

DEBRECENI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG-, ÉLELMISZERTUDOMÁNYI ÉS
KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR
ÁLLATTUDOMÁNYI, BIOTECHNOLÓGIAI ÉS TERMÉSZETVÉDELMI
INTÉZET

ÁLLATTENYÉSZTÉSI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

A Doktori Iskola vezetője:

Dr. Kovács András
Egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezetők:

Dr. Váradi László
Ph.D.
Dr. Stündl László
Ph.D.

DOKTORI (PH.D.) ÉRTEKEZÉS

A BARRAMUNDI (*LATES CALCARIFER*, BLOCH, 1790) ÉS A VÖRÖS
ÁRNYÉKHAL (*SCIAENOPS OCELLATUS*, L. 1766) IVADÉKNEVELÉSI ÉS
TAKARMÁNYOZÁSI TECHNOLOGIÁNAK FEJLESZTÉSE

Készítette:

Fehér Milán
doktorjelölt

Debrecen

2014.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	6
1.1. Célkitűzések.....	8
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1. A barramundi	11
2.1.1. A barramundi gazdasági jelentősége	11
2.1.2. A barramundi biológiája	13
2.1.3. A barramundi tartás- és takarmányozás technológiája	14
2.2. A vörös árnyékhal.....	15
2.2.1. A vörös árnyékhal gazdasági jelentősége	15
2.2.2. A vörös árnyékhal biológiája.....	18
2.2.3. A vörös árnyékhal tartás- és takarmányozástechnológiája.....	19
2.2.4. A vörös árnyékhal igényei a víz ionösszetételével szemben	21
2.3. Esszenciális nyomelemek lárva- és ivadéknevelésben betöltött szerepe.....	25
2.3.1. A kobalt.....	25
2.3.2. A mangán és a cink.....	27
2.3.4. A kobalt, a mangán és a cink szerepe a haltakarmányozásban.....	28
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	30
3.1. Az <i>Artemia naupliusz</i> nyomelemekkel történő dúsítása.....	30
3.1.1. Frissen kelt <i>Artemia naupliusz</i> dúsítása kobalttal, cinkkel és mangánnal	30
3.1.2. A minták kémiai analízise.....	31
3.1.3. Az eredmények statisztikai értékelése	31
3.2. A barramundi lárva etetése a nyomelemekkel dúsított <i>Artemiával</i>	32
3.2.1. Az etetési kísérlet.....	32
3.2.2. A minták kémiai analízise.....	33

3.2.3. A termelési mutatók meghatározása	33
3.2.4. Az eredmények statisztikai értékelése	34
3.3. A száraz takarmány Co, Zn és Mn kiegészítése	35
3.3.1. A kísérleti tápok kialakítása.....	35
3.3.2. A kísérleti elrendezés.....	36
3.3.3. A minták kémiai analízise.....	37
3.3.4. A termelési mutatók meghatározása	38
3.3.5. Az eredmények statisztikai értékelése	39
3.4. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiájának kidolgozása.....	40
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	42
4.1. Az <i>Artemia naupliusz</i> nyomelemekkel történő dúsítása.....	42
4.1.1. Frissen kelt <i>Artemia naupliusz</i> dúsítása kobalttal.....	42
4.1.2. Frissen kelt <i>Artemia naupliusz</i> dúsítása kobalttal, cinkkel és mangánnal	43
4.2. A barramundi lárva etetése a nyomelemekkel dúsított <i>Artemiával</i>	45
4.2.1. A barramundi lárvák megmaradása	45
4.2.2. A barramundi lárvák testtömege, testhossza, kondíció-faktora és növekedési üteme.....	47
4.2.3. A barramundi lárvák Co-, Mn- és Zn-koncentrációja.....	50
4.2.4. Az <i>Artemia</i> és a barramundi lárvák Co-, Mn- és Zn-koncentrációja közötti összefüggések	53
4.3. A száraz takarmány Co, Zn és Mn kiegészítése	55
4.3.1. Az ivadékok egyedi testtömege	55
4.3.1. Az ivadékok megmaradása és egyöntetűsége	56
4.3.3. Az ivadékok testtömeg-gyarapodása (WG) növekedési üteme (SGR) és takarmányértékesítése (FCR).....	58
4.3.3. Az ivadékok nyomelem-felvétele	60
4.4. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiája.....	64
4.4.1. Az ivadékok megmaradása és növekedése	64

4.4.2. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiájának kidolgozása – Technológiai leírás.....	65
5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	70
5.1. Az <i>Artemia naupliusz</i> nyomelemekkel történő dúsítása.....	70
5.2. A barramundi lárva etetése a nyomelemekkel dúsított <i>Artemiával</i>	72
5.3. A nyomelemek alkalmazása az ivadéknevelésben	76
5.4. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiájának kidolgozása.....	79
6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	82
7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA.....	84
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	86
9. SUMMARY	89
10. IRODALOMJEGYZÉK	92
11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN.....	105
ÁBRÁK JEGYZÉKE	110
TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE	111
KÉPEK JEGYZÉKE.....	112
NYILATKOZAT	113
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	114

**A BARRAMUNDI (*LATES CALCARIFER*, BLOCH, 1790) ÉS A VÖRÖS
ÁRNYÉKHAL (*SCIAENOPS OCELLATUS*, L. 1766) IVADÉKNEVELÉSI ÉS
TAKARMÁNYOZÁSI TECHNOLÓGIÁNAK FEJLESZTÉSE**

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
az állattenyésztési tudományok tudományágban

Írta: Fehér Milán okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Állattenyésztési tudományok doktori iskolája
(Takarmányozás, halbiológia programja) keretében

Témavezető: Dr. Váradi László Ph.D.

Dr. Stündl László Ph.D.

A doktori szigorlati bizottság:

	név	fokozat
elnök:	Dr. Kovács András	D.Sc.
tagok:	Dr. Nagy Sándor Alex	Ph.D.
	Dr. Rónyai András	Ph.D.

A doktori szigorlat időpontja: 2014. március 5.

Az értekezés bírálói:

név	fokozat	aláírás
Dr. Nagy Sándor Alex	Ph.D.	
Dr. Bercsényi Miklós	Ph.D.	

A bírálóbizottság:

	név	fokozat	aláírás
elnök:			
tagok:			
titkár:			

Az értekezés védésének időpontja: 20.....

1. BEVEZETÉS

A halhús iránti igény világszerte folyamatosan növekszik, amellyel az édesvízi és a tengeri halászat képtelen lépést tartani (Alder et al., 2003). A problémára a megoldást az akvakultúra fejlesztése jelentheti (Chamberlain és Rosenthal, 1995), amelyen belül a recirkulációs elven működő, ezáltal víztakarékosnak tekinthető intenzív haltermelő rendszerek egyre meghatározóbb szerepet kapnak (Blancheton, 2000). Ezekben a modern, víztakarékos rendszerekben egyes halfajok rendkívül magas, akár 40-60 kg/m³-es sűrűségben is termelhetők, a környezetre gyakorolt hatás minimalizálása mellett.

A hazai haltermelésre jellemző, hogy a legnagyobb mennyiségben megtermelt halfajok hazai és nemzetközi piaca évek óta nem bővül. Ennek elsődleges oka, hogy a Magyarországon előállított, hagyományosnak tekinthető ponty, illetve növényevők húsmínősége nem felel meg sem az európai, sem a hazai fogyasztói elvárásoknak. A hazai haltermelés kiugrási lehetősége az ország speciális adottságaiban rejlik, mivel Magyarország egyedülálló geotermikus energia-, illetve termásvíz potenciállal rendelkezik. Ez az adottságunk olyan melegigényes, egyben kiváló húsmínőségű és szátkamentes halfajok előállítását teszi lehetővé, mint a Dél-kelet Ázsiában, illetve Ausztráliában őshonos sügérféle, a barramundi (*Lates calcarifer*), valamint a Mexikói-öböl partvidékéről származó vörös árnyékhal (*Sciaenops ocellatus*).

A meglévő termásvízkészletek közvetett, illetve közvetlen hasznosításával az említett halfajok a víztakarékos recirkulációs haltermelő rendszerekben, hazánkban is magas hatékonysággal nevelhetők. Mindez az igen értékes, egyben jelentős exportpotenciállal rendelkező haltermék előállításán túlmenően a magas sótartalmú felszín alatti vizek haltermelési célú hasznosítása (Volvich és Appelbaum, 2001; Jain et al., 2006; Partridge et al., 2006; Partridge et al., 2008) által hozzájárul a hazai hévízhasznosítás műszaki színvonalának növeléséhez is (Fehér et al., 2012).

A vörös árnyékhalra és a barramundira egyaránt jellemző, hogy a víz sótartalmával szemben tág tűréssel rendelkezik (Neill, 1990; Rasmussen, 1991; Schipp et al., 2007), ugyanakkor a megfelelő oldott-anyag koncentráció és összetétel biztosítása létfontosságú a termelés során, elsősorban életciklusuk kezdeti szakaszában, a lárva- és az ivadéknevelés időszakában. Hazánkban a két halfaj gazdaságos termelésének egyik alapvető tényezője az édesvízben, illetve a különböző sótartalmú termásvizekben történő

nevelés, amely során azonban, a makro- és mikroelem szükségletnek a különböző korosztályok biológiai igényeihez igazodó biztosítása kiemelt jelentőségű.

A természetben mindösszesen 23 olyan elem található, amely legalább egy állatfaj számára esszenciális, ezek közül 7 a makro elemek, míg 16 a mikro elemek csoportjába sorolható. A vízi szervezetek és a halak számára 13 makro és mikro elem tekinthető nélkülözhetetlennek, melyek a különböző típusú testszövetek alkotóiként, illetve enzimek kofaktorai és aktivátoraiként számos élettani folyamatban, köztük az ozmoregulációban játszanak kiemelt szerepet (Davis és Gatlin, 1996).

A halak esetében egyes esszenciális elemek felvétele a kopoltyún keresztül, a vízből történik, ugyanakkor vannak olyan mikro és makro elemek, amelyek esetében a szükségletek optimális kielégítése kizárólag a takarmánnyal való bevitel által valósítható meg (Davis és Gatlin, 1996). Mindezek eredményeként a halak nyomelem-szükségletének kielégítéséhez az optimális beltartalmú, korosztály-specifikus takarmány biztosítása is szükséges.

A különböző nyomelemek igen kis mennyiségben, de nélkülözhetetlenek a normális növekedés szempontjából. A takarmányban lévő mikro elemek felvehetőségét, biológiai hozzáférhetőségét ugyanakkor számos tényező, elsősorban a nyomelem koncentrációja és kémiai formája, illetve a takarmányban és a vízben elforduló, egyéb mikro elemekkel kialakuló kölcsönhatások határozzák meg (Watanabe et al., 1997). Mindezek következtében a különböző, kedvező élettani hatású, esszenciális nyomelemek felhasználási lehetőségeinek vizsgálatakor nemcsak az alkalmazott dózisoknak van szerepe, hanem a halak makro és mikroelem felvétele során az elemek között fellépő szinergizmusokra és antagonizmusokra is kiemelt figyelmet kell fordítani.

A megfelelő mennyiségű és minőségű ivadék előállítása nélkülözhetetlen a két halfaj termelésének hazai meghonosítása érdekében. A legtöbb halfajhoz hasonlóan, a barramundi és a vörös árnyékhal esetében is a legkritikusabb fázis a lárva- és az ivadéknevelés időszaka. A magas táplálóanyag tartalmú élő eleségek előállítása kulcsfontosságú a hallárvák nevelése szempontjából, mivel jelenleg nem állnak rendelkezésre olyan mikro-tápok, amelyek lehetővé tennék teljes kiváltásukat (Sorgeloos et al., 2001).

A tengeri halfajok nevelésének kezdeti szakaszában az általánosan elfogadott takarmányozási protokoll szerint a zsenge hal 21-30 napig kizárólag élő szervezetekkel

táplálkozik (Bosmans et al., 2005), amelyek alkalmazása nélkülözhetetlen az optimális növekedés, a csont-deformációk elkerülése, illetve a megfelelő általános egészségügyi állapotának fenntartása érdekében (Hawkyard et al., 2011; Penglase et al., 2010; Rainuzzo et al., 1997; Riberia et al., 2009). Ugyanakkor a halak természetes környezetében előforduló zooplankton jóval magasabb ásványi anyag-tartalommal rendelkezik, mint a tengeri hallárva nevelése során általánosan alkalmazott, frissen keltetett *Artemia* lárva (Fujita et al., 1972; Watanabe et al., 1978). Így a különböző élő eleségek, ezen belül elsősorban az *Artemia* esszenciális mikroelemekkel történő gazdagítása nélkülözhetetlen annak érdekében, hogy mesterséges körülmények között is megfelelő beltartalmú táplálékszervezeteket biztosítsunk a fiatal egyedek számára (Figueiredo et al., 2009).

Szakirodalmi adatok alapján ugyanakkor az esszenciális mikroelemek alkalmazása nemcsak a lárwanevelés során, hanem a nevelés későbbi szakaszaiban is kedvezően befolyásolja a halak különböző termelési paramétereinek alakulását (Castell et al., 1986; Anadu et al., 1990; Mukherjee és Kaviraj, 2009; Hossein et al., 2008; Lin et al., 2010; Tan et al., 2012; Ma et al., 2014). Habár a kereskedelmi forgalomban kapható keveréktakarmányok tartalmazzák a legfontosabb makro- és mikroelemeket, a mesterséges nevelés során alkalmazott száraz tápok nem minden esetben finomhangoltak a halfajt, illetve az egyes korosztályokat illetően.

1.1. Célkitűzések

A doktori kutatás elsődleges célkitűzése olyan, kedvező biológiai hatású nyomelemek, mint a kobalt, a cink és a mangán alkalmazási lehetőségeinek feltárása a barramundi nevelés korai szakaszaiban, az élő táplálék, valamint a formázott száraz tápok nyomelem kiegészítésén keresztül.

A cink és a mangán alkalmazása viszonylag széles körben elterjedt az akvakultúrában (Lall, 2002; Ovesen et al., 2001; Yamaguchi és Fukagawa, 2005). A kutatók számos halfaj esetében számoltak be kedvező tapasztalatokról a Zn és a Mn kiegészítéssel kapcsolatban (Tan et al., 2012; Ma et al., 2014), emellett kiváló szakirodalmi források (Nguyen et al., 2008) állnak rendelkezésre a két nyomelem különböző tengeri halfajok lárwanevelésében betöltött pozitív hatásait illetően.

Ezzel szemben a kobalt kiegészítésnek a hallárvák termelési paramétereire gyakorolt hatásait, illetve az élő eleséggként általánosan alkalmazott *Artemia* kobalt felvételét tekintve nem állnak rendelkezésre szakirodalmi adatok, holott a nyomelem takarmány kiegészítőként való alkalmazása számos halfaj idősebb korosztályainak esetében javította a növekedési mutatókat (Castell et al., 1986; Mukherjee és Kaviraj, 2009; Hossein et al., 2008; Anadu et al., 1990; Lin et al., 2010).

A barramundi lárvák nyomelem szükségletének meghatározását célzó kísérletekben a szakirodalmi források alapján referenciaként szolgáló mangán és cink mellett a kobalt hatásait vizsgáltam, mivel annak biológiai szerepe és kémiai tulajdonságai nagy hasonlóságot mutatnak a két említett nyomelemmel, ugyanakkor a Co alkalmazása tudományos szempontból jóval kevésbé kutatott terület az akvakultúrában.

A barramundi tekintetében elmondható, hogy a doktori kutatás során a lárva utánpótlás stabil és állandó volt, így a halfajjal kapcsolatos vizsgálatokat tervszerűen hajtottam végre. Ennek következtében az élő táplálék dúsítási technológiájának kidolgozása és az etetési kísérlet megtervezése ütemezetten történhetett. Ezzel szemben a másik célfaj, a vörös árnyékhal esetében az állományok érkezésének rendszertelensége, illetve közvetlenül a szállítást követően fellépő elhullás jelentős mértékben nehezítették az előzetesen tervezett vizsgálatok lebonyolítását.

A vörös árnyékhallal kapcsolatos takarmányozási kísérletek megvalósítása ezért csak azt követően indulhatott el, hogy kidolgozásra került egy olyan technológia, amely alapján a kezdeti elhullás minimalizálása mellett, stabilan nevelhettük fel az állományokat. A rendelkezésre álló irodalmi adatok alapján egyértelművé vált, hogy közvetlenül a szállítást követően a megmaradást elsősorban a víz megfelelő oldott anyag összetétele befolyásolja, ezért a vörös árnyékhal esetében a halfaj szempontjából legfontosabb makro és mikroelemek élettani hatásait nem a takarmány által történő adagolás, hanem a vízből való felvétel alapján vizsgáltuk.

1. A vizsgálatok első lépéseként kidolgoztunk egy direkt és hatékony eljárást a lárvanevelés során nélkülözhetetlen élő táplálék, a frissen keltetett *Artemia naupliusz* említett nyomelemekkel történő dúsítására. A kutatás keretében vizsgáltuk a zooplankton kobalt akkumulációját, különböző Co dózisok alkalmazása mellett, illetve ezt követően megfigyeltük a kobalt, a mangán és a cink együttes adagolása során a zooplankton nyomelem-felvételét jellemző kölcsönhatásokat.

