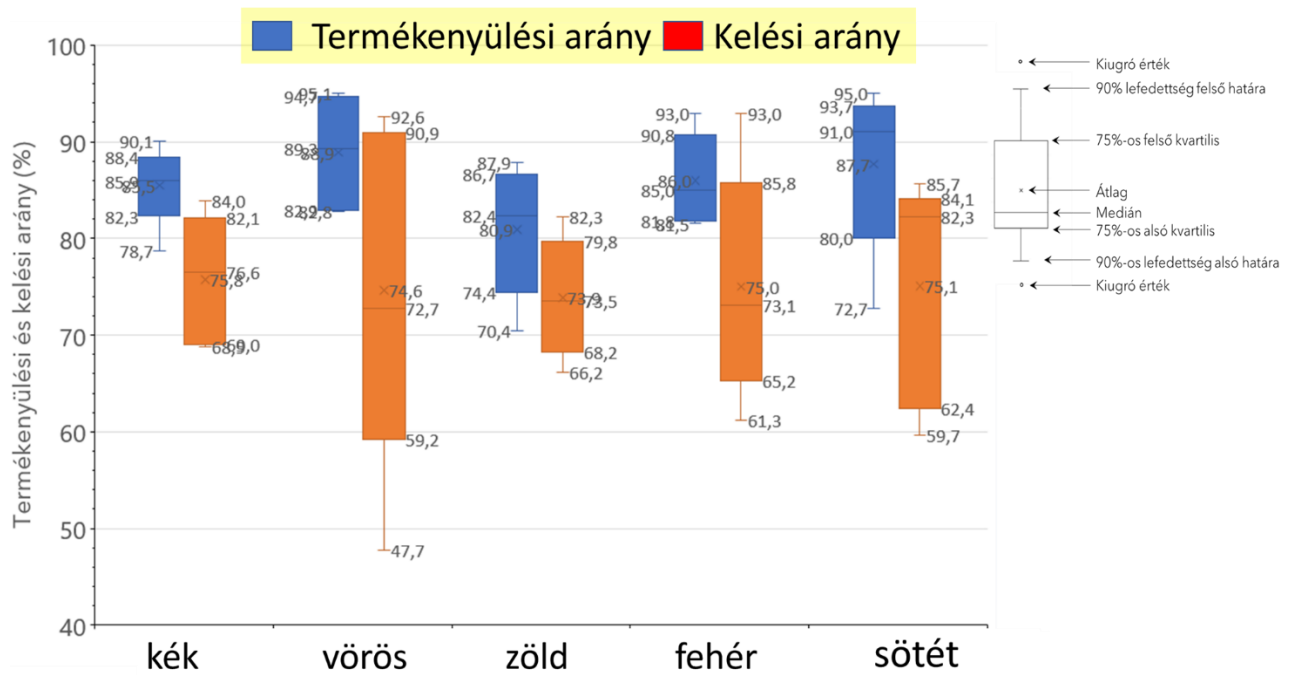
A különböző hullámhosszú megvilágítások hatása a termékenyülési arányokra a „kék” kezelés hozta a legmagasabb eredményt, azonban statisztikailag igazolható szinten nem különbözött a többi kezeléstől ($p > 0,05$). A kelési értékekben sem találtunk statisztikailag igazolható különbséget a kezelések között, egyes hullámhossz tartományokban (például a „sötét” kezelési csoportban) kiugróan nagy individuális különbségek mutatkoztak a kelési arányban. (7.ábra)



7. ábra. Termékenyülési – és kelési arányok doboz diagramban ábrázolva a kapott értékekkel (első kísérlet).

4.2. Második kísérleti ciklus

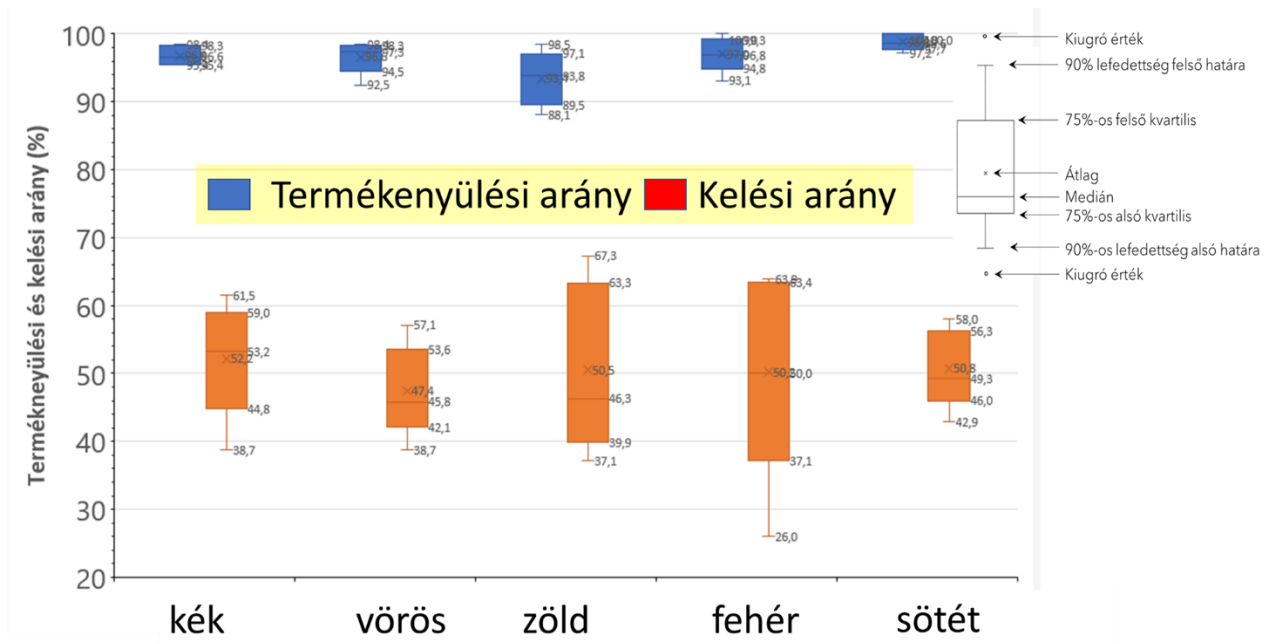
Ebben a ciklusban a termékenyülési arányoknál a „vörös” kezelés hozta a legmagasabb eredményt, azonban statisztikailag igazolható szinten nem különbözött a többi kezeléstől ($p > 0,05$). A kelési értékekben sem találtunk statisztikailag igazolható különbséget a kezelések között, egyes hullámhossz tartományokban (például a „vörös”) nagy individuális különbségek mutatkoztak a kelési arányban. (8.ábra)