2. A doktori kutatás második szakaszában tanulmányoztuk a különböző dózisú kobalttal, mangánnal és cinkkel önmagukban, illetve elemkombinációban dúsított élő eleség etetésének a barramundi lárvák növekedésére és megmaradására gyakorolt hatását. A kísérlet során kiemelt figyelmet fordítottunk a lárvák egyöntetűségének vizsgálatára, mivel a zsenge állomány szétnövése a fajra jellemző kannibalizmus felerősödéséhez, ezáltal magas elhulláshoz vezethet.

3. Mivel a kobalt, a cink és a mangán nemcsak lárvakorban esszenciális nyomelem, szakirodalmi adatok szerint a száraz keveréktakarmányok nyomelem-dúsítása az ivadéknevelés során is kedvező eredményeket hozhat. Ennek feltárása érdekében elvégeztük a mesterséges tápok kobalt, mangán és cink kiegészítését, és megvizsgáltuk azok növekedésre, takarmányértékesítésre és egyöntetűségere gyakorolt hatását az ivadékok esetében is. A kísérlet során alkalmazott nyomelem dózisokat és kombinációkat a lárvanevelés során kapott eredmények alapján határoztuk meg.

4. Mivel az egyes nyomelemek szervezetbe történő beépülését összetett kölcsönhatások, szinergizmusok és antagonizmusok határozzák meg, a doktori kutatás során a kobalt, a cink és a mangán együttes alkalmazásának hatására fellépő nyomelem-kapcsolatok feltárására szintén kiemelt figyelmet fordítottunk, melyek a zooplankton, valamint a lárvák és az ivadékok tekintetében egyaránt eltérőek.

5. A kutatási téma másik célfaja a vörös árnyékhal, amely a barramundihoz hasonlóan szintén az eurihalin halfajok közé sorolható. A víz ion-összetételét tekintve ugyanakkor jelentős érzékenységet mutat, különösen lárva-és ivadékkorban, illetve közvetlenül a szállítást követően. A doktori kutatás célkitűzései közé tartozott a halfaj számára optimális környezeti feltételek meghatározása és fenntartása, különös tekintettel a víz makro- és mikroelem összetételére.

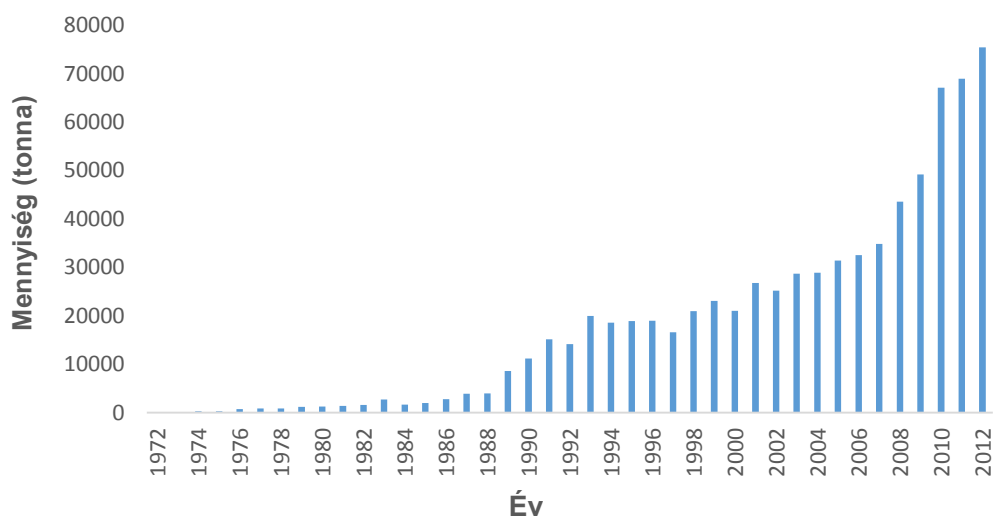
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A barramundi

2.1.1. A barramundi gazdasági jelentősége

A barramundi (*Lates calcarifer*, BLOCH, 1790) a sügéralakúak rendjének tagja, eurihalin, nagytestű ragadozó halfaj (Grey, 1987) (**1. kép**).

Természetes elterjedési területén belül szinte mindenhol tenyésztik, a térség akvakultúra termelésében jelentősége kiemelkedő (MacKinnon, 1989; Rutledge et al., 1990; Phromkunthong, 1997; Rimmel és Russel, 1998; McDougall, 2004; Katersky és Carter, 2005). Termelésének volumene egyenletesen növekszik (Boonyaratpalin és Williams, 2002), napjainkban a világ barramundi termelése meghaladja az évi 80 ezer tonnát (**1. ábra**). Gazdasági jelentőségét jól mutatja, hogy Ázsia és Ausztrália után Észak Amerikában, Izraelben és Európában is megjelentek az első barramundi farmok (Katersky és Carter, 2007).



1. ábra: A világ barramundi termelése (forrás: FAO Fishery Statistic)

A barramundi napjainkban számos országban számít rendkívül keresett, prémium kategóriás halterméknek, ennek megfelelően a friss hal ára mintegy 30%-kal haladva meg az akvakultúra egyik legfontosabb halfajának, a szivárványos pisztrágnak a világpiaci árát (FAO, 2011). A barramundit legnagyobb mennyiségben jelenleg Thaiföld, Indonézia, Malajzia, Tajvan és Ausztrália állítja elő (FAO, 2006-2011). Magyarországon

2009 óta egy haltermelő vállalkozás, illetve számos kutatóhely, így a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centrumának halgazdálkodási kutatócsoportja vesz részt a termelés hazai meghonosításának előkészítésében (Feledi et al., 2011).



1. kép: Kifejlett barramundi (*saját fénykép*)

A barramundi gyors hazai és nemzetközi térhódítása húsminőségén, szálkamentességén, valamint igen kedvező növekedésén túlmenően egyéb, elsősorban technológiai okokra is visszavezethető.

A piaci méretet, amely 350g (adaghal) vagy 3kg (filé) meglehetősen hamar, 6, illetve 12 hónap alatt eléri (Matthew, 2009). A különböző környezeti tényezőkkel szemben ellenálló, emellett kiválóan alkalmazkodik az intenzív termelés technológiai elemeihez, beleértve a magas népesítési sűrűséget és a gyakori válogatást (Schipp et al., 2007). Az ikrás egyedek nagy mennyiségű ikra termelésére képesek, melyek keltetése viszonylag egyszerű, a halfaj nevelése formázott, száraz tápokra alapozható (Matthew, 2009). A víz hőmérsékletével és sótartalmával szemben tág tűréssel rendelkezik (Rasmussen, 1991; Shirgur és Siddiqui, 1998) a 15-40°C-os vízhőmérsékletet egyaránt tolerálja (Katersky és Carter, 2007), ugyanakkor termelése általában 22-35°C között történik (Tucker et al., 2002).

Nevelése sós, félsós és édesvízben egyaránt lehetséges, mindemellett alkalmas a felszín alatti, magas sótartalmú-, illetve termálvizek haltermelési célú hasznosítására is (Volvich és Appelbaum, 2001; Jain et al, 2006; Partridge et al., 2006; Partridge et al., 2008). Ezen tulajdonságának következtében a halfaj termelése hazánk kiemelkedő geotermikus potenciáljára alapozható (Fehér et al., 2012).

2.1.2. A barramundi biológiája

A barramundi eurihalin halfaj, vagyis a víz sótartalmának változásaival szemben viszonylag tág tűrőképességgel rendelkezik (Grant, 1997). Természetes élőhelyén az édes, a sós, illetve a fésós (brakk) vizekben egyaránt megtalálható (Matthew, 2009, Weakley et al., 2012).

Életének első 2-3 évét édesvízben tölti, elsősorban olyan tavakban és folyókban, amelyek összeköttetésben állnak a tengerrel (Matthew, 2009). Ivaréretté 2 és 3 éves kor között válnak, a faj sajátossága, hogy protandrikus hermafrodita (Garrett, 1986; Balston, 2009). A halak tejesként válnak ivaréretté és csak később, egy részük alakul át ikrás egyedé. Természetes környezetben az ivarváltás folyamata igen lassú, akár a 100 cm-es testhossz eléréséig is eltarthat, intenzív körülmények között azonban lényegesen felgyorsul. Ennek oka a kutatók szerint elsősorban a magas energiatartalmú, mesterséges tápok etetése (Schippe et al., 2007).

A barramundi katadróm halfaj, ezért az ivarérett egyedek 3-4 éves korukban a folyótorkolatokon keresztül a tengerekbe vándorolnak, ahol a szaporodás szempontjából a víz sótartalma optimális (30-40 g/l) (Matthew, 2009). Az ívás ideje a földrajzi szélességtől és a tengervíz hőmérsékletétől függően különböző lehet, elsősorban a Hold ciklusaival, valamint az ár-apály jelenséggel áll összefüggésben. Ívása Észak Ausztráliában szeptember és március között történik, a Fülöp-szigeteken június végétől október végéig is eltarthat, míg Thaiföldön időpontját főképp a monszun időszak befolyásolja (FAO, 2006-2011).

A barramundi igen termékeny halfaj, egy ikrás egyed 30-40 millió ikra termelésére képes. Habár a kifejlett barramundi nem érzékeny a víz sótartalmának változásaival szemben, az ikrák és a fiatal lárvák csak sós (22-40 ppt.) vízben képesek a túlélésre. Pelágikus ikrákat a dagály a folyók torkolatvidékére szállítja, ahol a kelést és a lárvafejlődést követően a fiatal ivadék tovább vándorol a folyókon felfelé az édesvíz felé. Az ikrák kelése általában 12-15 órát vesz igénybe, míg a nem táplálkozó lárva szakasz hossza rendszerint 36-40 óra (Matthew, 2009; Schippe et al., 2007).

A kifejlett barramundi ragadozó, étrendjét elsősorban különböző rákok és halak alkotják. A fiatal egyedek ezzel szemben inkább mindenevők, a kisebb ízeltlábúak és halak mellett különböző planktonikus szervezeteket, algákat is fogyasztanak. Az idősebb lárvák és az ivadékok hajlamosak a kannibalizmusra. Mivel a barramundi azokat az élőhelyeket

részesíti előnyben, ahol a víz hőmérséklet nem csökken 20°C alá, növekedése természetes környezetben is igen gyors (Matthew, 2009).

2.1.3. A barramundi tartás- és takarmányozás technológiája

Mint a legtöbb más halfaj esetében, úgy a barramundi termelés során is, a legkritikusabb fázis a lárva nevelés időszaka. Mivel szaporodása tengervízhez kötött, ezért a keltetés és a lárva nevelés mesterséges körülmények között is sós vízben történik (Partridge et al., 2008).

Az első 15 napban a kedvező megmaradás érdekében a víz sótartalmát célszerű 20-28 ppt-n tartani, amely érték a halak növekedésével folyamatosan csökkenthető. A barramundi lárva nevelése során a másik kritikus környezeti tényező a víz hőmérséklete, amely kiemelt jelentőségű a hal növekedése, megmaradása és egészségi állapota szempontjából. A lárva nevelés során az optimális víz hőmérséklet 26 és 28°C közé esik (Barlow et al., 1995), amelynek néhány °C-os csökkenése jelentős elhullást eredményezhet (Boonyaratpalin, 1997). A lárva nevelés rendszerint 3-4 hetet vesz igénybe, amíg a halak el nem érik a 15-20 mm-es testhosszt (Schipp et al., 2007).

A legtöbb ragadozó halfajhoz hasonlóan a barramundira is jellemző az egyedek közötti kannibalizmus. (Arockiaraj és Appelbaum, 2011; Loughnan et al., 2013). A fiatal ivadék gyakran esik áldozatul, amennyiben testtömege nem éri el nagyobb fajtársa méretének 61-67%-át. A kannibalizmus a lárva nevelés végén, a kelést követő 15-20. napon jelentkezik először (Tookwinas, 1989) és a 150 mm-es testhossz eléréséig okoz jelentős károkat, a nagyobb halak esetében már kevésbé jellemző (Qin et al., 2004).

A kannibalizmusból eredő veszteségek visszaszorítása érdekében szükséges az ivadékok folyamatos válogatása. Az első osztályozást célszerű a lárva 12-15 napos korában elvégezni, majd a szétnövés mértékének függvényében 3-5 naponta megismételni (Boonyaratpalin, 1997).

A lárva takarmányozása során kulcsfontosságú szerepe van a különböző élő táplálékok etetésének (*Rotatoria sp.*, *Artemia sp.*). Ezek a természetes táplálékszervezetek a lárva számára könnyebben emészthetők, enzimeik által pedig jótékony hatással vannak a halak emésztésére (Izquierdo és Fernandez-Palacios, 2001, Kolkovski, 2001).

Az általánosan elfogadott takarmányozási protokoll szerint a nevelés során a lárva a táplálkozás megkezdésétől számított 12 napig kerekeshalra, ezt követően 9 napig

Artemiát fogyaszt, majd 21 napot követően válthatunk át száraz tápokra (Bosmans et al., 2005).

Az ivadéknevelés szakasza az egyedek 100-120 mm-es testhosszának eléréséig tart. Ebben az időszakban a barramundi takarmányozása kereskedelmi forgalomban kapható, száraz takarmány-keverékekre alapozható (Schipf et al., 2007).

Az utónevelés a 100 mm-es testhossz elérését követően kezdődik és az elérni kívánt piaci mérettől függően 3 (250 g-os adaghal), illetve 18 (3 kg-os testtömeg a filé számára) hónapot vesz igénybe (Matthew, 2009). A nevelés ezen szakasza a barramundi természetes elterjedési területén belül és a trópusokon történhet tavi, ketreces rendszerben, míg kontinentális éghajlaton, az alacsonyabb vízhőmérséklet okán, zárt recirkulációs rendszerekben (FAO, 2006-2011).

2.2. A vörös árnyékhal

2.2.1. A vörös árnyékhal gazdasági jelentősége

A vörös árnyékhal (**2. kép**) (*Sciaenops ocellatus*) katadróm (Rounsfell, 1975), a sótartalommal szemben tág tűrésű (eurihalin), melegvízi halfaj (Buchet et al., 2000). Természetes elterjedési területe a Karibi térség, a Mexikói-öböl és az Egyesült Államok dél-keleti partvidéke. A korábbi évtizedekben elsősorban horgászhalaként tett szert jelentős népszerűsége (Stunz et al., 2002).



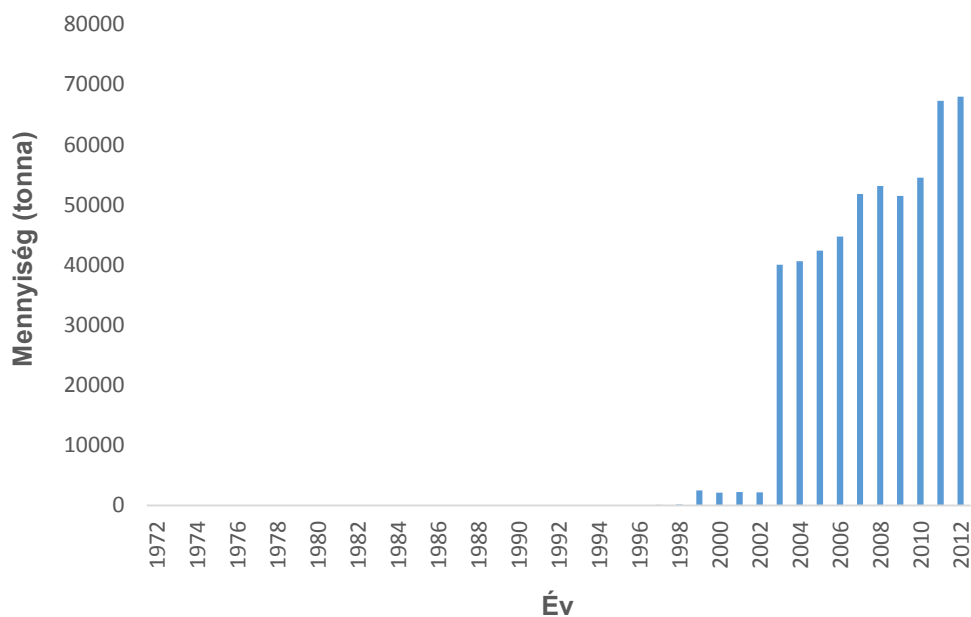
2. kép: Kifejlett vörös árnyékhal (fénykép: Juhász Péter)

Kereskedelmi célú halászata az 1700-as években vette kezdetét, napjainkban azonban mindössze 1-2 tartományra korlátozódik (Matlock, 1990a) Az 1970-es években a túlhalászat és az intenzív horgászat következtében természetes állományainak nagysága jelentős mértékben lecsökkent, melynek következtében 1981-ben Texas állam megtiltotta a halfaj kereskedelmi célú halászatát a Mexikói-öbölben (Matlock, 1990b), emellett számos más államban szigorították a fogásokkal kapcsolatos szabályozást. (Gatlin, 2002). A törvényi korlátozások következményeként az 1980-as években elindultak azok a tudományos törekvések, amelyek célja a halfaj akvakultúrárs termelésének megalapozása által a természetes vörös árnyékhal állományok stabilizációja, visszatelepítése, illetve az étkezési hallal szembeni fogyasztó igények kielégítése volt (Gatlin, 2002).

Az akvakultúrárs termelés központja kezdetben Texas és Florida volt, ahol a repatriációs céllal előállított ivadékot előkészített, földmedrű tavakban nevelték egészen a természetes vizekbe történő kihelyezésig, míg az 1-2 kg-os étkezési hal nevelését tavakban, ketrecekben, illetve átfolyóvizes és recirkulációs rendszerekben végezték. Ezekben a rendszerekben az 1 g-os ivadék optimális környezeti feltételek mellett 10-12 hónap alatt érte el az 1 kg-os testtömeget (Gatlin, 2002).

Bár a halfaj akvakultúrárs termelésének tudományos és technológiai központja napjainkban is a Mexikói-öböl partvidékén fekvő észak-amerikai államok, azonban kiváló húsminőségének és ízének, illetve a termelés technológiai elemeivel szembeni ellenálló-képességének következtében igen hamar elterjedt a kontinensen belül és kívül egyaránt (FAO, 2005-2011).

Napjainkban Kínában, Ecuadorban, Izraelben és Franciaország trópusi, tengerentúli területein is termelik. A világon jelenleg mintegy 70 ezer tonna vörös árnyékhalat állítanak elő, melynek jelentős hányada (kb. 49 ezer tonnát) a kínai akvakultúrából származik (FAO, 2005-2011) (**2. ábra**). A halfaj őshazájában, egyben termelésének korábbi központjában, az USA-ban 2009-ben 1400 tonna vörös árnyékhalat állítottak elő, melynek legnagyobb része visszatelepítésre került a természetes vizekbe (Gatlin, 2002). Ezzel szemben Kínában és Izraelben előállított mennyiség elsősorban étkezési célra kerül értékesítésre, amelynek termelői ára 4-5 USD/kg (FAO, 2005-2011).



2. ábra: A világ vörös árnyékhal termelése (forrás: FAO Fishery Statistic)

A világ vörös árnyékhal termelésének dinamikus növekedéséhez nagymértékben hozzájárul az a tény, hogy az ivadékok és a kifejlett egyedek, a barramundihoz hasonlóan természetes körülmények között az édes, a brakk (félsós) és a sós vízben egyaránt megtalálhatóak, így a termelés során nem igényel tengervíznek megfelelő só-koncentrációt.

Az Amerikai Egyesült Államokban ezt kihasználva a hagyományos tengeri akvakultúra mellett a szárazföldi, belső területeken is megkezdtek a halfaj termelését, elsősorban azokon a vidékeken, ahol elegendő mennyiségű felszíni és felszín alatti sós víz áll rendelkezésre. A termeléstechológia adaptációja a szárazföld belsejében történő nevelés előmozdítása érdekében jelenleg is folyamatban van (Davis, 1990). A vörös árnyékhal tág só-tűrése, az elsősorban az USA-ban és Izraelben kialakított, sós felszíni és felszín alatti vízkészletekre támaszkodó termeléstechológiának köszönhetően, a halfajt alkalmassá teszi a hazai akvakultúrában történő meghonosításra, a nevelést édesvízre, illetve félsós termálvízre alapozva.

2.2.2. A vörös árnyékhal biológiája

A vörös árnyékhal angol nevét (Red drum) annak a speciális, fajra jellemző, a hímek által kiadott hanghatásnak köszönheti, amellyel a tejes halak az ikrás egyedeket ívársra készítetik (Davis, 1990). A vörös árnyékhal élelciklusa a tengerek part menti régiójához kötődik. Természetes körülmények között augusztus és január között szaporodik a part menti vizekben (Rooker-Holt, 1997), ugyanakkor az ívás leggyakrabban szeptemberben, illetve októberben történik (Matlock, 1990a).

Az ívás pontos helyét a kutatóknak napjainkra sem sikerült minden kétséget kizáróan meghatározniuk, ugyanakkor Davis (1990) megjegyzi, hogy a zsenge lárvák jelenlétét mindezidáig sem közvetlenül a tengeröblökben, sem pedig azoktól 12 km-es távolságon túl nem mutatták ki a tudományos célú vizsgálatok. Mindez azt feltételezi, hogy az ívás elsősorban a tengeröblök és a Mexikói-öböl nyílt vízterületeinek találkozásánál történik. Ebből a régióból az ikrákat és a frissen kelt lárvákat az áramlat a folyók torkolatvidékére szállítja, ahol azok a vízi növényzethez tapadva töltik életük első szakaszát (Peters-McMichael, 1987).

A vörös árnyékhal ikrája pelágikus, melyek átmérője 1,0 mm. Egy kifejlett ikrás egyed akár több, mint 1 millió ikra termelésére is képes. A kelési idő elsősorban a víz hőmérséklettől függ, ugyanakkor a folyamat rendszerint 18-25 óra alatt játszódik le (Davis, 1990). A frissen kelt lárvák számára az optimális sótartalom 15-35‰ (Holt et al., 1981, Holt-Banks, 1988). Habár a lárvák mintegy 95%-os elhullását tapasztalták 4 napos, édesvízben való nevelés esetén (Crocker et al., 1981), a halak a 3 mm-es testhossz elérését követően már a 10‰ alatti sókoncentrációjú vizet is elviselik (FAO 2005-2011).

Az egyedeknek a víz só-tartalmával szembeni ellenálló képessége a korról párhuzamosan, folyamatosan nő (Davis, 1990) A természetben a frissen kelt lárvák a sótartalom mellett a víz hőmérsékletre is különösen érzékenyek, azokban az években, amelyekben az őszi lehűlés korábban érte el a Mexikói-öböl partvidékét, a kutatók jelentős lárvakori elhullásról számoltak be (Davis, 1990). A zsenge lárvák szikzacskó felszívódása után, a kelést követő 4-5 napon kezdenek el külső táplálékot felvenni, étrendjüket ebben a fejlődési stádiumban különböző zooplankton fajok alkotják (Matlock, 1990a).

Az ivadékok kedvelt előfordulási területei a folyótorkolatok sekély, sűrű vízi növényzettel borított szakaszai, ahol főként a növényzet és a nyílt vízterületek határán tartózkodnak (Davis, 1990). Az ivadékok fenéklakó, vízi gerinctelen szervezetekkel és

kisebb halakkal táplálkoznak, 60-100 mm-es testhossz mellett főképp bolharákokat, míg 100 mm felett étrendjükben a gyomortartalom vizsgálatok alapján már a magasabb rendű ízeltlábúak, tarisznyarákok és halak dominálnak (Matlock, 1990a). Az ivadékok és a kifejlett, de még nem ivarérett egyedek 3,5-5 éves korukig a folyók torkolatvidékén, illetve a felsős öblökben maradnak, ahol mozgásukat elsősorban a só-koncentrációban és a vízhőmérsékletben beállt változások befolyásolják.

Az ivarérettség elérését követően, amely általában 3, de akár 6 évig is eltarthat (Davis, 1990), a szaporodás céljából a tengerekbe vándorolnak (FAO 2005-2011). A kifejlett vörös árnyékhal ragadozó, legfőbb táplálékait a halak és rákok képezik (FWCC, 2009). Az ivarérett egyedek elsősorban a mederfenék közelében vadásznak, az ikrás és tejes halak táplálék preferenciája között nem mutattak ki eltérést (Davis, 1990).

2.2.3. A vörös árnyékhal tartás- és takarmányozástechnológiája

A vörös árnyékhal nagy mennyiségű ikra termelésére képes, indukált szaporítása megoldottnak tekinthető. Az anyahalak jól alkalmazkodnak a mesterséges körülményekhez, a tenyészállomány megfelelő felkészítése után a hőmérséklet szabályozásával lényegében egész éven át sikeresen szaporítható.

Mesterséges körülmények között az ívás a vízhőmérséklet (17-23°C) és a nappalhossz (9 óra) változtatásával indukálható, amellyel a természetes, szeptember-októberi vízhőmérsékletet és fényviszonyokat alakítanak ki. Az ívás megindulása 23°C-os vízhőmérséklet felett következik be (FAO 2005-2011).

A lárvák megfelelő vízhőmérséklet esetén 18-25 óra alatt kelnek ki. A keléshez és a lárvaneveléshez szükséges optimális hőmérséklet 25-30°C, míg a só-koncentráció 25-30‰ között változhat. Habár az idősebb lárva tűrőképessége már valamivel tágabb határok között mozog, a fiatal egyedek megmaradása ebben a korai fejlődési szakaszban mindössze 50%-os.

A vörös árnyékhal lárvája általában a kelés után 3 nappal kezd táplálkozni, a lárvanevelés rendszerint recirkulációs rendszerben történik. A fiatal halat kezdetben keresekéférgekkel etetik, majd a 11-15 nap között képessé válik a nagyobb méretű *Artemia* fogyasztására. A keléstől számított második hetet követően a kereskedelmi forgalomban kapható mikrotápok emésztése sem jelent problémát a lárva számára, ugyanakkor kedvező egy átszoktatási periódust beiktatni a technológiába, amely során az élő táplálékot, illetve a

növekvő szemcseméretű mesterséges takarmányt párhuzamosan adagolják (FAO 2005-2011).

A vörös árnyékhal lárvanevelése rendszerint kevesebb, mint 1 hónapig tart, amíg a fiatal halak elérik az ivadék méretet. Ezt követően a hagyományos termelés technológia szerint az ivadékok kisméretű tavakba, illetve hálóketrecekbe kerülnek. A halfaj természetes elterjedési területein, elsősorban az USA-ban a tavi nevelés gyakorlata az utóbbi évtizedekben háttérbe szorult, mivel a téli időszak során az alacsony hőmérséklet jelentős elhullást eredményez a fiatal állományokban. Ennek megfelelően napjainkban a halakat a lárvanevelést követően is zárt, kontrollált körülmények között nevelik, majd jóval később, megközelítően 150-225 g-os testtömeg mellett helyezik ki a földmedrű tavakba (FAO, 2005-2011).

A barramundihoz hasonlóan a vörös árnyékhalra is erős kannibalizmus jellemző, ezért a számottevő veszteségek elkerülése érdekében szükséges a fiatal állományok folyamatos méret szerinti osztályozása és válogatása. A lárvanevelést követően a halfaj takarmányozása formázott, száraz keverék takarmányokra alapozható. Az ismertetett technológiában az 1 kg-os piaci méret elérése rendszerint 11 hónapot vesz igénybe. Az USA-val ellentétben, a legnagyobb mennyiségű vörös árnyékhalat termelő Kínában a halfaj nevelése elsősorban hálóketrecekben történik, az étkezési hal előállítására 12 hónapig tart (FAO 2005-2011).

Habár a vörös árnyékhal a víz számos fizikai és kémiai paraméterével szemben érzékenyebb, mint a hasonló technológiában nevelt barramundi, figyelemreméltó, hogy előbbi a magas ammónia- és nitrit-koncentrációt (NH_4^+ , NO_2^-) lényegesen jobban tolerálja. Míg a barramundi számára a víz kritikus NH_4^+ tartalma 0,02 mg/l (Rimmer, 1995; Schipp, 1996), addig a vörös árnyékhal esetében a tűréshatár jóval magasabb.

Az ivadékok nitrit-érzékenységét vizsgálva megállapították, hogy a letális NO_2^- tartalom 85,7 mg/l (tengervízben, 35 g/l) és 2,8 mg/l (édesvízben, 0,6 g/l) között van (Wise és Tomasso, 1989). Holt és Arnold (1983) kísérletükben a vörös árnyékhal ikra, lárva és ivadék esetében egyaránt vizsgálták a nitrit- és ammónia-toxicitás mértékét. Megállapították, hogy a lárvanevelés első 2 hetében a 0,3 mg/l-es NH_4^+ koncentráció is szignifikánsan csökkenti a megmaradást, míg a 3 hetes lárvák már a 0,6 mg/l-es koncentrációt is képesek tolerálni. A szerzők szerint a lárvanevelés során elsősorban a víz

ammónia koncentrációja kritikus, mivel a vizsgálatuk során az árnyékhalak megmaradását még az igen magas, 100 mg/l-es a nitrit-koncentráció sem befolyásolta.

2.2.4. A vörös árnyékhal igényei a víz ionösszetételével szemben

A vörös árnyékhal tág tűréshatárral rendelkezik a víz nitrit és ammónia-koncentrációjával szemben, ugyanakkor a víz ionösszetétele, különösen a vízben oldott ionok egymáshoz viszonyított aránya tekintetében jóval nagyobb érzékenységet mutat, mint a hasonló technológiában nevelt barramundi. A halfaj biológiai szükségletéhez igazodó ionösszetétel elsősorban a lárva- és az ivadéknevelés során kiemelt jelentőségű.

Az eurihalin halfajokon belül 3 fő csoportot különböztethetünk meg; valódi eurihalin, katadróm és anadróm fajokat. A vörös árnyékhal a valódi eurihalin kategóriába sorolható, melyre jellemző, hogy az édes- és tengervízben egyaránt megtalálható, a víz összes oldott-anyag tartalmával (TDS) szemben tág tűréssel rendelkezik (Wurts, 1987a).

A valódi eurihalin halfajok, köztük a vörös árnyékhal esetében a felsős torkolatvidékek változatos sótartalma különösen fontos. Míg a tengervízben az ionok többé-kevésbé állandó arányban vannak jelen, azok abszolút koncentrációja a hígulás és a párolgás következtében változhat. Ezzel szemben az édesvizek ion-aránya és koncentrációja egyaránt tág határok között változik. A halak azonban képesek a vérplazma és a szövetek ion-koncentrációjának viszonylag állandó szinten való fenntartására (Holmes és Donaldson, 1969).

Az ozmoreguláció lényege, hogy a szervezet állandó belső ion-koncentrációt tart fenn, a külső környezet ion-koncentrációjától függetlenül, vagyis részt vesz a homeosztázis kialakulásában. A halak a só-tűrésük alsó, illetve felső határán elveszthetik ezen képességüket, amely rövidtávon is a plazma ozmolaritásának változásához, majd stresszhez, illetve az állat pusztulásához vezet. A víz só-tartalma ugyanakkor eltérő hatással van az édesvízi és a tengeri halakra. Az édesvízi halak esetében a belső ion-koncentráció magasabb, mint a külső környezeté, míg a tengeri halaknál mindennek a fordítottja igaz (Wurts, 1987a).

Az eurihalin halfajok esetében az ionok áramlása történhet a külső környezetből a hal szervezetébe és fordítva, elsősorban a bőrön és a kopolyún keresztül. Az ozmoreguláció során az ionok minden esetben a magas koncentráció felől az alacsony koncentráció irányába diffundálnak mindaddig, amíg a koncentrációkülönbség ki nem egyenlítődik.

Ennek eredményeként a tengeri halak folyamatosan isznak vizet, amellyel a szervezetükbe ionokat és sókat juttatnak, míg az ozmotikus víz a kopolytún és a bőrön keresztül állandóan távozik a testükből. Az édesvízi halak ezzel szemben nem isznak vizet és a különböző ionokat a táplálékon keresztül veszik fel, illetve a víz, szintén a kopolytún és a bőrön át, folyamatosan jut be a testükbe. Mindennek hatására a tengeri halak vizelete koncentrált a különböző ionok tekintetében, míg az édesvízi halak nagyrészt vizet ürítenek, amely ionokban szegény.

A természetes környezetben a kifejlett árnyékhalak elsősorban a 20 és 40 g/l-es tengervízben fordulnak elő, ugyanakkor az ivadékok főként a tengeröblök édesebb vizű részein található meg. Az ikrák keléséhez és a zsenge lárvák szempontjából optimális só-koncentráció 25 g/l felett van, azonban Neil (1990) szerint a 4 cm-es testhosszt elérő ivadékok az édesvízbe történő, közvetlen áthelyezést is elviselik. Vizsgálatok szerint a vörös árnyékhalak számára 1-10 cm-es testhossz között az 5-10 g/l-es sós víz tekinthető optimálisnak, míg a testtömeg növekedésével feltehetően a sótartalmat is célszerű folyamatosan emelni. Mindez elsősorban az ozmoreguláció működtetésével áll összefüggésben, mivel annak fenntartása a legkevesebb energiát 20 ppt körül igényli. Ugyanakkor a szerző megjegyzi, hogy a vérplazma 11 ppt töménységű tengervízzel izozmotikus, vagyis azonos ozmózisnyomással rendelkezik.