8. ábra. Termékenyülési – és kelési arányok doboz diagramban ábrázolva a kapott értékekkel (második kísérlet)

4.3. Harmadik kísérleti ciklus

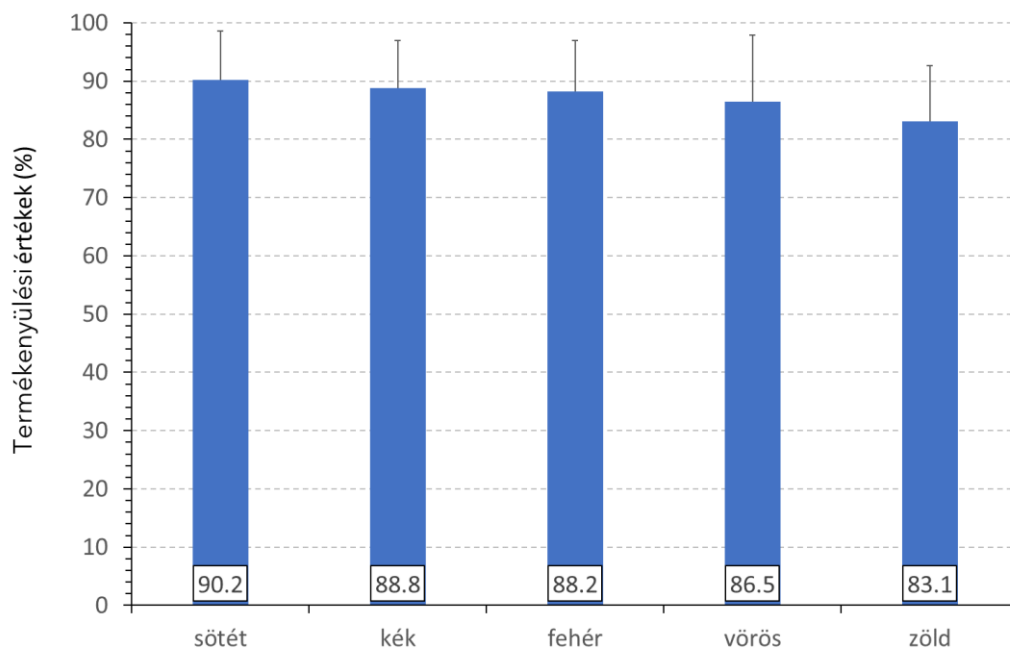
A „sötét” kezelésben volt a legmagasabb termékenyülési arány, és itt már statisztikailag igazolható különbséget lehetett kimutatni a legalacsonyabb („zöld”) kezeléshez képest (ANOVA minden csoport: $F=2,912$, $F_{krit}=2,867$, $df=4$, $p=0,0475$, két mintás t próba a „zöld” és a „sötét” között: $p=0,03557$). Kelési arányokban azonban már nem mutatkozott különbség (9.ábra).



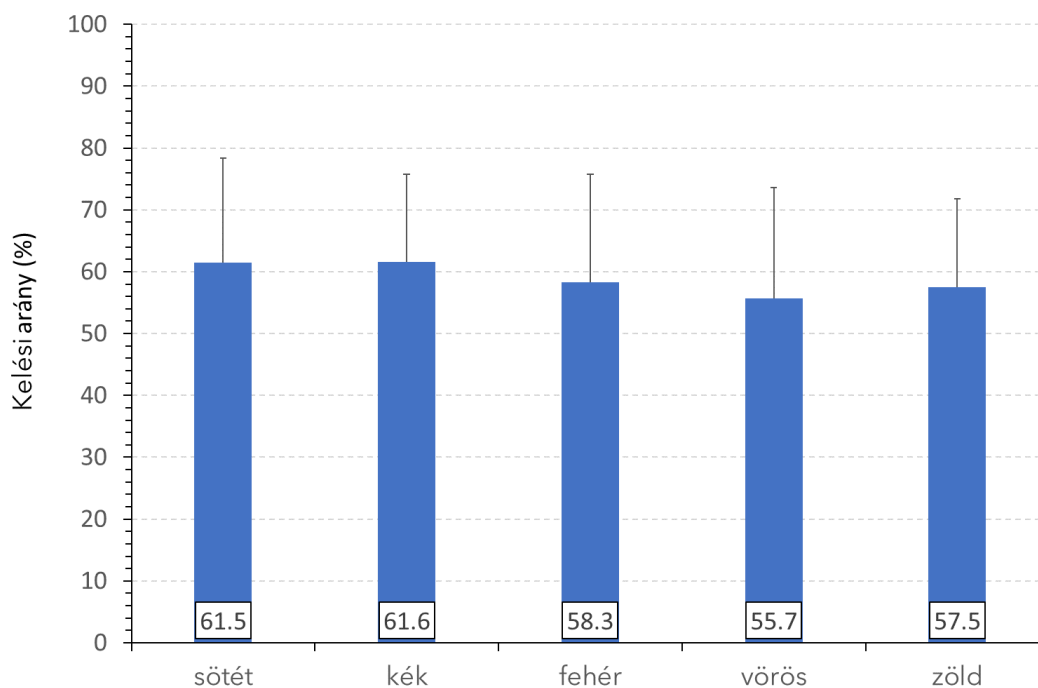
9. ábra. Termékenyülési – és kelési arányok doboz diagramban ábrázolva a kapott értékekkel (harmadik kísérlet)

4.4. Termékenyülési-, és kelési arányok vizsgálata a 3 kísérleti eredmény alapján

Az összesített adatok elemzésekor a nagy individuális különbségek miatt (is) nem tudunk statisztikailag igazolható különbséget kimutatni ($p>0,05$) a különböző hullámhosszúságú fénynak a termékenyülésre-, és a kelésre gyakorolt hatására (10. -11. ábra).