Kísérletek azt mutatták, hogy az árnyékhal 1 ppt só-koncentrációjú vízben is sikerrel nevelhető, amennyiben az megfelelő vízkeménységgel (100 ppm kalcium és 150 ppm klorid) rendelkezik (Neil, 1990). A vörös árnyékhalak édesvízben való kedvező megmaradását nagymértékben befolyásolja a vízkeménység. A víz keménységét a kalcium, klorid és magnézium ionok adják, vagyis ezen ionok legalább egyikének jelenléte létfontosságú az áthelyezhetőség sikere szempontjából. Crocker et al. (1983) megfigyelték, hogy az árnyékhal sós vízből édes vízbe történő áthelyezése a vérplazma ozmolaritásának csökkenését eredményezi, amelyet azonban Ca hozzáadásával sikerült elkerülni. Miranda és Sonsky (1984) szerint a sikeres nevelés feltétele az édesvíz megfelelő klorid koncentrációja (130 mg/l felett).

Wurts és Stickney (1989) kísérletükben a víz Ca-, illetve Mg-tartalmának hatását vizsgálták a vörös árnyékhal ivadékok esetében. Két kezelést alakítottak ki édesvízzel, valamint további 2 kezelést tengervízzel, amelyekben különböző Ca- és Mg-koncentrációkat állítottak be. Megállapították, hogy a kalcium szignifikánsan befolyásolja az ivadékok megmaradását tenger- és édesvízben egyaránt, ugyanakkor a

magnézium nem volt hatással a kallódásra. A tengervízben folytatott kísérletek során a 176 mg/l-nél alacsonyabb Ca koncentrációk 96 órán belül az ivadékok 100%-os pusztulását eredményezték, míg a legjobb eredményt 340-465 mg/l-es Ca tartalom mellett érték el. Édesvízben 1,7 mg/l-esnél kisebb Ca koncentráció esetén az állomány megmaradása 96 órát követően 0-33% volt. 9 és 407 mg/l-es Ca-szint mellett az egyes kezelések növekedése és megmaradása tekintetében nem mutatkozott szignifikáns különbség. A szerzők szerint édesvízben a Ca tartalom ne legyen kevesebb, mint 25 mg/l, míg az optimális tartomány 50-100 mg/l. Tengervízben (33-35 ppt) a szükséges Ca koncentráció minimum 340 mg/l, ugyanakkor az optimális szint 400 mg/l. A 9 és 35 g/l közötti sós vizek esetében ajánlatos a Ca : Na arány 0,038 : 1-re történő beállítása, míg a 9 ppt alatti vizekre az édesvízre megadott paraméterek vonatkoznak.

Az édesvízben végzett kísérlet során a megmaradás tekintetében a legjobb eredményt az 5 g/l-es sótartalommal rendelkező kontroll kezelés esetében érték el. Ennek Mg-tartalma 192 mg/l, míg Ca tartalma 59 mg/l volt. Az 5 ppt-re hígított tengervíz Na-tartalma 1526 mg/l, kálium-tartalma 57 mg/l, kalcium-tartalma pedig 59 mg/l volt.

A gerinces állatok esetében a sejtközötti tér folyadékának Na-tartalma 3265 mg/l, kálium-tartalma 195 mg/l, míg kalcium-tartalma 100 mg/l. Mivel az extracelluláris folyadék az említett ionok esetében magasabb koncentrációval rendelkezik, az 5 g/l-res töménységű sós víz bőséges külső tartalékot szolgáltat a felsorolt ionokból a halak aktív ion-felvétele és/vagy cseréje szempontjából.

A külső környezetben az ionok viszonylagosan magas koncentrációja csökkenti a diffúziós gradienst, amelynek eredményeként megindul az extracelluláris tér folyadékából az ionok kivándorlása (efflux). Amennyiben azonban a víz ionkoncentrációja alacsonyabb, mint a sejtközötti térben, illetve a kettőt elválasztja egymástól a szemipermeábilis sejthártya, az ozmózis hatására a víz képes beáramlani az extracelluláris tér folyadékába. Mindez megteremti a sejtközötti folyadék feltöltésének lehetőségét, amely előnyös a halakat a kezelés során érő stressz hatás következményeként fellépő lassult keringés, illetve a szív- és érrendszeri problémák megelőzése szempontjából (Guyton, 1971).

Robertson et al. (1988) a vörös árnyékhalat szállítás közben érő stressz hatásának vizsgálatát a vérplazma kortizol- és glükóz-koncentrációja alapján értékelték. Kísérletükben kimutatták, hogy az ivadékok vérének kortizol és a glükóz koncentrációja

gyors és erőteljes emelkedést mutatva, a megfogás és pakolás során 15-30 percen belül elérték maximális értékeiket. Ez a koncentráció növekedés azonban átmenetinek bizonyult és a plazma kortizol szintje az 5 és fél órás szállítás ideje alatt fokozatosan visszaállt az eredeti tartományba. Mindezek alapján a szerzők megállapították, hogy a vörös árnyékhal számára a szállítás során a legkritikusabb szakasz a megfogás és a szállító egységekbe történő elhelyezés időszakához kapcsolódik. A halak által elszenvedett, kezdeti trauma ellenére kedvező, 95-100%-os megmaradást értek el mind tengervízben (32‰), mind alacsony sótartalmú (4‰) szállítóvízben.

Az USA-ban végzett tavi kísérletek azt bizonyították, hogy kisebb testtömeggel rendelkező (4-6 g) árnyékhalak lassú növekedést és magas elhullást mutattak édesvízben, míg ugyanebben a környezetben a nagyobb egyedek (35-45 g) kedvező növekedést produkáltak (Wurts, 1987b). Ennek oka, hogy a kisebb halak a méretükből adódóan nagyobb ozmotikus stressznek vannak kitéve, emellett a homeosztázisuk fenntartása is nagyobb energiát igényel (Stickney, 1979). Mindezek alapján elmondható, hogy a szállításkor fellépő stressz okozta elhullás mértéke nagyban függ a halak méretétől is.

A halak mérete mellett a szállítást követő megmaradást a szállítás hossza is befolyásolja. Soletchnik et al. (1989) leírja, hogy míg a 12 órás szállítási időt követően a lárvák megmaradása elérte a 95%-ot, addig mindez az érték 19 órás szállítási idő esetében alig érte el a 60%-ot. Caldwell és Tomasso (1985) 0,2 és 0,8 g közötti testtömeggel rendelkező ivadékok esetében vizsgálták a szállítással összefüggő stressz hatásokat. Kutatásukban megállapították, hogy a szállítás 9. óráját követően az elhullás meghaladta az 53%-ot.

A stresszel kapcsolatban Tomasso és Carmichael (1988) megjegyzi, hogy habár az ivadékok jól viselik az 5 órás szállítást, az azt követő 10 napban a 12-51%-os elhullás általánosnak tekinthető. Robertson et al. (1988) pedig a vérplazma másodlagos kortizol szint csúcsáról, egyben a plazma ozmolaritásának csökkenéséről számol be a 4 g/l-es szállítóvíz esetében. A leírt jelenség a szállítást követő 7.-dik és 14.-dik napon következett be, feltehetően a betelepítéssel járó stressz és az ebben a szakaszban elfogyasztott kevés tápláléknak köszönhetően. A második kortizol csúcs időszakában a halak glükóz szintje a kontroll szinthez képest alacsonyabbnak bizonyult, illetve a máj glikogán-tartalma is további csökkenést mutatott. Mindez hiperglikémiára utal, amely további elhullást eredményezhet a frissen telepített állományokban.

2.3. Esszenciális nyomelemek lárva- és ivadéknevelésben betöltött szerepe

2.3.1. A kobalt

Habár a különböző, esszenciális nyomelemek biológiai rendszerekben betöltött szerepe jól ismert az állattenyésztésben, a halak esetében a legtöbb kutatás mindössze néhány fontosabb mikroelem, mint a vas, a réz vagy a szelén vizsgálatára terjed ki (Watanabe et al., 1997). Ugyanakkor az egyéb, kevésbé kutatott nyomelemek, igen kis mennyiségük ellenére is, szintén alapvető komponensei a haltakarmányoknak, legyen az akár olyan élő táplálék, mint a különböző zooplankton fajok, vagy a formázott száraz tápok.

A kobalt (Co) a természetesen vizekben előforduló mikroelem, amely igen kis mennyiségben ugyan, a gerincesek számos életfolyamatában játszik nélkülözhetetlen szerepet (Watanabe et al., 1997). A Co részt vesz a B₁₂-vitamin (kobalamin) szintézisében, molekuláris tömegének mintegy 4,5%-t alkotva. Mint a B₁₂-vitamin legfontosabb alkotórésze, szerepet játszik a nitrogén-asszimilációban, a hemoglobin és az izomfehérjék szintézisében (Watanabe et al., 1997), illetve nélkülözhetetlen a vörösvérsejtek képződése, a zsírsav anyagcsere és az ivarérettség kialakulása szempontjából (Kashiwada et al., 1970; Steffens, 1989).

A Co mindemellett számos enzim kofaktora, beleértve a dehidrázt, a dehidrogenázt és transzferázt (Banerjee és Ragsdale, 2003). A kobalt egy bizonyos koncentráció felett ugyanakkor igen toxikus a különböző vízi szervezetek, köztük a halak számára (Gál, 2008). Birge és mtsai (1980) a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) esetében 490 µg/l-es LC₅₀ értéket állapítottak meg a Co toxicitás tekintetében, ugyanakkor a nyomelem mérgezőképessége más fémekkel összevetve alacsonynak mondható (Marr et al., 1998).

A kobalt felvétel történhet a kopoltyún keresztül a halakat körülvevő vízből, illetve a természetes, vagy mesterséges takarmányból. Phillips és mtsai (1960) mindkét módját vizsgálták különböző pisztráng fajok kobalt akkumulációjának, amelyek során megállapították, hogy a vízből felvehető nyomelem mennyisége a víz hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan nő, ugyanakkor a vízben található kalcium-ionok hatására csökken. A takarmányból felszívódó kobalt, vizsgálataik szerint, kezdetben visszatartásra kerül a halak emésztő traktusában.

A különböző halfajok kobalt-szükségletét munkájukban Watanabe és mtsai. (1997) foglalták össze. A szerzők szerint a Co-kiegészítés során alkalmazandó kémiai forma a

kobalt-klorid, míg a különböző halfajok nyomelem-szükséglete 0,05-1 mg 1 kg takarmány esetén. A száraz keverék-takarmányok előállításánál használt alapanyagok kobalt-tartalma igen változékony (Steffens, 1989)

Habár a kobalt esszenciális a halak számára (Davis and Gatlin, 1991), a takarmányozásban betöltött szerepét illetően jóval kevesebb szakirodalom áll rendelkezésre, mint a cink, vagy a réz esetében (Blust, 2011). A legtöbb kutatás elsősorban a vízi szervezetekre gyakorolt toxikus hatásainak megállapítására (Majmudar and Burlison, 2006; Marr et al., 1998; Montgomery et al., 1997), valamint jelentős környezeti vonatkozásai okán, radioaktív formájára (^{60}Co) helyezte a hangsúlyt (Baudin et al., 1997; Bird et al., 1998; Baudin et al., 2000).

A kobalt stabil formáját illetően kevesebb irodalmi forrás áll rendelkezésre, kutatók megállapították, hogy a halak bélflórája a Co-kiegészítés hatására kobalamint állít elő. Amennyiben tehát az alapvető takarmányok megfelelő Co koncentrációval rendelkeznek, a különböző halfajok kobalamin szükségletének kielégítéséhez ezáltal a normális növekedés biztosításához, nem szükséges a B₁₂-vitamin adagolása (Lin et al., 2010).

Mivel a kobalt haltakarmányozásban betöltött szerepe, illetve a különböző halfajok nyomelem-szükséglete kevésbé ismert, a halak Co felvétele, illetve a más, szintén esszenciális nyomelemekkel való kölcsönhatásai alig ismertek.

Emlősökkel, illetve a szivárványos pisztrággal (*Oncorhynchus mykiss*) végzett kísérletek ugyanakkor bizonyítják, hogy a kobalt más ionokkal versenyez a fehérjék aktív kötéshelyeiért (Richards és Playle, 1998; Kwong és Niyogi, 2003). Amanat alp és mtsai (2007) megállapították, hogy a sebes pisztráng esetében a kobalt kiszorítja a vas ionokat az oxigén-szállítási feladatokat ellátó metalloproteinek hem-csoportjából, ezáltal a halfaj szükségleteit meghaladó nyomelem-felvétel a szervezetben hemoglobin szintjének jelentős csökkenését eredményezi.

Kompetitív jellegű antagonizmus a kobalt és a kalcium tekintetében szintén megfigyelhető, a kopoltyún keresztül történő nyomelem-felvétel során a Co blokkolja a Ca csatornákat, így hatással van azok szabályozására (Comhaire et al., 1994 és 1997). A kobalt kiegészítés cink és mangán felvételre gyakorolt kölcsönhatásait mindeztáig nem vizsgálták, sem az élő táplálékok, sem a száraz keveréktakarmányok nyomelem-dúsítása során.

2.3.2. A mangán és a cink

A kobalttal ellentétben a cink és a mangán gyakran alkalmazott mikroelemek a haltakarmányozásban (Lall, 2002; Ovesen et al., 2001; Yamaguchi és Fukagawa, 2005). Mindkét nyomelem nélkülözhetetlen az optimális növekedés és csontképződés szempontjából, illetve számos élettani folyamatban játszanak fontos szerepet (Nguyen et al., 2008).

A mangán kis mennyiségben ugyan, de nélkülözhetetlen a halak számára. Létfontosságú a normális agyműködés, illetve a zsír és szénhidrát anyagcsere szempontjából. A Mn biológiai funkciója kettős; számos enzim kofaktora (fém-enzim komplexek), illetve a metalloenzimek alkotója, mindemellett fontos specifikus (glikoziltranszferáz) és nem specifikus enzimek aktivátora (kináz, transzferáz, hidroláz és dekarboxiláz) (Watanabe et al, 1997).

Watanabe és mtsai. (1997) összefoglaló munkájukban a rendelkezésre álló irodalmi adatok és a különböző halfajok mangán-szükséglete alapján a száraz takarmányok esetében 2-20 mg/kg nyomelem-kiegészítést javasolnak a normális növekedés elérése érdekében. A halak esetében a mangán hiánya csökkent és törpenövekedést, illetve magasabb elhullást eredményez, emellett sok esetben a takarmányfelvétel visszaesését idézi elő (Ogino és Yang, 1980). Az elégtelen Mn- akkumuláció emellett csontképződési zavarokat, rossz kelési százalékot és magas embrió elhullást is okozhat (National Research Council, 1993)

A cink szintén létfontosságú, egyben a haltakarmányozásban gyakran alkalmazott nyomelem. Valamennyi állatfaj esetében nélkülözhetetlen a normális növekedés, fejlődés, valamint a szervezet általános működése szempontjából (National Research Council, 1980). Különböző enzimek kofaktora, illetve megközelítően 20 metalloenzim alkotója, beleértve a foszfatázt, dehidrogenázt és a dehidrázt. A mikroelem felvétele egyaránt történhet a vízből és a takarmányból, a kopoltyún, illetve az emésztőtraktuson keresztül. Amennyiben a halakat körülvevő víz Zn-koncentrációja az 1 mg/l-es érték alá csökken, a halak elhullásával számolhatunk (Watanabe et al., 1997).

Watanabe és mtsai. (1997) a különböző halfajok cink szükségletének kielégítése érdekében 15-40 mg/kg nyomelem-tartalmat javasolnak a száraz tápokban. A gyakorlatban széles körben alkalmazott haltakarmányok alapanyagai viszonylag jelentős mennyiségben tartalmazzák cinket, ugyanakkor a száraz tápok további Zn-kiegészítése

sok esetben lehet szükséges (Watanabe et al., 1988). A keverék-takarmányok legfontosabb összetevőjében, a hallisztben található kalcium-foszfát és fitát ugyanis nagymértékben rontja a cink biológiai felvehetőségét, így a különböző halfajok Zn-szükségletének biztosítása érdekében az igényeket meghaladó mennyiségű, akár 100-150 mg/kg nyomelem adagolása javasolt (Davis és Gatlin, 1996).

2.3.4. A kobalt, a mangán és a cink szerepe a haltakarmányozásban

A cink és a mangán valamennyi szervezet számára esszenciális, mindkét fém nagy jelentőségű a csontképződés szempontjából (Nguyen et al., 2008), ugyanakkor Divanach et al., (1996) szerint a tengeri hallárvák nevelése során a különböző csont-deformációk kialakulása az egyik legfőbb problémának számít. Habár a Zn és a Mn nélkülözhetetlen a lárvák számára, az említett nyomelemekből bevitt mennyiség sok esetben nem fedezi a fiatal egyedek igényeit. A frissen keltetett *Artemia* ugyanis jóval kisebb cink-tartalommal rendelkezik, mint a természetben élő zooplankton (Watanabe et al., 1978). Davis és Gatlin (1996) pedig megjegyzi, a takarmányból történő Mn bevitel különösen tengeri halak esetében nagy jelentőségű, mivel a tengervíz mangán-tartalma igen csekély.

A barramundi lárvanevelése során alkalmazott általános takarmányozási protokoll szerint a fiatal halakat mindösszesen 21 napig kizárólag élő eleségekkel etetik (Bosmans et al., 2005). A lárva első tápláléka a *Rotatoria*, majd a 12 napos, kerekesefféreggel történő takarmányozást követően a barramundi további 9 napig *Artemiát* fogyaszt. Mint azt Sorgeloos et al. (2001) is megjegyzi, jelenleg nem állnak rendelkezésre olyan mesterséges mikro-tápok, amelyek lehetővé tennék az *Artemia* teljes kiváltását, a sórák nélkülözhetetlen táplálék a lárvanevelés során.

Az *Artemia*-val történő takarmányozás során az egyik legfontosabb szempont, hogy azt frissen keltetve etessük fel a lárvákkal. A frissen kelt *Artemia* lárva ugyanis nem táplálkozik, ebben az első fejlődési szakaszban a saját tartalék-tápanyagait hasznosítja (Benijts et al., 1976), amely később fokozatosan csökken. A második fejlődési stádiumban az *Artemia* szabad aminosav, szárazanyag és energia tartalma számottevő mértékben csökken, vagyis a lárva számára nehezebben emészthető (Sorgeloos et al., 2001). Az említett, 1-2 nap alatt lejátszódó beltartalom változás miatt, az *Artemia* hatékony gazdagítása érdekében a gyakorlatban 24 órás dúsítási periódust alkalmaznak (Sorgeloos et al., 2001).

Nguyen et al. (2008) sikeresen dúsították az *Artemia*-t cinkkel és mangánnal, majd a beltartalmában gazdagított *Artemia* etetésével kedvező eredményeket értek el a vörös tengeri keszeg (*Pagrus major*) lárva nevelése során. Az élő táplálék mangán kiegészítése javította a lárvák növekedését, míg a mangán és a cink együttes adagolása pozitív hatással volt a különböző csont-deformációk kialakulására.

Az élő táplálék (*Brachionus plicatilis*) nyomelem-kiegészítése ugyanakkor, beleértve a cinket és a mangánt is, nem befolyásolta az atlanti tökehal (*Gadus morhua*) növekedési mutatóit és megmaradását (Penglase et al., 2013). A két nyomelem alkalmazása nem csupán a lárvanevelés során, a különböző méretű zooplankton szervezetek dúsítása által, hanem a száraz tápokhoz adagolva is általánosan elterjedt az akvakultúrában.

A formázott takarmány Mn kiegészítése kedvezőbb testtömeg-gyarapodást eredményezett a sárga harcsa (*Pelteobagrus fulvidraco*) ivadékok nevelése során (Tan et al., 2012), míg a nagy rombuszhal (*Scophthalmus maximus*) esetében a táp szerves és szervetlen kémiai formában történő Zn dúsítása a növekedési mutatókat és a takarmányértékesítést egyaránt javította (Ma et al., 2014).

Habár az élő táplálékszervezetek kobalttal történő dúsítását illetően mindezidáig szakirodalmi adatok nem álltak rendelkezésre, ezáltal lárva nevelésben betöltött szerepe nem ismert, formázott, mesterséges takarmány kobalttal történő dúsításával kedvező eredményeket értek el a ponty (*Cyprinus carpio*) (Castell et al., 1986; Mukherjee és Kaviraj, 2009) és a szivárványos pisztráng (Hossein et al., 2008). nevelése során. Anadu és mtsai. (1990) megállapították, hogy a tilápia (*Tilapia zillii*) ivadékok a takarmány 0,05 – 0,15 g/kg Co kiegészítésének hatására szignifikánsan magasabb növekedési ütemet és fehérje hasznosítást produkáltak, míg a csíkos sügér (*Epinephelus malabaricus*) esetében a táp 10,7-20,7 mg/kg-os, kobalttal történő dúsítása kedvezőbb növekedési ütemet és takarmányértékesítést eredményezett (Lin et al., 2010).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Az *Artemia naupliusz* nyomelemekkel történő dúsítása

3.1.1. Frissen kelt *Artemia naupliusz* dúsítása kobalttal, cinkkel és mangánnal

Az *Artemia sp.* (SERA, Németország) petét 24 óráig, 1,5 literes műanyag-edényekben keltettük, 2 g pete/liter sűrűségben. A keltető-víz hőmérséklete 27-28 °C, sótartalma 20 g/l volt. A 24 óra elteltével az *Artemia*-t 150 µm-os planktonhálón szűrtük át, majd a frissen kelt egyedeket elválasztottuk a felúszó peteburoktól és a ki nem kelt petéktől.

A frissen kelt *Artemia* lárvát a 24 órás gazdagítási periódus (Nguyen et al., 2008) során kobalt-kloriddal, cink-szulfáttal és mangán-kloriddal dúsítottuk (CoCl₂, ZnSO₃, MnCl₂ AnalR NORMAPUR, VWR).

A dúsítást 4 literes hasznos térfogatú műanyag ballonokban végeztük, melyek vizét 24 óráig levegőztettük, majd szintetikus tengeri só (Sera Marin Basic, Germany) alkalmazásával 20 g/l-es só-koncentrációt alakítottunk ki. A dúsító egységekbe ml-enként 100-150 frissen kelt naupliusz került kihelyezésre. Az oxigéntelítettséget folyamatos levegőztetés mellett 100%-ra állítottuk be, az edények megvilágítása 2000 luxzal történt (Lavens-Sorgeloos, 1996).

A frissen kelt *Artemia*-t első lépésben kizárólag kobalttal dúsítottuk, a zooplankton nyomelem akkumulációjának, illetve ez esetleges toxikus koncentráció meghatározása érdekében. A vizsgálat során a kontroll mellett további 3 kezelést állítottunk be, egyenként 3-3 ismétlésben (n=3), a kiegészítést kobalt-kloriddal végeztük. A kísérleti beállításokat az **1. táblázat** tartalmazza.

1. táblázat: Az 1. kísérlet során beállított Co-koncentrációk (mg/l)

Kezelés	Koncentráció (CoCl ₂ mg/l)
Kontroll	0
Co-50	50
Co-100	100
Co-1000	1000

A következő kísérletben a kobaltot önmagában, két koncentrációban (50, illetve 100 mg/l), valamint a cinkkel és a mangánnal kombinációban, szintén 2-2 koncentrációban (50, illetve 100 mg/l) alkalmaztuk a dúsítás során. Emellett a gazdagítást mangánnal önmagában, 50 és 100 mg/l-es dózisban is elvégeztük.

Monoelemes Zn kiegészítést a Nguyen et al. (2008) által közölt eredmények ismeretében nem állítottunk be. A kezelések beállítása minden esetben 3-3 ismétlésben történt (n=3). A beállításokat a **2. táblázat** tartalmazza.

2. táblázat: Kísérleti beállítások és alkalmazott nyomelem dózisek

Kezelés	CoCl₂ (mg/l)	ZnSO₄ (mg/l)	MnCl₂ (mg/l)
Kontroll	-	-	-
Mn-1	-	-	50
Mn-2	-	-	100
Co-1	50	-	-
Co-2	100	-	-
CoZn-1	50	50	-
CoZn-2	100	100	-
CoMn-1	50	-	50
CoMn-2	100	-	100

3.1.2. A minták kémiai analízise

A 24 órás dúsítási periódust követően az edényekben levő valamennyi *Artemia*-t 150 µm-os planktonhálón átszűrtük, majd a mintákat desztillált vízzel (Millipore Synergy Ultrapure Water System) átmostuk. A mintákat 20 percig centrifugáltuk (6000 rcf) és a felúszó anyagot eltávolítottuk. A nedvességtartalom meghatározása gravimetriás módszerrel, 105°C-on történt.

A nyomelem-analízis érdekében a mintákat elektromos főzőlapon, salétromsavas nedves roncsolásnak vetettük alá (2 ml 68 % (m/m) HNO₃ és 0.2 ml 30 % (m/m) H₂O₂, VWR International), majd az atmoszférikus feltárást követően kalibrált műanyag csövekbe helyeztük, melyeket 10 ml-re töltöttünk fel (0,1 M HNO₃ segítségével). A hígított mintákból a Co, a Zn és a Mn koncentráció meghatározása atom abszorpciós spektrometriával történt (AAS, Varian spectra).

3.1.3. Az eredmények statisztikai értékelése

Az eredmények statisztikai értékelése SPSS/PC + programcsomaggal történt. A csoportok homogenitását Levene-tesztel ellenőriztük (P>0,05). Az *Artemia* minták nedvességtartalmát, illetve Co, Zn és Mn koncentrációját egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) hasonlítottuk össze. A szignifikáns különbségek megállapítása Tukey-tesztel történt (P<0,05)

3.2. A barramundi lárva etetése a nyomelemekkel dúsított *Artemiával*

3.2.1. Az etetési kísérlet

A 12 napos barramundi (*Lates calcarifer*) lárvák mesterséges szaporításból származtak (MADAN-Kibbutz Ma'agan Michael, Izrael), amelyeket a szállítás után, egy 48 órás akklimatizációs periódust követően helyeztünk ki a 40 l-es, egyedi belső szűrővel ellátott üvegakváriumokba (3. kép).



3. kép: A lárvanevelési kísérletnek helyet adó akvárium-sor (fénykép: Juhász Péter)

Az *Artemia* dúsítási protokollnak megfelelően, összesen 9 kezelést állítottunk be, 2-2 ismétléssel, egységenként 100 lárvával (SL: $5,01 \pm 0,42$ mm; W: $2,95 \pm 0,61$ mg). A későbbi statisztikai értékelésnek megfelelően a kísérlet beállítása véletlenszerű blokk elrendezésben történt.

A víz sótartalmát szintetikus tengeri só alkalmazásával 14 ppt-re (Marin Basic, Sera), míg hőmérsékletét $28,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ -ra állítottuk be, az akváriumokban az oxigén-telítettség elérte a 100%-ot. Az akváriumokban a kísérlet során naponta 30%-os vízcserét hajtottunk végre. A víz hőmérsékletet, a pH-t, az összes oldott-anyag koncentrációt (Hanna HI98130), az oxigén-telítettséget (Hach HQ30d), valamint a NO_2^- , NO_3^- és NH_4^+ koncentrációt napi rendszerességgel ellenőriztük (Aquamerck Compact Laboratory, Merck).

A lárvák etetése a dúsított *Artemia naupliusszal* napi háromszori megosztásban (08:00, 13:00 és 17:00 órakor) történt, a halak számára naponta 250-300 zooplanktont kínáltunk fel, melyek mennyiségét a lárvák étvágya alapján határoztuk meg. A kísérlet során 24 órás megvilágítást (20 W, Sera Brilliant Daylight, Németország) alkalmaztunk (Barlow et al., 1995). A kísérlet időtartama 16 nap volt. Az elhullott egyedek számát naponta meghatároztuk.

3.2.2. A minták kémiai analízise

Az etetési kísérlet lezárását követően összesen 360 lárvát (40 lárva/kezelés) mintáztunk meg, melyeket 24 órás éhezésnek vetettünk alá, a gyomortartalom kiürülése érdekében. A lárvák egyedi testtömegét analitikai mérlegen (Precisa 240A) mértük. Az egyedi testhossz meghatározása digitális kamerával (Olympus SZ51) ellátott sztereomikroszkóppal történt, a testhossz kalibrációt milliméter pontosan beosztott tárgylemez, míg a felvételek kiértékelését a WinImag 1.0 program segítségével végeztük. A mintákat lefagyasztottuk (-30°C), majd a kémiai analízist megelőzően szobahőmérsékleten felolvasztottuk, desztillált vízzel öblítettük és kettesével 50 ml-es Erlenmeyer lombikokba helyeztük. A halak nedvességtartalmának meghatározása gravimetriás módszerrel történt, 105°C-on. A mintákat elektromos főzőlapon, atmoszférikusan roncsoltuk (5 mL 68% (m/m) HNO₃ és 0,2 mL 30 % (m/m) H₂O₂, VWR International), majd műanyag csövekbe helyeztük és 10 ml-re hígítottuk (0,1 M HNO₃ segítségével).

A halminták Zn koncentrációját lángatomabszorpciós technikával (FAAS) határoztuk meg, míg a lárvák Co és Mn-tartalmának mérése grafitkemencés atomabszorpciós (GFAAS, Perkin Elmer Aanalyst 600; Zeeman background correction system) eljárással történt.

3.2.3. A termelési mutatók meghatározása

Az etetési kísérlet során a halak megmaradási százalékát a következő képlet szerint határoztuk meg: (élő egyedek száma / kihelyezési darabszám) * 100

A kísérlet végén az élő egyedeket megszámláltuk, majd a kannibalizmus mértékét a következő formula alapján határoztuk meg: (a hiányzó egyedek száma – észlelt elhullások száma) / kihelyezési darabszám * 100 (Arockiaraj-Appelbaum, 2011).

A lárvák Fulton-féle kondíció faktorát egyedileg, a következő képlet alapján számoltuk (Ricker, 1975):

- $K = W/L^3 \times 100$, ahol W: nedves testtömeg (g), L: standard testhossz (mm)

A halak növekedési ütemét (SGR, %) a következő képlet segítségével határoztuk meg:

- $SGR (\%) = (\ln W_f - \ln W_i) / t \times 100$, ahol: W_f : végső testtömeg (g), W_i : kezdő testtömeg (g), t: napok száma

3.2.4. Az eredmények statisztikai értékelése

A statisztikai vizsgálatokat SPSS/PC+ és Canoco for Windows programcsomagokkal végeztük. A kezelések Gauss-féle populáció eloszlási görbáját az OriginPro 8.6. program segítségével határoztuk meg és ábráztuk, Arockiaraj és Appelbaum (2011) munkája alapján.

A csoportokon belül a homogenitás vizsgálata Levene-teszttel történt ($P < 0,05$). A kezelések és az ismétlések, illetve ezek interakciójának hatását a lárvák testtömegére, testhosszára, K-faktorára, növekedési ütemére, nedvességtartalmára, valamint Co, Zn és Mn tartalmára kétutas, blokkos elrendezésű (GLM two-fold nested design) varianciaanalízissel (ANOVA) határoztuk meg. A szignifikáns különbségek megállapítása Tukey-teszttel történt ($P < 0,05$). Az *Artemia* és barramundi minták Co-, Mn- és Zn-tartalma közötti összefüggéseket Redundancia-analízissel (RDA) vizsgáltuk.

3.3. A száraz takarmány Co, Zn és Mn kiegészítése

3.3.1. A kísérleti tápok kialakítása

A kísérlet során egy kereskedelmi forgalomban kapható, ivadéknevelő tápot egészítettünk ki kobalt-kloriddal, cink-szulfáttal és mangán-kloriddal (CoCl_2 , ZnSO_3 , MnCl_2 AnalAR NORMAPUR, VWR).

Az alapanyagként, illetve kontrollként felhasznált takarmány beltartalmi paramétereit a **3. táblázat** tartalmazza. A táp nyersfehérje- és nyerszsír-tartalmának esetében a gyárilag deklarált értékeket vettük alapul, míg az elemösszetétel meghatározása analitikai mérés alapján történt. A takarmány szárazanyagtartalmát gravimetriás eljárással (105°C -on, szárítószekrényben tömegállandóságig szárítva) Co, Zn, Mn, Ca, K, Na, Mg, Fe, Ba, Cu, Sr, Al és Pb tartalmát mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometriával (4100 MP-AES, Agilent Technologies) határoztuk meg.

Az alaptápot kalapácsos daráló segítségével ledaráltuk, majd a kapott masszát és az alkalmazott nyomelemek analitikai sztenderdjeiből készített vizes oldatot egy betonkeverőben homogenizáltuk. A kontroll takarmányban nem alkalmaztunk nyomelem-pótlást.

A Co-50, a Mn-50 és a Zn-50 kísérleti tápok esetében 50-50 mg/kg CoCl_2 -t, MnCl_2 -t, illetve ZnSO_4 -ot adtunk a masszához. A kombinációban végzett mikroelem kiegészítések a következők voltak: CoMn-50 kísérleti táp, ahol 50-50 mg/kg CoCl_2 és MnCl_2 , illetve a CoZn-50 kísérleti táp, ahol szintén 50-50 mg/kg CoCl_2 és ZnSO_4 dúsítást alkalmaztunk. A takarmányokat a nyomelemek bekeverését követően, 10% víz hozzáadása mellett, pelletáló berendezés segítségével granuláltuk, 1,5 mm átmérőjű matrica alkalmazásával (**4. kép**). A megformázott szemcséket levegőn szárítottuk, majd a felhasználásig 4°C -on tároltuk.



4. kép: A kísérleti tápok elkészítése: (1.) Pelletáló berendezés, (2.) Homogenizálás, (3.) Az elkészült takarmány szárítása

3. táblázat: Az ivadéknevelő táp összetétele

Összetevők (%)	Mennyiség
Nyers fehérje	56
Nyers zsír	18
Száranyag-tartalom	91,35±0,06
Elemösszetétel (mg/kg)	
Cink	90,99±4,22
Mangán	49,05±4,33
Kobalt	kimutatási határ alatt
Kalcium	1265,39±139,40
Kálium	631,13±50,54
Magnézium	164,65±16,34
Nátrium	582,36±57,61
Alumínium	81,14±3,27
Bárium	12,81±0,42
Réz	16,29±0,50
Vas	470,39±23,02
Ólom	10,46±0,30
Stroncium	122,91±7,20

3.3.2. A kísérleti elrendezés

A 8 hetes vizsgálat kezdetén az izraeli (MADAN-Kibbutz Ma'agan Michael), mesterséges szaporításból származó barramundi ivadékok nedves testtömege átlagosan 5,41±0,06 g volt. A 600 egyedat egyenlően elosztottuk a 6 kezelés között (Co-50, Mn-50, Zn-50, CoMn-50, CoZn-50 és kontroll). Minden kezelést 2-2 ismétlésben hajtottunk végre, a statisztikai értékelésnek megfelelően a kísérlet beállítása véletlenszerű blokk elrendezésben történt.