10. ábra. Termékenyülési arányok a 3 kísérleti ciklus összesített adatai alapján. Az oszlopdiagrammok alapján a termékenyülési átlagértékek láthatóak.

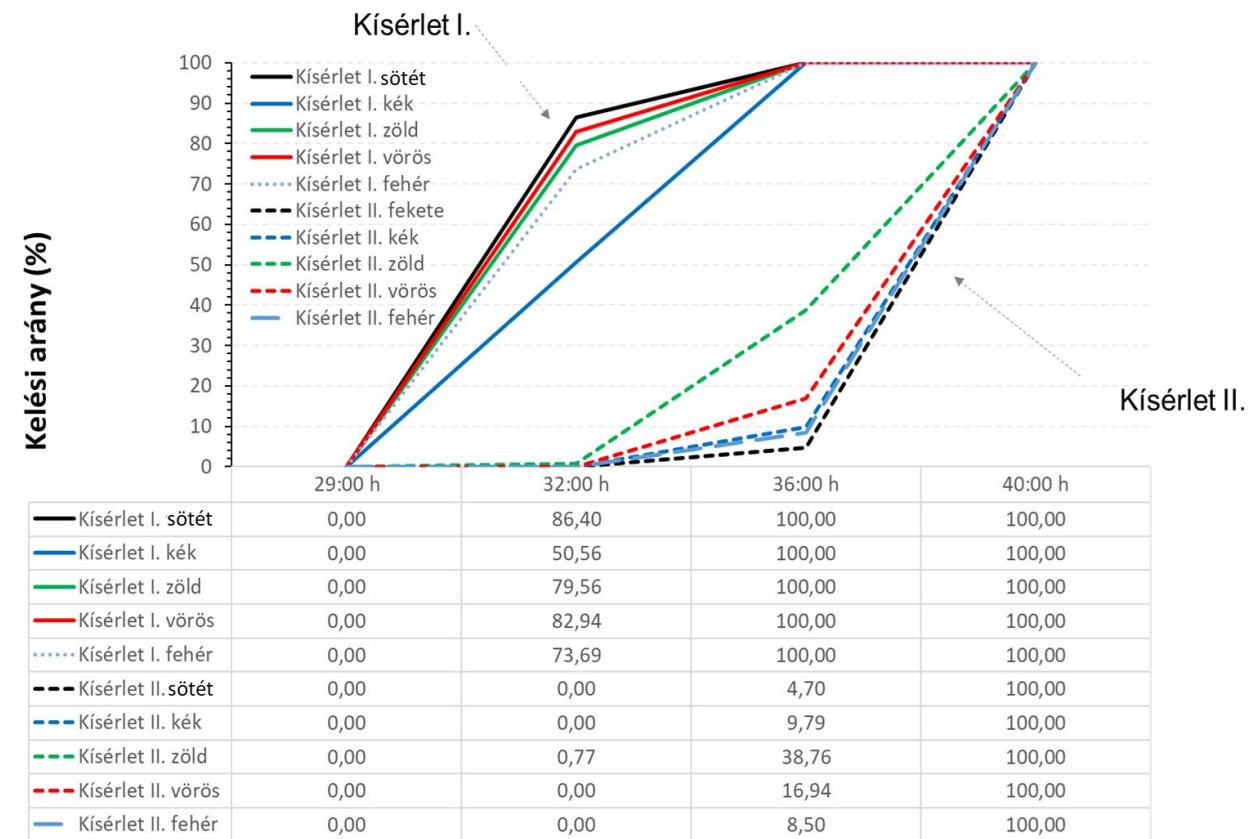


11. ábra. Kelési arányok a 3 kísérleti ciklus összesített adatai alapján. Az oszlopdiagrammok alapján a kelési átlagértékek láthatóak.

4.5. Különböző hullámhosszú fény hatása az embriók fejlődési sebességére, kelésére

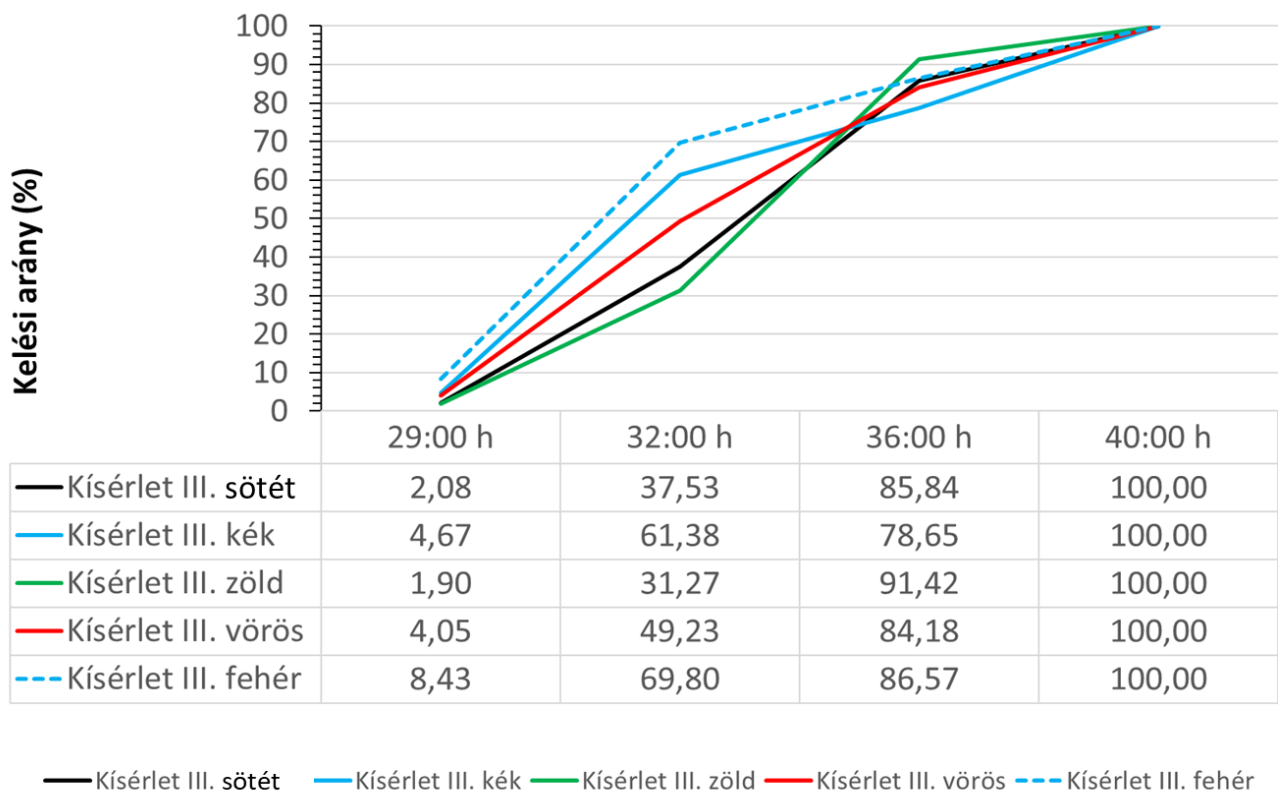
Az első két kísérleti ciklust együtt értékeltem, egy diagramba összesítettem az adatokat (12. ábra). Az első kísérleti ciklusban a kelési ritmust tekintve (24 °C) egyedül a kék fényben inkubált embriók maradtak el a többi csoporthoz, azonban a 36:00 órában mindhárom csoport lárvái kikeltek 100%-ban.