Az ivadékokat 70 literes műanyag körmedencékbe helyeztük (50 ivadék/medence), amelyek egy önálló, levegőztetett biofilterrel és UV-lámpával felszerelt, édesvízű recirkulációs rendszer részeit képezték (5. kép).



5. kép: Az ivadéknevelési kísérlet során használt recirkulációs rendszer

Az egységekben a folyamatos levegőztetést levegőztető kövek segítségével hajtottuk végre, a medencékben az oxigéntelítettség $89\pm 0,9\%$ volt. A vízhőmérsékletet a recirkulációs rendszer puffer tartályában elhelyezett elektromos fűtőkkel temperáltuk ($25,56\pm 0,7$ °C).

A kísérlet során 12 órás megvilágítást alkalmaztunk. A vízhőmérsékletet, a pH-t, az összes oldott-anyag koncentrációt (Hanna HI98130), az oxigén-telítettséget (Hach HQ30d), valamint a NO_2^- , NO_3^- és NH_4^+ koncentrációt napi rendszerességgel ellenőriztük (Aquamerck Compact Laboratory, Merck). A vizsgálat során az ivadékokat kézzel etettük, napi háromszori megosztásban (08.00, 12.00 és 16.00), a napi takarmányadagokat a biomassa 2,5%-ában határoztuk meg, és a tömegmérések adatai alapján, hetente korrigáltuk.

3.3.3. A minták kémiai analízise

A takarmányozási kísérlet lezárását követően minden medencéből 8 ivadék (16 minta/kezelés) elemösszetételét határoztuk meg. Az elemanalízist megelőzően a halakat 24 órás éheztetésnek vetettük alá, a gyomortartalom kiürülése érdekében. A mintákat lefagyasztottuk (-30°C), majd szobahőmérsékleten felolvasztottuk és liofilizáltuk. A halak nedvességtartalmának meghatározását és roncsolását, illetve a 25 ml-re hígított

minták Zn, Co és Mn koncentrációjának mérését a lárvák esetében alkalmazott és leírt módon végeztük el (3.2.2. *A minták kémiai analízise*, 30. oldal). Az egyéb makro- és mikroelemek koncentrációjának mérése mikrohullámú plazma atomemissziós spektrometriával (MP-AES 4100, Agilent Technologies) történt.

3.3.4. A termelési mutatók meghatározása

A kísérlet kezdetén és végén, illetve heti egy alkalommal, tizedes pontos digitális mérleg segítségével megmértük valamennyi ivadék egyedi, nedves testtömegét (**6. kép**).



6. kép: Az ivadékok egyedi testtömegének mérése

Az elhullott egyedek számát naponta meghatároztuk, az etetési kísérlet végén a halak megmaradását a következő képlet szerint határoztuk meg: (élő egyedek száma / kihelyezési darabszám) * 100

A halak növekedési ütemét (SGR, %), testtömeg-gyarapodását (WG, %) és takarmányértékesítését (FCR, g/g) a következő képletek segítségével határoztuk meg:

- $SGR (\%) = (\ln W_f - \ln W_i) / t \times 100$, ahol: W_f : végső testtömeg (g), W_i : kezdő testtömeg (g), t : napok száma
- $WG (\%) = (W_f - W_i) / W_i \times 100$, ahol: W_f : a végső testtömeg (g), W_i : a kezdő testtömeg (g)
- $FCR (g/g) = F / (W_f - W_i) (g/g)$, ahol: F : a kísérlet során elfogyasztott takarmány mennyisége szárazanyagban (g), W_f : végső testtömeg (g), W_i : kezdő testtömeg (g)

3.3.5. Az eredmények statisztikai értékelése

A barramundi ivadékok termelési paramétereit, egyöntetűségét és nyomelem felvételét a lárvák esetében alkalmazott és bemutatott statisztikai módszerek segítségével vizsgáltuk (3.2.4. *Az eredmények statisztikai értékelése*, 31. oldal).

3.4. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiájának kidolgozása

A kísérleti állományt 1000 db, 0,4 gramm átlagtömeggel rendelkező, előnevelt vörös árnyékhal alkotta, amelyek Izraelből (Ma'agan Michael Fish Farm) érkeztek a DE AGTC Halbiológiai Laboratóriumába. A szállítóvíz sótartalma 7,7 ppt, hőmérséklete 17°C, míg oxigén-telítettsége 179,9%-os volt. A csomagolás megbontását követően nem tapasztaltunk elhullást az ivadékok körében. A vörös árnyékhal egyedeket 5 db, 5 ppt só-koncentrációra előkészített, egyedi szűréssel ellátott, 40 liter hasznos víztérfogattal rendelkező üvegakváriumba helyeztük

Az akváriumokban a víz sótartalmát szintetikus tengeri só segítségével alakítottuk ki (BlueTreasure, Qingdao Sea-Salt Aquarium Technology Co.). Az akváriumok falát 3 oldalról fekete fóliával takartuk le. Minden egyes akváriumban elhelyeztünk 1 db Tebang levelet (*Terminalia cattapa*, L.), amely az akvarisztikában széles körben alkalmazott, trópusokon őshonos fa levele. A levél erős fungicid és antibakteriális hatással (Goun et al., 2003), emellett magas csersav-tartalommal rendelkezik, ezáltal képes csökkenteni a víz pH-ját.

Az akváriumokban 100%-os oxigén-telítettséget állítottunk be, a víz hőmérsékletét 24°C-on tartottuk. Naponta, kolorimetriás módszerrel mértük a nitrogénformák (NH_4^+ , NO_2^-) alakulását. A víz sótartalmát, vezetőképességét, kémhatását és hőmérsékletét HANNA HI98130, oldott oxigéntartalmát HACH HQ30d típusú műszerrel határoztuk meg.

A vörös árnyékhal ivadékok körében a megérkezést követő 3. nap reggelén nagyarányú elhullást tapasztaltunk, illetve a halak az akvárium alján történő elfekvését, dezorientált, koordinálatlan mozgását figyeltük meg. Ekkor mintákat vettünk az akváriumok vizéből, melyeket kémiai analízisnek vetettünk alá. A kapott eredményeket a **4. táblázat** mutatja.

4. táblázat: Az akváriumok vizének ion-összetétele

Vízkémiai paraméter (mg/l)	Akvárium víz, 5 ppt (Synthetic Sea Salt)
Ca	154
K	120
Mg	256
Na	1124
Cl ⁻	3115
SO ₄ ²⁻	449

A vörös árnyékhal ivadékokat 2 héttel az érkezésüket követően fokozatosan áthelyeztük egy 70 l-es egységekből álló, összesen 1,7 m³ hasznos víztérfogattal rendelkező recirkulációs rendszerbe. A rendszer sótartalmát szintén 5 ppt-re állítottuk be.

A kísérlet során a halak növekedési ütemét (SGR, %) és takarmányértékesítését (FCR, g/g) a következő képletek segítségével határoztuk meg:

- $SGR (\%) = (\ln W_f - \ln W_i) / t \times 100$, ahol: W_f : végső testtömeg (g), W_i : kezdő testtömeg (g), t : napok száma
- $FCR (g/g) = F / (W_f - W_i) (g/g)$, ahol: F : a kísérlet során elfogyasztott takarmány mennyisége szárazanyagban (g), W_f : végső testtömeg (g), W_i : kezdő testtömeg (g)

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Az *Artemia naupliusz* nyomelemekkel történő dúsítása

4.1.1. Frissen kelt *Artemia naupliusz* dúsítása kobalttal

A frissen kelt *Artemia* lárva monoelemes, kobalttal történő dúsításának eredményeit az **5. táblázat** foglalja össze. Az adatok alapján kijelenthető, hogy a zooplankton a 24 órás gazdagítási periódus során képes hatékonyan akkumulálni a nyomelemet. Valamennyi kezelésnek szignifikáns hatása volt zooplankton Co akkumulációjára ($P < 0,05$), míg a kontroll minták a kimutatási határ alatti koncentrációban tartalmazták a nyomelemet.

A 24 órás dúsítást követően az élő táplálék Co koncentrációja az alkalmazott nyomelem-dózissal párhuzamosan, szignifikánsan növekedett ($P < 0,05$). A minták nyomelem-koncentrációjának szórása minden kezelés tekintetében alacsonynak mondható.

A Co-50 kezelés eredményeként az *Artemia* naupliusz nyomelem-tartalma 0,0694 mg/g-mal nőtt a kontroll mintához képest, amely kimutatható mennyiségben nem tartalmazott kobaltot. A legdinamikusabb koncentráció növekedést azonban a 100 mg/l-es (Co-100) dózisok esetében tapasztaltuk, ahol a zooplankton Co felvétele (0,2006 mg/g) megháromszorozódott az 50 mg/l-es dózishoz viszonyítva.

Az *Artemia* lárvák az 1000 mg/l-es kobalt kiegészítés mellett is jelentős mennyiségű nyomelemet (2,6700 mg/g) akkumuláltak, ugyanakkor a zooplankton számára még ez, az egyébként igen nagy koncentráció sem bizonyult toxikusnak, az állományban a 24 órás dúsítási periódust követően sem tapasztaltunk elhullást.

5. táblázat Az *Artemia naupliusz* mintákban mért Co-koncentrációk a monoelemes kezelés hatására (átlagok \pm szórás, $n=3$)

Kezelés	Co (mg/g)
Kontroll	0,0000 \pm 0,0000 ^a
Co-50	0,0694 \pm 0,0006 ^b
Co-100	0,2006 \pm 0,0004 ^c
Co-1000	2,6700 \pm 0,0018 ^d

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Co-100: 100 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Co-1000: 1000 mg/l CoCl_2 kiegészítés. Az oszlopokban eltérő betűvel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

4.1.2. Frissen kelt *Artemia naupliusz* dúsítása kobalttal, cinkkel és mangánnal

A különböző dózisokban és elemkombinációban végzett, 24 órás dúsítást követően az *Artemia* lárvák kobalt, cink és mangán koncentrációját a **6. táblázat** mutatja. A minták nedvességtartalmának tekintetében, a Co-2 és a Mn-1 kezelések kivételével, nem mutatkozott szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest ($P > 0,05$), ugyanakkor valamennyi kezelésnek szignifikáns hatása volt az *Artemia* Co, Zn és Mn koncentrációjára ($P < 0,05$).

A minták kobalt tartalma csak azokban a kezelésekben tért el szignifikánsan a kontrolltól, ahol az említett nyomelem fémsóit alkalmaztuk a 24 órás dúsítási periódus során ($P < 0,05$). A monoelemes, kobalttal önmagában végzett dúsítás eredményeitől eltérően, a kontroll minták is tartalmaztak kimutatási határ feletti nyomelem mennyiséget, ugyanakkor ez az érték ezen kísérlet esetében is igen alacsonynak bizonyult (0,01 mg/g). Az 50 mg/l-es Co dózis mellett a zooplankton nyomelem-tartalma statisztikailag igazolhatóan nőtt a kontrollhoz képest ($P < 0,05$), azonban a legnagyobb arányú koncentráció növekedést a Co-2 kezelés esetében tapasztaltuk (5,26 mg/g).

A kobalthoz hasonlóan a zooplankton mangán felvétele azon kezelések esetében mutatott szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest, amelyekben mangán-klorid kiegészítést hajtottunk végre ($P < 0,05$). A monoelemes mangán dúsítás (Mn-1 és Mn-2) során a minták nyomelem koncentrációja különbözött egymástól és a 100 mg/l-es dózis esetében statisztikailag is nagyobbak bizonyult.

A minták cink koncentrációja valamennyi kezelés során szignifikánsan eltért a kontrolltól, ugyanakkor jelentős növekedést csak azon beállítások esetében tapasztaltunk, ahol Zn kiegészítést hajtottunk végre a zooplankton dúsítása során (CoZn-1 és CoZn-2). Az említett kezelések nyomelem felvétele statisztikailag igazolhatóan eltért egymástól, az *Artemia* lárvák cink tartalma az alkalmazott dózissal párhuzamosan nőtt ($P < 0,05$).

A kombinációban végzett kiegészítések esetében az elemfelvétel tekintetében interakciót nem figyeltünk meg, a kobalt kivételével. A minták Co akkumulációja szignifikánsan nőtt azokban a kezelésekben, ahol a nyomelemet alkalmaztuk ($P < 0,05$), ugyanakkor Zn jelenlétében (CoZn-1 és a CoZn-2) a monoelemes dúsításokhoz képest csökkent a Co koncentráció. Ezzel ellentétben az *Artemia* lárvák a mangánnal kombinációban végzett, 100 mg/l-es (CoMn-2) dúsítás eredményeként több kobaltot vettek fel, mint amikor a nyomelemet önmagában, ugyanezen dózis mellett alkalmaztuk (Co-100).

6. táblázat: Az *Artemia naupliusz* nyomelem-felvétele a kombinációban végzett Co, Zn és Mn kiegészítés során (átlagok \pm szórás, n=3)

Kezelés	Nedvességtartalom (%)	Co (mg/g)	Mn (mg/g)	Zn (mg/g)
Kontroll	95,4 \pm 0,7 ^b	0,01 \pm 0,0 ^a	0,02 \pm 0,0 ^a	0,09 \pm 0,0 ^b
Co-1	94,7 \pm 0,5 ^{ab}	0,64 \pm 0,04 ^d	0,02 \pm 0,0 ^a	0,16 \pm 0,0 ^c
Co-2	94,2 \pm 0,2 ^a	5,26 \pm 0,07 ^e	0,02 \pm 0,0 ^a	0,23 \pm 0,01 ^d
Mn-1	93,8 \pm 0,3 ^a	0,04 \pm 0,0 ^a	0,32 \pm 0,0 ^c	0,34 \pm 0,01 ^e
Mn-2	95,7 \pm 0,4 ^b	0,02 \pm 0,0 ^a	1,58 \pm 0,01 ^d	0,02 \pm 0,00 ^a
CoZn-1	95,8 \pm 0,4 ^b	0,24 \pm 0,05 ^b	0,02 \pm 0,0 ^a	3,46 \pm 0,12 ^f
CoZn-2	94,7 \pm 0,3 ^{ab}	0,48 \pm 0,07 ^c	0,01 \pm 0,0 ^a	5,43 \pm 0,11 ^g
CoMn-1	95,0 \pm 0,4 ^{ab}	0,36 \pm 0,06 ^{bc}	0,22 \pm 0,0 ^b	0,25 \pm 0,01 ^d
CoMn-2	94,7 \pm 0,4 ^{ab}	6,51 \pm 0,09 ^f	3,35 \pm 0,02 ^e	0,12 \pm 0,01 ^{bc}

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl₂ kiegészítés, Co-2: 100 mg/l CoCl₂ kiegészítés, Mn-1: 50 mg/l MnCl₂ kiegészítés, Mn-2: 100 mg/l MnCl₂ kiegészítés, CoZn-1: 50 mg/l CoCl₂ és 50 mg/l ZnSO₄ kiegészítés, CoZn-2: 100 mg/l CoCl₂ és 100 mg/l ZnSO₄ kiegészítés, CoMn-1: 50 mg/l CoCl₂ és 50 mg/l MnCl₂ kiegészítés, CoMn-2: 100 mg/l CoCl₂ és 100 mg/l MnCl₂ kiegészítés. Az oszlopokban eltérő betűvel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van (P<0,05).

4.2. A barramundi lárva etetése a nyomelemekkel dúsított *Artemiával*

4.2.1. A barramundi lárvák megmaradása

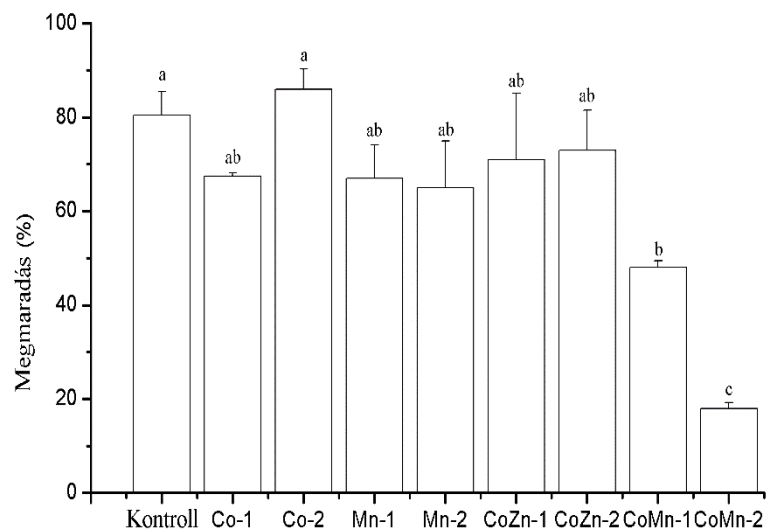
Az etetési kísérletet követően a barramundi lárvák megmaradását a **3. ábra** mutatja. A CoMn-1 és a CoMn-2 kezelések kivételével a csoportok között nem mutatkozott szignifikáns különbség a kallódás tekintetében ($P>0,05$). Az említett két kezelésben azonban statisztikailag igazolható mértékben csökkent a megmaradás a többi csoporthoz képest ($P<0,05$).