A második kísérleti ciklusban a kelési arány változott az első kísérlethez viszonyítva. A 32:00 órában csak néhány egyed kelt ki, és csak a zöld hullámhossz tartományú kezelésben, majd statisztikailag igazolható módon ($p < 0,05$) is a legtöbb egyed itt kelt ki 36:00 h-ig. A 40:00 óra volt szükséges, hogy minden lárva kikeljen azonban itt a keltetővíz hőmérséklete 1 °C-fokkal alacsonyabb volt (23 °C) (12. ábra).



12. ábra. Kelési ritmus az első és második kísérleti ciklusban. Az első kísérleti ciklusban a rendszervíz 24 °C, míg a második kísérleti ciklusban 23 °C volt.

A harmadik kísérleti ciklusban kapott eredmények jelentősen eltértek az előző két kísérletben tapasztalt értékektől (13. ábra). Itt már néhány %-ban minden kezelésben volt kelt lárva a 29:00 h-ban, majd a fehér hullámhossztartományú kezelésben kelt ki a legtöbb lárva szemben a sötét és zöld kezeléstől. Ezek az eredmények teljesen szembementek az előző két kísérleti ciklusban kapott értékektől. A nagy érték- és tendencia különbségek arra utalnak, hogy nem csak a megvilágítási idő, hanem más – eddig még fel nem tárt – környezeti faktorok (esetlegesen anyai hatás – genetikai háttér) jelentősen befolyásolják a kísérleti eredményeket.



13. ábra. Kelési ritmus a harmadik kísérleti ciklusban. A rendszervíz 24 °C

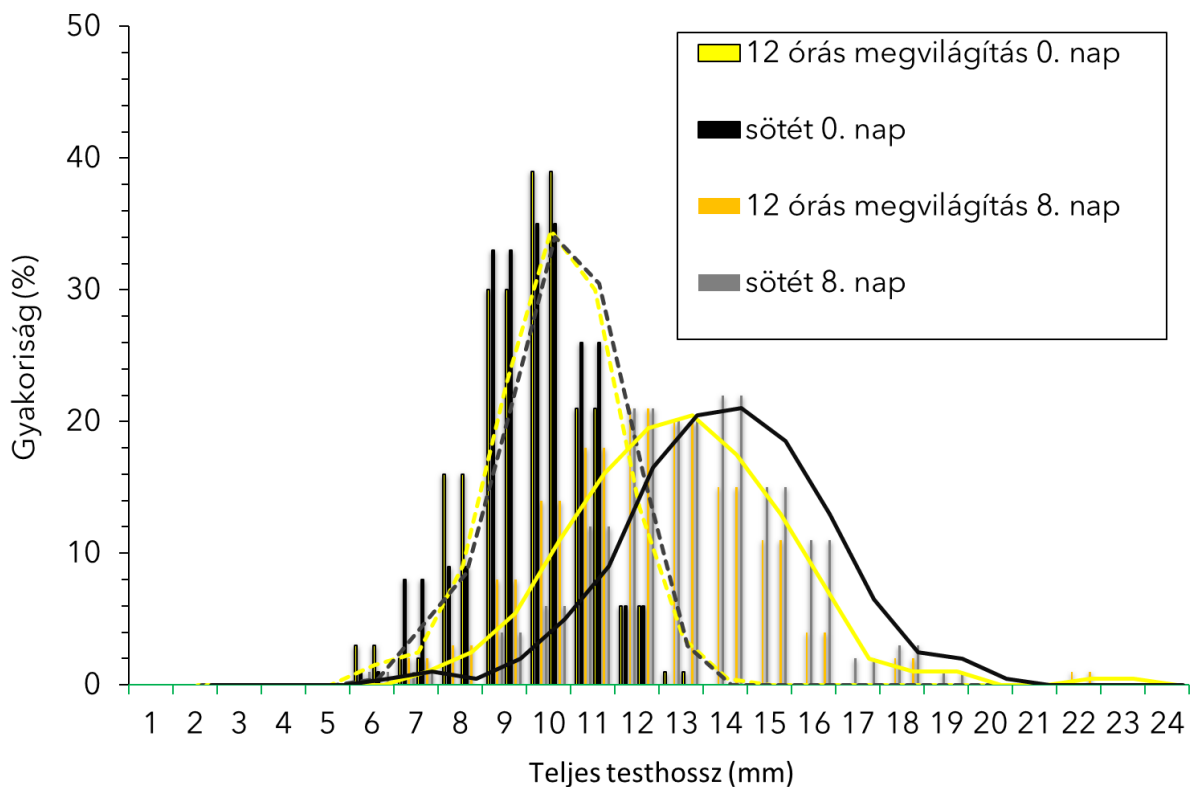
5. Eredmények értékelése

Az eltérő hullámhosszúságú fény hatását vizsgáltuk az afrikai harcsa termékenyülésére, embrió fejlődés ütemére (sötét, fehér, vörös, zöld és kék megvilágítás napi 24 órában). A kísérletsorozat alapján egy esetben találtunk statisztikailag értékelhető különbséget a különböző kezelési csoportok között; a harmadik kísérleti ciklusban a sötét kezelésben volt a legmagasabb termékenyülési arány a legalacsonyabb „vörös” kezeléshez képest, de kelési arányokkor ez a különbség már nem mutatkozott meg. Eredményeink alapján korai fejlődési fázisban még nem mutatkozik meg az általunk számszerűsített paraméterekben az eltérő hullámhosszúságú fény hatása. Azonban a kísérleteink elején járunk és nem jelenthetjük ki, hogy nagyobb mérettartományokban már ne lenne gazdaságilag jelentős értékmerő tulajdonságokban (megmaradás, növekedő képesség, technológiai tűrőképesség stb.) különbségek az eltérő kezelésekk mellett. Például debreceni kutatók kísérletsorozatai tisztán kimutatták az eltérő megvilágítás hatását recirkulációs rendszerben nevelt különféle halfajoknál, ilyen a harcsa (Kertész et al., 2022a); (Kertész et al., 2022b), illetve a sügér (Molnár et al., 2022). Az afrikai harcsával egy rendbe tartozó harcsával végzett kísérleteinkben Kertész et al., (2022a) intenzív nevelése során vizsgálták meg a fény hatását 4 féle kezelésben, kezelésként 3-3 ismétlés alkalmazásával. A következő kezeléseket alkalmazták: Piros fény – 1000 K, Zöld fény – 3000 K, Fehér fény – 6000 K, és a Kontroll csoport, ami a teljes sötétséget jelenti. Fontos kiemelni, hogy ők, ellentétben a mi kutatócsoportunkkal már előnevelt harcsákkal kísérleteztek, nem pedig embriókkal. Összességében megállapították, hogy zárt, recirkulációs rendszerben a teljes sötétség minden termelési mutatóban felülmúlta a többit, de szignifikánsan csak a teljes sötétségben nevelt egyedek lehalászási súlya volt nagyobb, mint a fehér kezelésben lévőké. Így a zöld és piros fény általuk feltételezhető módon alkalmas lehet a harcsa nevelése során, hiszen lehetővé teszik az állatok ellátásával foglalkozó munkatársak látáskörülményeit, de negatívan mégsem befolyásolják a termelési paramétereket.

Kertész et al., (2022b) egy másik kísérletsorozatukban szintén a megvilágítás hatását vizsgálták kiegészítve takarmányozási szempontból szintén harcsa (*S. glanis*) fajban, azonban lárva állapotban. A kísérleteik a fény szempontjából arra irányultak, hogy milyen értékeket produkálnak a halak a teljes sötétséget tekintve, majd egyre növekvő LUX értékek mellett. Az első kísérletük alapján a legtöbb termelési paraméter vonatkozásában a teljes sötétségben történő nevelés kedvezőbb eredményeket vont maga után, az állomány szétnövése szempontjából elmondhatták, hogy 2 LUX megvilágítás mellett a csoportok szignifikánsan

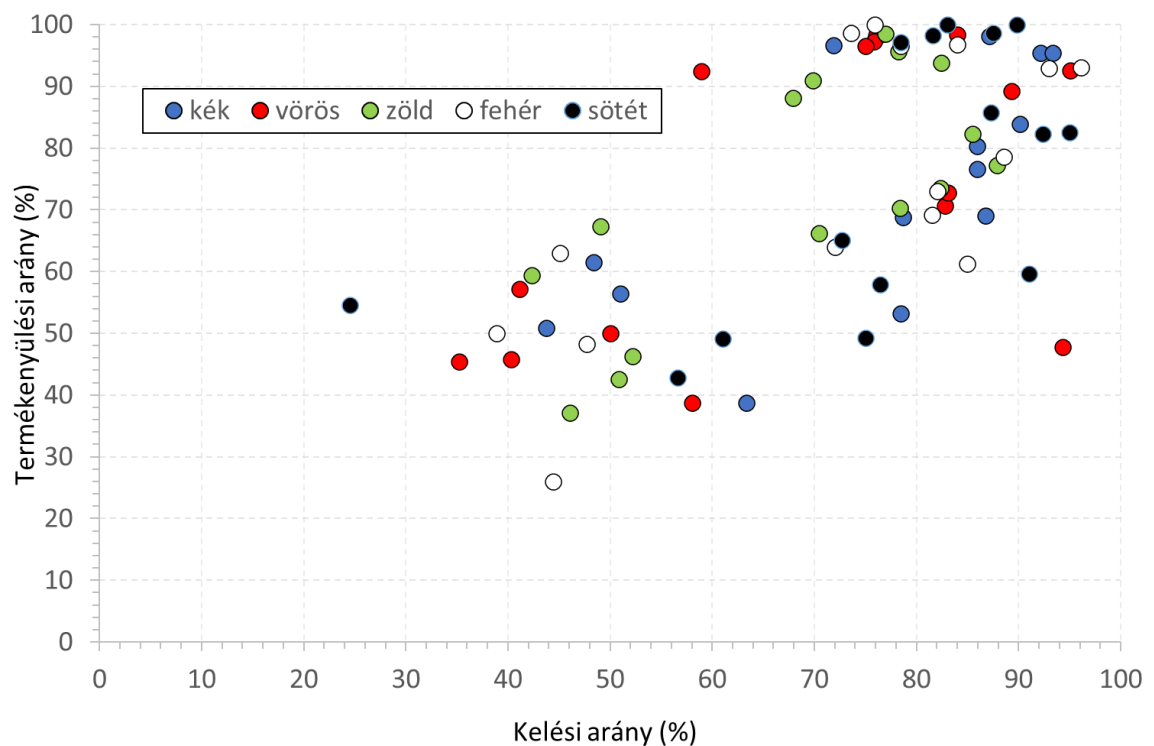
egyöntetűbbnek bizonyultak a kísérlet végén. A második kísérlet során a megvilágítás és a takarmányozás hatásait, valamint e két tényező interakciójának termelési paraméterekre gyakorolt befolyását vizsgálták. Az eredmények alapján kiderült, hogy a megvilágítás statisztikailag szignifikánsan csak az egyedi testtömegre volt hatással. Ezzel szemben a használt takarmányozási protokoll a szétnövés kivételével minden más termelési mutatót jelentősen befolyásolt. A két tényező közötti interakció egyetlen vizsgált paraméter esetében sem mutatott szignifikáns hatást. Ezek alapján megállapították, hogy a fényintenzitás lassú ütemű növelése nem befolyásolja a lárva termelési paramétereit, és fokozatosan növekvő megvilágítás mellett a harcsa intenzív környezetben is eredményesen nevelhető, jó túlélési arány mellett.