A legmagasabb megmaradást a kontroll (80,5 %) és a Co-2 csoport (86 %) mutatta, ugyanakkor a többi kezelés esetében is kedvezően, 65 és 73 % között alakult. Ezzel szemben a CoMn-1 kezelésben a kallódás mértéke elérte 50 %-ot, míg a CoMn-2 beállítás során a barramundi lárvák megmaradása rendkívül alacsonynak, mindössze 18%-osnak bizonyult.

Mivel a kannibalizmus igen gyakori jelenség a barramundi lárva-, illetve ivadéknevelésének kezdeti szakaszában, a kísérlet végén ennek mértékét is számszerűsítettük. A kannibalizmus mértéke a Co-1 (32,5 %), Co-2 (14,0 %), Mn-1 (33,0 %), Mn-2 (35,0 %), CoZn-1 (29,0 %) és CoZn-2 (27,0 %) csoportokban nem különbözött a kontrolltól (19,5 %), ugyanakkor szignifikánsan nőtt a CoMn-1 (52,0 %) és a CoMn-2 (82,0 %) kezelésekben ($P<0,05$).

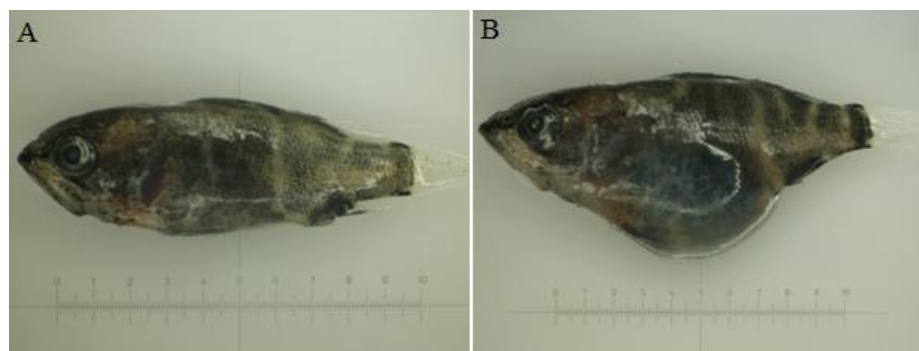
Mivel elhullott egyedeket nem észleltünk a kísérlet során, kijelenthető, hogy a megállapított megmaradási arány megegyezik a kannibalizmus mértékével, tehát a kallódás a kannibalizmus következményének tekinthető (**7. kép**).

A kezelések Gauss-féle populáció eloszlási görbéje azt mutatja, hogy a CoMn-1 és a CoMn-2 csoportok esetében a testhosszukat (SL) tekintve heterogén állományok alakultak ki, míg a többi kezelt állomány a kontrollhoz hasonlóan normális eloszlást mutatott (**4. és 5. ábra**).

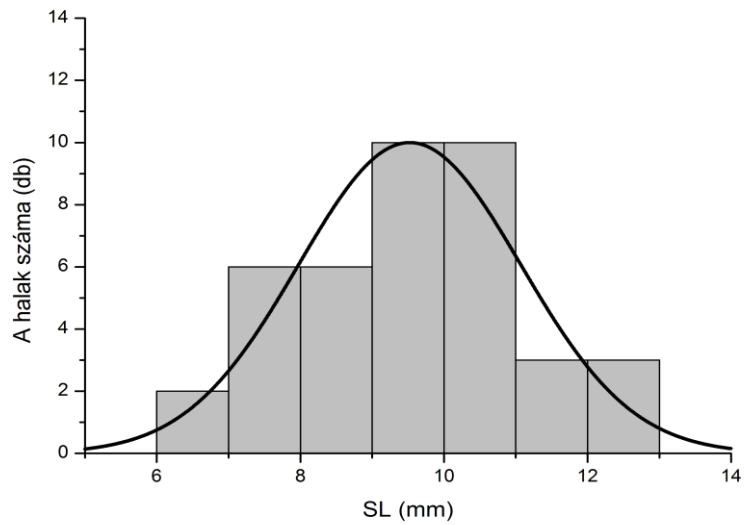


3. ábra: A barramundi lárvák megmaradása a kísérlet végén. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 100 lárv/ismétlés.

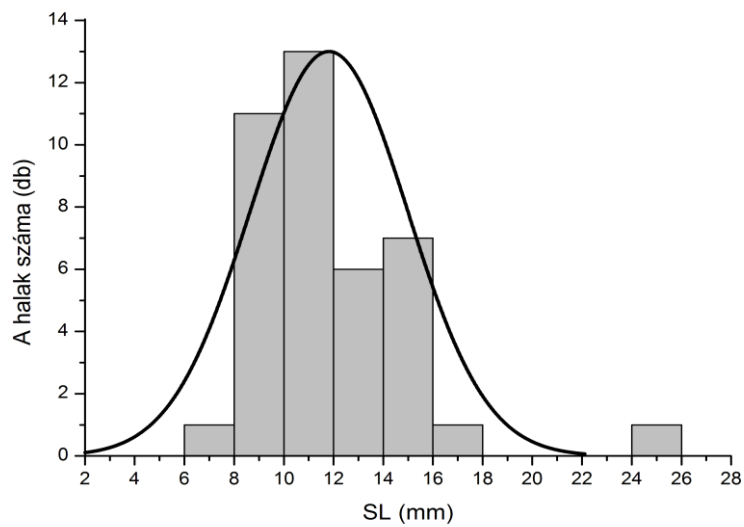
Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. Az etetett *Artemia* nyomelem összetétele a 6. táblázatban található. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).



7. kép: Barramundi lárvák a kontroll (A) és kannibál egyed a CoMn-2 (B) csoportból



4. ábra: A kontroll csoport Gauss-féle populáció eloszlása

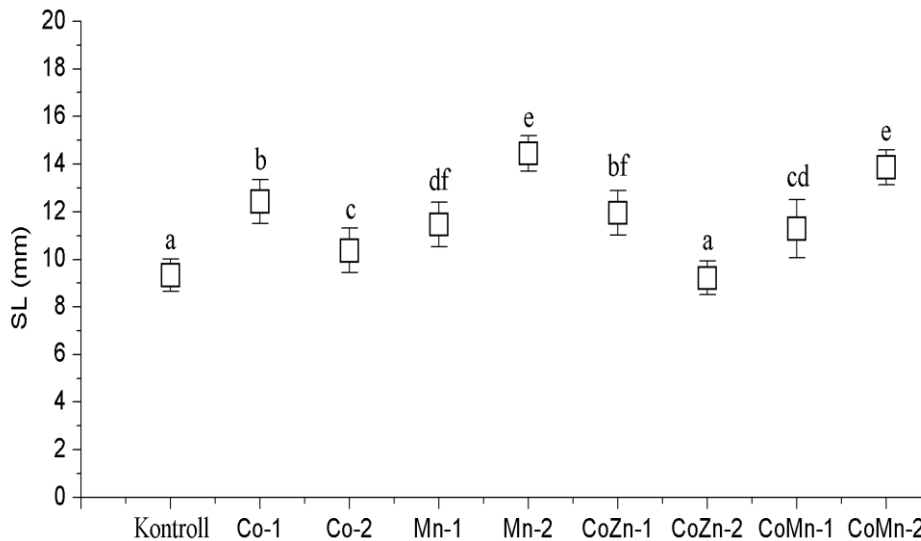


5. ábra: A CoMn-1 csoport Gauss-féle populáció eloszlása

4.2.2. A barramundi lárvák testtömege, testhossza, kondíció-faktora és növekedési üteme

A lárvák egyedi testhossza (SL) tekintetében elmondható, hogy a valamennyi kezelésnek szignifikáns hatása volt az eredményekre ($P < 0,001$), míg az ismétlések hatása nem volt szignifikáns ($P > 0,05$).

A kontrollhoz képest minden csoportban statisztikailag is nőtt az egyedi testhossz a CoZn-2 kezelés kivételével, amely nem különbözött a kontrolltól ($P>0,05$). A Co-2 és a CoMn-1, valamint a Mn-1 és a CoZn-1 csoportok statisztikailag nem mutattak eltérést egymástól (6. ábra). A legnagyobb testhosszt a Mn-2 és a CoMn-2 kezelések produkálták, közöttük nem volt szignifikáns különbség.



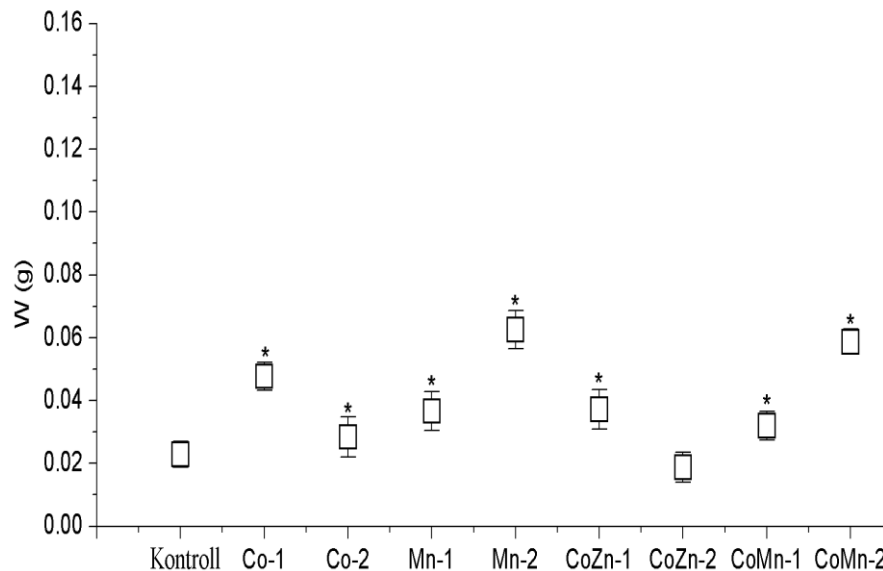
6. ábra: A lárvák testhossza (SL). A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 20 lárva/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. A különböző betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P<0,05$).

Az egyedi nedves testtömegek (W) tekintetében kijelenthető, hogy a testhosszal kapcsolatos adatokhoz hasonlóan, minden kezelés hatása szignifikánsnak bizonyult ($P<0,001$), ugyanakkor az ismétlések statisztikailag nem befolyásolták az eredményeket ($P>0,05$) (7. ábra).

A legkisebb testtömeget a kontroll, illetve a CoZn-2 csoportokban mértük, amelyek statisztikailag nem különböztek egymástól ($P<0,05$). A legnagyobb egyedi testtömeget a Mn-2 és a CoMn-2 kezelések produkálták, az utóbbi beállítás esetében ugyanakkor a magasabb értékek részben a kannibál egyedek jelenlétének köszönhetőek.

Az akvakultúrában általánosan ismert, hogy csoporton belül a megmaradás és a növekedés között összefüggés, negatív korreláció áll fenn. Kísérletünkben ugyanakkor a barramundi lárvák megmaradása, illetve növekedési mutatói között a korrelációs együttható alapján nem állapítottunk meg erős kapcsolatot.



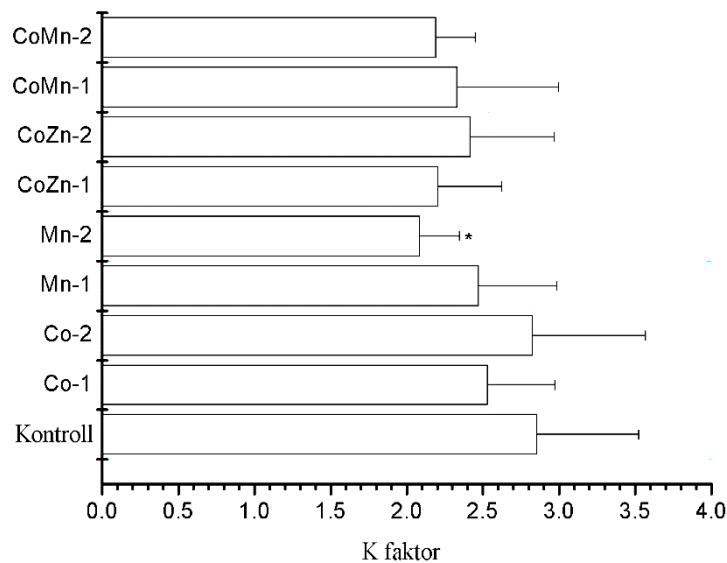
7. ábra: A lárvák testtömege (W). A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 20 lárva/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. A csillaggal jelölt eredmények és a kontroll között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

A barramundi lárvák Fulton-féle kondíció (K) faktor eredményeit a **8. ábra** szemlélteti. A kísérlet végén sem a kezeléseknél, sem az ismétléseknél nem volt szignifikáns hatása az értékekre, illetve a kezdeti indexektől sem tértek el statisztikailag ($2,32 \pm 0,17$). A kontroll és a kezelt csoportok K faktor értékei között nem volt különbség a Mn-2 kezelés kivételével, amely esetében a végső érték szignifikánsan kisebb volt.

A Co-1 ($19,5 \pm 1,5$ %), a Mn-2 ($21,3 \pm 0,19$ %), a CoMn-1 ($19,8 \pm 0,13$ %) és a CoMn-2 ($20,3 \pm 0,73$ %) kezelések növekedési üteme (SGR) szignifikánsan magasabb volt a kontrollhoz viszonyítva. A Co-2 ($17,4 \pm 1,21$ %), Mn-1 ($18,8 \pm 3,60$ %) és CoZn-1 ($17,1 \pm 0,11$ %) csoportok a kontrolltól és a kontrolltól eltérő kezelésektől sem

különböztek statisztikailag. A CoZn-2 csoport ($13,5\pm 0,02\%$) növekedési üteme szignifikánsan nem tért el a kontroll kezeléstől.



8. ábra: A lárvák Fulton féle kondíció (K) faktora a kísérlet végén. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 20 lárva/ismétlés.

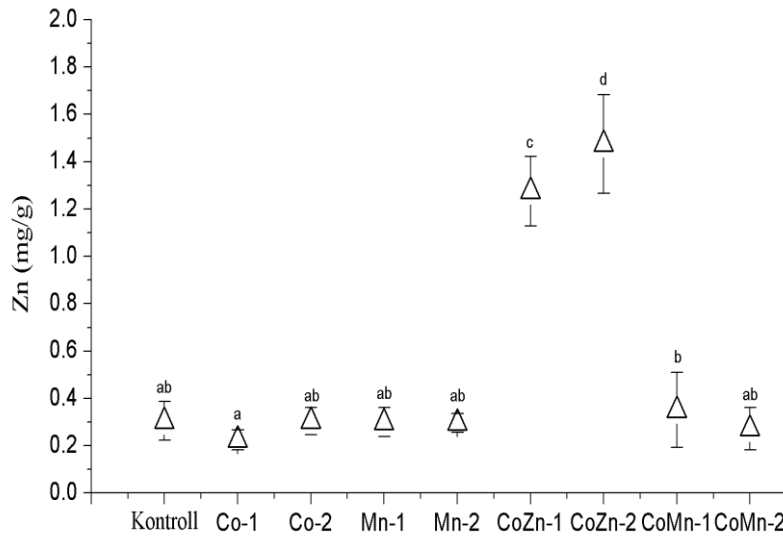
Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. Az etetett *Artemia* nyomelem összetétele a 6. táblázatban található. A csillaggal jelölt eredmények és a kontroll között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

4.2.3. A barramundi lárvák Co-, Mn- és Zn-koncentrációja

A kezelések szignifikáns hatást gyakoroltak halak kobalt, cink és mangán felvételére, illetve koncentrációjára ($P < 0,05$), míg az ismétlések hatása nem volt szignifikáns ($P > 0,05$).

A cink tekintetében a kontrollhoz képest csak azokban a kezelésekben bizonyult magasabbnak a minták koncentrációja, ahol a nyomelemet alkalmaztuk (CoZn-1 és CoZn-2) (9. ábra). A többi csoport esetében a Zn tartalom megegyezett a kontroll minták elemkoncentrációjával.