Habár jelen TDK dolgozatomnak nem volt célja, de megkezdtük azokat a kísérleteket is afrikai harcsában, amin már táplálkozó lárvákat vizsgáltunk eltérő megvilágítás mellett. Ebben az esetben, ahogy harcsánál is leírták a megvilágítás nélküli-, a napi 24 órás „sötét” tartás kedvezőbb növekedést eredményezett (elért átlagos testhossz 12,8 mm), mint a 12 órás megvilágítás és 12 órás sötét tartás (átlagos elérte testhossz: 11,7 mm) (14. ábra). Ezen kísérletek részletes kifejtését azonban már csak egy másik munkában fogom tudni bemutatni.



14. ábra. Afrikai harcsa lárvák növekedőképessége két eltérő megvilágítás kezelés hatására (előkísérlet).

Egy másodlagos-, tehát nem a kísérlet célkitűzésébe eső megfigyelésünk is volt a kísérleteink eredményei alapján. Amennyiben a három kísérlet termékenyülési és kelési arányát vetjük össze minden kezelést egy elemzésbe véve (15. ábra) akkor a két paraméter között összefüggést láthatunk. Pontosabban trendvonal felvételkor hatvány korrelációt véve – ez volt a legszorosabb illesztés - az $r^2 = 0,42$ ($y = -0.0035x^2 + 1.2167x + 5.4143$), “mérsékelten erős korreláció”. A termékenyülési érték a kelés varianciájának 42%-át magyarázza, a további 68%-ot más tényezők (további változók, például a mintavételi (ikraválogatás) különbségek, anyahalak eltérő genetikai tulajdonságai, részben az ikrainkubáció alatti eltérő környezeti feltételek (megvilágítás) stb.) eredményezték. A legszorosabb illesztés a „zöld” megvilágításnál adódott, ahol az $r^2 = 0,56$ (logaritmikus $y = 58.839\ln(x) - 174.04$). Fontos még kiemelni, hogy nem volt autokorreláció, a két paramétert külön alapból számoltuk.



15. ábra. A három kísérleti ciklusban összevont kelési és termékenyülési arányok összevetése

A különböző hullámhosszúságú fény hatását az embrió- és lárvagenezisre tovább kell vizsgálni. Fontos lenne tudni, hogy a kísérleti beállítástól függő eltérő környezeti feltételek mennyiben befolyásolják a halak későbbi életszakaszait (megmaradás, növekedő képesség, stressztűrő képesség stb.), azonban ennek feltárására nagyobb energiaigényű kísérlettervezésre van szükség.

6. Összefoglalás

Kísérletünk során az eltérő hullámhosszúságú fény hatását vizsgáltuk az afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) termékenyülésére és az embrió fejlődésének ütemére. A vizsgálat öt különböző megvilágítási körülmény között zajlott: teljes sötétség, fehér fény, vörös fény, zöld fény és kék fény, folyamatos, napi 24 órás megvilágítással. A kísérleti eredmények alapján csak egy esetben találtunk statisztikailag szignifikáns különbséget a különböző megvilágítási kezelési csoportok között. Ez a különbség a harmadik kísérleti ciklus során jelentkezett, ahol a sötét kezelésben a termékenyülési arány szignifikánsan magasabb volt, mint a zöld fény kezelés esetében. Ezt a különbséget azonban a kelési arányokban már nem észleltük, vagyis a fejlődés későbbi szakaszában a fényhatás nem mutatott jelentős eltéréseket.

Eredményeink azt sugallják, hogy az afrikai harcsa korai fejlődési fázisaiban, a vizsgált paraméterek (termékenyülési arány, embrió fejlődési ütem) alapján, az eltérő hullámhosszúságú fény hatása nem egyértelműen kimutatható. Fontos azonban megjegyezni, hogy a kutatás jelenlegi fázisában csak a korai fejlődési stádiumokat vizsgáltuk, így egyelőre nem tudunk következtetéseket levonni a későbbi fejlődési szakaszokra vonatkozóan. Lehetséges, hogy a nagyobb mérettartományokban, illetve a halak további fejlődési szakaszaiban (például növekedési ütem, megmaradási arány, technológiai tűrőképesség) az eltérő fénykezelések gazdaságilag is jelentős hatásokat mutatnak. A kísérletsorozat további szakaszaiban szükséges ezeknek a tulajdonságoknak a részletes vizsgálata, hogy átfogóbb képet kapjunk az eltérő megvilágítás hosszú távú hatásairól.

7. Irodalomjegyzék

- Almazan-Rueda, P., Van Helmond, A.M., Verreth, J.A.J., Schrama, J.W., (2005). Photoperiod affects growth, behaviour and stress variables in *Clarias gariepinus*. *Journal of Fish Biology*. 67 (4), 1029–1039.
- Almazan-Rueda, P., Schrama, J.W., Verreth, J.A., (2004). Behavioural responses under different feeding methods and light regimes of the African catfish (*Clarias gariepinus*) juveniles. *Aquaculture* 231 (1-4), 347–359.
- Appelbaum, S. & McGeer, J.C. (1998), Effect of diet and light regime on growth and survival of African catfish (*Clarias gariepinus*) larvae and early juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 4, 157-164.
- Barton, B. A., & Iwama, G. K. (1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases*, 1, 3-26.
- Bilotta, J. (2000). Effects of abnormal lighting on the development of zebrafish visual behavior. *Behavioural Brain Research*, 116, 81-87.
- Bozhkov, A., Nikolov, G., Ürkü, Ç., Zarpyanova, D., Atanasoff, A., Secer, F. S., & Kandir, S. (2023). Effect of different light intensities on prolactin and cortisol plasma concentration in farming African catfish (*Clarias gariepinus*) in RAS with low water exchange. *Israeli Journal of Aquaculture Bamidgeh*, 75.
- Csorbai, B., Péteri, A., Urbányi, B. (2015): Intenzív haltenyésztés. Gödöllő: Vármédia Print Kft., 248.
- Dröscher, V. B. (1990). *Ahogy az állatok látnak, hallanak és éreznek*. Tessloff és Babilon Kiadó.
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation*. FAO, Rome.
- Gabriel, A. D., Festus O. K., & Ife A. G. (2023). The growth response and digestive enzyme activity of juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to artificial light at night (ALAN) spectral. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 16(4), 693-698.
- Gerbremichael, A., Yunuis, Z. Y., Omeralfaroug, A., Müller, T., & Kucska, B. (2022). A rovarliszt takarmányba történő részleges bevonásának hatása az Afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) ikrások reprodukciós paramétereire. *Halászatfejlesztés*, 39, 115-117.
- Getahun, S., Mingist, M., & G/Michael, G. (2023). Growth performance of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in glass aquaria under different light conditions. *Aquaponics*, 3.
- H. Hogendoorn. (1983). Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C. & V.): III. Bioenergetic relations of body weight and feeding level. *Aquaculture*, 35, 1-17.

- Harka, Á., & Sallai, Z. (2004). Halaink és elterjedésük. In: Harka, Á., & Sallai, Z. (Eds.), Magyarország halfaunája (pp. 222-223). Nimfea Természetvédelmi Egyesület, Szarvas.
- Hegy, Á., Béres, T., Kovács, R., & Kotrik, L. (2008). Laboratóriumi vizsgálatok során fellépő stressz értékelése halakban. *Animal welfare, etológia és tartástechnológia*, 4(1), 70-84.
- Horváth, L., Magyary, I. (2007). A haszonhalak szaporítása. In Cs. Hancz (Ed.), *Haltenyésztés (egyetemi jegyzet)* (pp. 1-87). Kaposvári Egyetem, Kaposvár.
- Horváth, L., Tamás, G., & Coche, A. G. (1985). *Common Carp 1: Mass Production of Eggs and Early Fry*. FAO: Rome, Italy, 87.
- Indriastuti, C. E., Junior, M. Z., Suprayudi, M. A., Supriyono, E., & Alimuddin, A. (2022). Cannibalism, survival and growth performance of juvenile African catfish *Clarias gariepinus* in relation to photoperiod and 17 β -Oestradiol treatment. *Aquaculture Research*, 53, 4437–4448.
- Kertész, A., Bereczki, G., Dajka, B., Molnár, Á., Bársony, P., & Fehér, M. (2022a). A különböző fény spektrumok hatása az intenzíven nevelt harcsa (*Silurus glanis*) termelési és élettani paramétereire. *Halászatfejlesztés*, 39, 41-43.
- Kertész, A., Bereczky, G., Bársony, P., & Fehér, M. (2022b). A megvilágítás és a takarmányozás szerepének vizsgálata a harcsa (*Silurus glanis*) intenzív lárvanevelése során. *Állattenyésztés és takarmányozás*, 71(2), 105-114.
- Kertész, A., Csökmei, H., Molnár, P., Bársony, P., & Fehér, M. (2023). Eltérő fény spektrumokkal történő megvilágítás hatása a harcsa (*Silurus glanis*) termelési és antioxidáns paramétereire intenzív (RAS) rendszerben. *Halászat tudomány*, 9(2), 17-21.
- Kiss, G. (2024). Statisztikai jelentések – Lehalászás jelentés. NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet, Budapest.
- Langi, S., Maulu, S., Hasimuna, O. J., Kaleinasho, K. V., & Tjipute, M. (2024). Nutritional requirements and effect of culture conditions on the performance of the African catfish (*Clarias gariepinus*): a review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 15.
- Lukácsik, B. M., Kiss, G., György, Á. I., Lengyel, P., & Csörgits, G. (2021). Magyarország tógazdasági és intenzív üzemi haltermelése 2020-ban. *Halászat*, 114, 87-96.
- Molnár, Á., Homoki, D.Z., Bársony, P., Kertész, A., Remenyik, J., Pesti-Asbóth, G., Fehér, M. (2022). 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, 969.

- Molnár, E. (2011). Fehér busából és afrikai harcsából készült filé és haltermékek minőségi elemzése. Doktori értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Ujhelyi Imre Állattudományi Doktori Iskola.
- Mommsen, T. P., Vijayan, M. M., & Moon, T. W. (1999). Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 9(3), 211-268.
- Moussa, T. A. (1956). Morphology of the accessory air-breathing organs of the teleost *Clarias lazera* (C&V). *Journal of Morphology*, 98, 125-160.
- Müller, T. (2022). Keltetőházi halszaporítási gyakorlattól eltérő új- és újszerű módszertani eljárások. Doktori értekezés, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő.
- Müller, T. (2022). Keltetőházi halszaporítási gyakorlattól eltérő új- és újszerű módszertani eljárások. Doktori értekezés, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő.
- Müller, T. (2024). Szóbeli közlés. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő.
- Nagy, Z., Gál, D., Hancz, Cs., & Biró, J. (2020). Eltérő típusú tartástechnológiák hatása a szürke harcsa (*Silurus glanis*) termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 24(2), 14–26.
- Nguyễn, N. Q., Á. Varga, Nguyễn, T. T., Horváth, J., Urbányi, B., & Müller, T. (2023). Afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) indukált szaporítása alternatív hormonkezeléssel (előzetes eredmények). *Halászatfejlesztés*, 40, 157-160.
- Nguyễn, N. Q., Alebachew, G. W., Wéber, Cs., Kovács, Gy., Halasi-Kovács, B., Kucska, B., Ferincz, Á., Staszny, Á., Horváth, L., Urbányi, B., & Müller, T. (2022). Hibridelőállítás indukált ivatásos-, és inszeminációs módszerrel *Clarias gariepinus* ♀ (inj. *hertobranchus longifilis* sperma) × *C. gariepinus* ♀. *Halászatfejlesztés*, 38, 41-43.
- Ojelade, O., Iyasere, O., Durosaro, S., Abdulraheem, I., & Akinde, A. (2022). Social isolation impairs feed intake, growth and behavioural patterns of catfish under culture conditions. *Animal*, 16(5), 8.
- Ojelade, O., Iyasere, O., Durosaro, S., Abdulraheem, I., Akinde, A., Oladepo, M. B., Sopein, C. A., Bhadmus, A. S., & Olateju, M. (2022). Environmental enrichment improves the growth rate, behavioral and physiological response of juveniles of *Clarias gariepinus* under laboratory conditions. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 14.
- P.J. Britz, & T. Hecht. (1987). Temperature preferences and optimum temperature for growth of African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) larvae and postlarvae. *Aquaculture*, 63(1–4), 205-214.

- Pavlidis, M., Greenwood, L., Paalavuo, M., Mölsä, H., & Laitinen, J. T. (1999). The effect of photoperiod on diel rhythms in serum melatonin, cortisol and growth hormone levels in the sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *General and Comparative Endocrinology*, 113(2), 240-250.
- Pereira, L. A. L., Amanajás, R. D., Oliveira, A. M. D., Silva, M. D. N. P. D., & Val, A. L. (2021). Health of the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*): Effects of prolonged photoperiod and high temperature. *Aquaculture*, 541, 8.
- Péteri, A., Horváth, L., Radics, F., & Puppáné, B. F. (1989). Az afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) tenyésztése. *Halászat*, 82(3), 86-91.
- Pickering, A. D., & Pottinger, T. G. (1989). Stress responses and disease resistance in salmonid fish: Effects of chronic elevation of plasma cortisol. *Fish Physiology and Biochemistry*, 7, 253-258.
- Quyén, N. N. (2023). Natural spawning behaviour and induced spawning by using the novel fish propagation method of African catfish (*Clarias gariepinus*). PhD dissertation, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő.
- Radics, F. (1990). Az afrikai harcsa szaporításának és nevelésének hazai tapasztalatai. *Halászat*, 83(4), 125-128.
- Sallehudin, F., Mukai, Y., (2014). Cannibalistic behaviour of African catfish juveniles *Clarias gariepinus* under different light wavelengths and intensities. 3rd International Conference on Applied Life Sciences (ICALS2014). ISALS Publishing, Malaysia PP. 51-55.
- Sallehudin, M.F., Yusoff, N.A., Tan, N.H., Saad, S., Mukai, Y., (2017). Optimum lightwavelength and light intensity for rearing juvenile African catfish (*Clarias gariepinus*). *International Journal of Aquatic Science*. 8 (2), 107-112.
- Schreck, C. B., Contreras-Sanchez, W., & Fitzpatrick, M. S. (2001). Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. *Aquaculture*, 197(1-4), 3-24.
- Sinnott, R., Leeming, D., Migaud, H., & Davie, A. (2019). Impact of photoperiod manipulation on Atlantic salmon (*Salmo salar*) post-smolt growth, maturation and plasma cortisol levels. *Aquaculture*, 507, 120-127.
- Sumpter, J. P., & Donaldson, E. M. (1986). The involvement of steroid hormones in the regulation of calcium metabolism in teleost fish. *Journal of Steroid Biochemistry*, 24(1), 299-303.

Szabó, T., Radics, F., Borsos, Á., Fodor, B., Müller, T., Urbányi, B., & Horváth, L. (2022). Pontyhipofízis hatékonyságának vizsgálata extrém hosszú ideig tartó tárolást követően afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) szaporítása során. *Halászatfejlesztés*, 39, 65-67.

Urbányi, B., & Woynárovich, A. (n.d.). *Halgazdálkodás alapjai*. Egyetemi jegyzet.

Urbányi, B., Horváth, Á., Staszky, Á., Müller, T., Lefler, K., Müllerné Trenovszki, M., Horváth, L., Ferincz, Á., Kovács, R., Bokor, Z., & Csenki Bakos, Z. (2015). Látni és látszani – avagy a fény szerepe a halak élettanában. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 64(4), 325-331.

Viveen, W. J. A. R., Richter, C. J. J., Van Oordt, P. G. W. J., Janssen, J. A. L., & Huisman, E. A. (1985). *Practical manual for the culture of the African catfish (Clarias gariepinus)*. The Netherlands Ministry for Development Cooperation, The Hague, 128 pp.

Wendelaar Bonga, S. E. (1997). The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77(3), 591-625

Wenzel, L. C., Erwin, B., & Palm, H. W. (2022). Effects of stocking density and grading on behaviour, cannibalism and performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) fry. *Aquaculture Reports*, 27, 12.

https://www.citatum.hu/szerzo/Hannibal_Barkasz

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulensemnek, Prof. Dr. Müller Tamás egyetemi tanárnak, aki időt és energiát nem sajnálva mindig segítette munkámat. Továbbá köszönet illeti a segítségéért Dr. Kovács Balázst; három Phd. hallgatót, név szerint Varga Ádámot, Horváth József Istvánt, és Kevin Ngoge Nyabutot, hogy a kísérleti munkákat közösen végezhattük. Köszönöm minden egyes, a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemen Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézetében dolgozó munkatársnak, és azoknak, akik közreműködtek abban, hogy a munkám eredményesen záruljon. Munkánkat az NKFI "Speciális fényforrások és tisztított termálvíz alkalmazása különleges kertészeti és akvakultúras termékek előállítására", 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00328, NKFI Alap (NKFI_K_135824) és a 2020-1.2.4 TÉT Ipari TR (2021-00015) projektek támogatták.

9. Mellékletek



16. ábra: Afrikai harcsa mérése (fotó: Kevin Nyabuto Ngoge).



17. ábra: Afrikai harcsa mérése (fotó: Kevin Nyabuto Ngoge).



18. ábra: Általam végzett ikrafejés afrikai harcsából (fotó: Turuc Tamás).



19. ábra: In vitro termékenyítés (saját fotó).