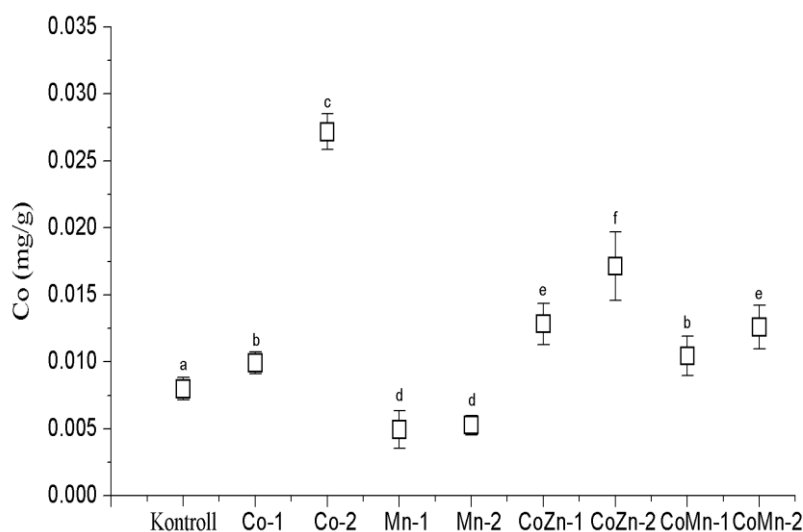
Az eredmények alapján a cink-kiegészítés hatással volt a barramundi lárvák kobalt felvételére, mivel a CoZn-1 és a CoZn-2 kezelések nyomelem-tartalma alacsonyabbnak bizonyult, mint azon csoportok esetében, amelyekben a kobaltot önmagában alkalmaztuk.



9. ábra: A barramundi lárvák Zn koncentrációja. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 20 lárva/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. Az etetett *Artemia* nyomelem összetétele a 6. táblázatban található. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

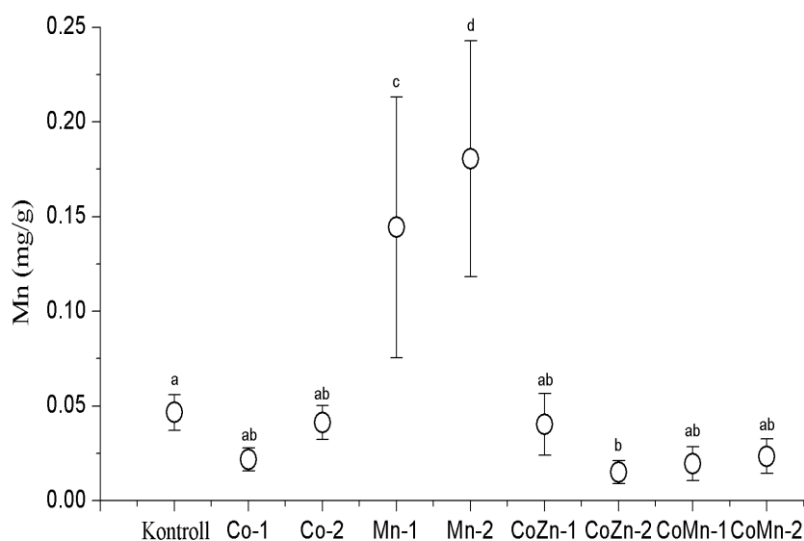
A kobalt adagolása szignifikánsan negatív hatással volt a lárvák mangán felvételére. Statisztikailag igazolhatóan magasabb Mn koncentráció csak azokban a kezelésekben fordult elő, amelyek kizárólag mangánnal dúsított élő táplálékot fogyasztottak (**10. ábra**). A legmagasabb Co koncentrációt a Co-2 csoport mintáiból mértük, ugyanakkor a CoMn-1 és a CoMn-2 kezelések kobalt felvétele szintén szignifikánsan magasabbnak bizonyult a kontrollhoz viszonyítva.



10. ábra: A barramundi lárvák Co koncentrációja. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 20 lárva/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. Az etetett *Artemia* nyomelem összetétele a 6. táblázatban található. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

Statisztikai különbséget nem mutattunk ki a Co-1 és a Co-2 csoportok, illetve a kontroll kezelés mangán tartalma között, míg a Mn-1 és a Mn-2 beállítások kobalt koncentrációja szignifikánsan kisebbnek bizonyult a kontrollnál (**11. ábra**).



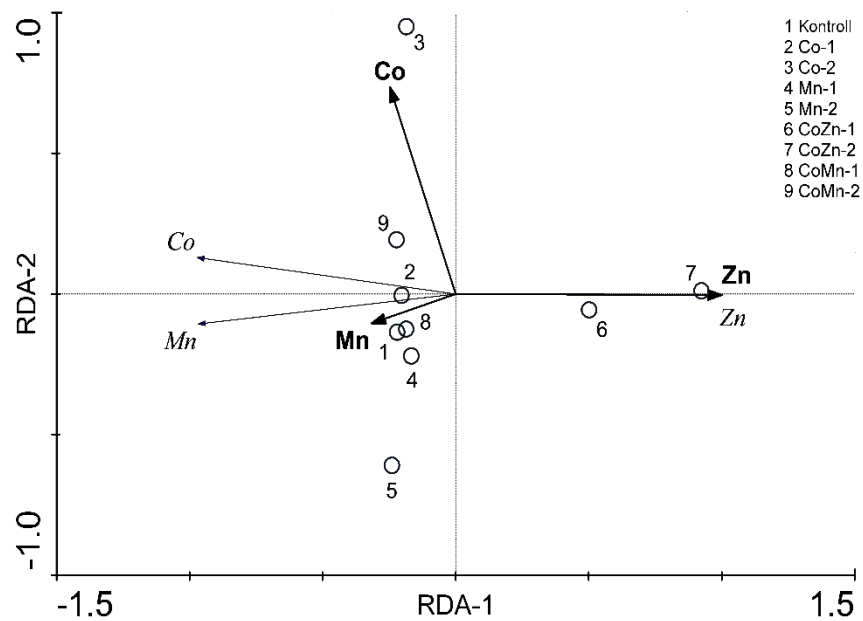
11. ábra: A barramundi lárvák Mn koncentrációja. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 20 lárva/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. Az etetett *Artemia* nyomelem összetétele a 6. táblázatban található. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

4.2.4. Az *Artemia* és a barramundi lárvák Co-, Mn- és Zn-koncentrációja közötti összefüggések

Az elvégzett redundancia analízis első komponense (RDA1) alapján a barramundi lárvák Co, Zn és Mn koncentrációja, valamint ugyanezen nyomelemek *Artemia* által akkumulált mennyisége között a korreláció értéke 0,986, míg a második komponens (RDA2) esetében ugyanez a szám 0,652.

A lárvák elemösszetételének kumulatív százalékos varianciája 96,1 (RDA1) és 96,5 (RDA2). A zooplankton és a barramundi minták Co, Zn és Mn koncentrációja esetében ez az érték 99,5 (RDA1) és 100,0 (RDA2). Az RDA biplot (**12. ábra**) határozott összefüggést mutat az *Artemia* és a barramundi minták kobalt és mangán koncentrációja között, míg a zooplankton és a lárvák cink tartalma között teljes egyezés állapítható meg. Mindez azt bizonyítja, hogy az *Artemia naupliusz* nyomelem dúsítása egyértelmű hatással volt a barramundi lárvák Co, Zn és Mn koncentrációjára az etetési kísérlet lezárásakor.



12. ábra: A redundancia-analízis eredménye az *Artemia* és a barramundi lárvák nyomelem-tartalma tekintetében

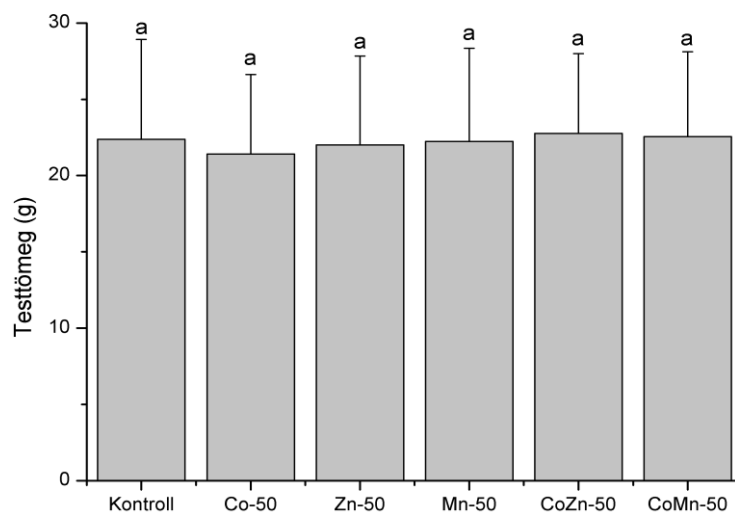
Az ábrán a vékony nyilak jelölik az *Artemia* minták elemösszetételét, a vastag nyilak a barramundi lárvák elemösszetételét. A számokkal ellátott körök jelölik a kezeléseket. Kontroll: nincs kiegészítés, Co-1: 50 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Co-2: 100 mg/l CoCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-1: 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, Mn-2: 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoZn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoZn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l ZnSO_4 *Artemia* dúsítás, CoMn-1: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás, CoMn-2: 100 mg/l CoCl_2 és 100 mg/l MnCl_2 *Artemia* dúsítás. Az etetett *Artemia* nyomelem összetétele a 6. táblázatban található.

4.3. A száraz takarmány Co, Zn és Mn kiegészítése

4.3.1. Az ivadékok egyedi testtömege

A nyomelemekkel dúsított száraz takarmány etetését követően az ivadékok átlagos nedves testtömegének alakulását a **13. ábra** szemlélteti. Az adatok egyértelműen mutatják, hogy az egyedi testtömegek tekintetében nem volt statisztikailag igazolható különbség a kontroll és az egyes kezelések között ($P > 0,05$).

Elmondható ugyanakkor, hogy a vizsgálat 2. és 3. hete között a cinkkel önmagában és cink-kobalt kombinációban végzett táp-kiegészítések eredményeként a halak szignifikánsan is magasabb egyedi testtömeget produkáltak, mint a többi kezelés esetében. Az említett különbségek azonban a hetek múlásával fokozatosan kiegyenlítődtek, majd a kísérlet végére eltűntek (**7. táblázat**).



13. ábra: A barramundi ivadékok egyedi átlagtömege a kísérlet végén. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 50 ivadék/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

A 8. hét végén a legmagasabb egyedi testtömeget a CoZn-50 ($22,76 \pm 5,24$ g) és a CoMn-50 ($22,56 \pm 5,56$ g) csoportok ivadékai érték el, ugyanakkor a többi kezelés esetében az átlagtömegek kisebbnek bizonyultak (Co-50: $21,41 \pm 5,22$ g; Zn-50: $22,01 \pm 5,83$ g; Mn-

50: 22,23±6,11 g), mint a kontrollban (22,37±6,56 g). Mindez azt mutatja, hogy bár statisztikailag igazolható különbség nem volt az egyes kezelések és a kontroll között az egyedi testtömeg vonatkozásában, a kombinációban végzett kobalt-mangán kiegészítés kedvezően befolyásolta az eredményeket, ugyanakkor a kobalttal, cinkkel és mangánnal dúsított takarmány etetése a kontrollhoz képest kisebb testtömeget eredményezett.

7. táblázat: Az ivadékok egyedi testtömegének alakulása a kísérlet során. A kezelés ismétléseinek átlaga ± szórás, 50 ivadék/ismétlés.

Hetek száma	Egyedi testtömeg (g)					
	Kontroll	Co-50	Mn-50	Zn-50	CoZn-50	CoMn-50
0	5,43±1,30 ^a	5,40±1,36 ^a	5,28±1,22 ^a	5,43±1,44 ^a	5,47±1,32 ^a	5,44±1,41 ^a
1.	7,12±1,90 ^a	6,88±1,86 ^a	6,89±1,73 ^a	6,96±1,85 ^a	7,04±1,68 ^a	6,89±1,90 ^a
2.	9,18±2,48 ^{ab}	9,08±2,48 ^a	9,25±2,52 ^{ab}	9,79±2,37 ^b	9,81±1,98 ^b	9,25±2,82 ^{ab}
3.	11,21±3,05 ^{ab}	11,02±3,08 ^a	11,25±2,96 ^{ab}	12,03±2,64 ^c	11,89±2,55 ^{bc}	11,10±2,93 ^a
4.	13,22±3,85 ^a	13,15±3,66 ^a	13,19±3,52 ^a	14,00±3,09 ^{ab}	14,17±3,62 ^b	13,21±3,57 ^a
5.	15,76±4,53 ^a	15,28±4,23 ^a	15,58±4,17 ^a	15,67±4,22 ^a	15,74±4,07 ^a	15,44±4,06 ^a
6.	19,47±5,83 ^a	18,81±5,39 ^a	19,02±5,07 ^a	18,97±5,37 ^a	19,10±4,52 ^a	18,72±4,94 ^a
7.	21,22±6,85 ^a	20,77±6,65 ^a	20,68±6,10 ^a	20,56±6,60 ^a	20,97±5,33 ^a	20,65±5,84 ^a
8.	22,37±6,56 ^a	21,41±5,22 ^a	22,23±5,83 ^a	22,01±6,11 ^a	22,76±5,24 ^a	22,56±5,56 ^a

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl₂ kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO₄ kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl₂ kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl₂ és 50 mg/l ZnSO₄ kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl₂ és 50 mg/l MnCl₂ kiegészítés. Az eltérő betűvel jelzett eredmények között szignifikáns eltérés van (P<0,05).

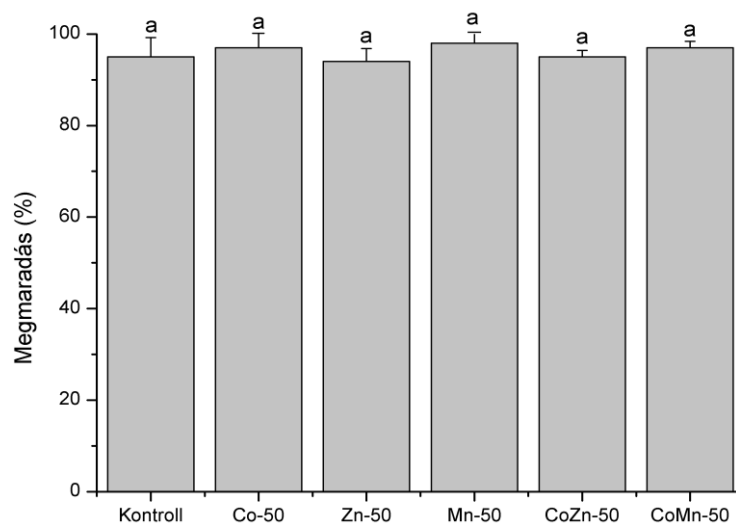
4.3.1. Az ivadékok megmaradása és egyöntetűsége

Az etetési kísérlet során a barramundi ivadékok megmaradása minden kezelés esetében 90% fölött maradt. Ebben a tekintetben a legjobb eredményt az 50 mg/kg cinkkel kiegészített tápot fogyasztó ivadékok (Zn-50: 98%) érték el, ugyanakkor szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk a csoportok között (Kontroll: 95%; Co-50: 97%; Mn-50: 94%; CoZn-50: 95%; CoMn-50: 97%) (**14. ábra**).

A kísérlet során elért kedvező megmaradás, az optimális vízminőség biztosítása mellett, elsősorban a kísérleti állomány egyöntetűségének következménye. A vizsgálat időtartama alatt ugyanis a kallódás megegyezett az elhullott egyedek számával, vagyis kannibalizmus egyik állományban sem fordult elő.

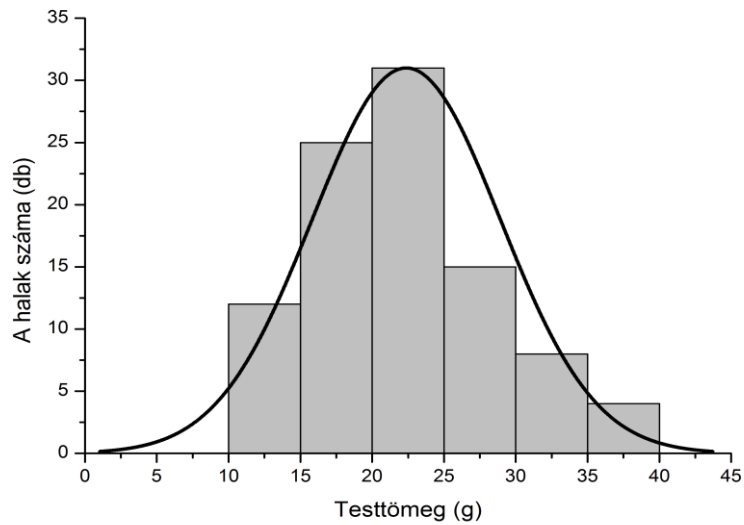
A **15. és 16. ábra** a kontroll, valamint az 50-50 mg/kg kobalttal, illetve mangánnal dúsított takarmányt fogyasztó kezelések (CoMn-50) esetében mutatja a Gauss-féle populáció eloszlási görbe alakulását, amelyek mindkét csoport tekintetében normális eloszlást mutatnak, jól szemléltetve a csoportok nagyfokú homogenitását.

A két ábrázolt kezelés megegyezik a lávanevelési kísérlet során is alkalmazott és ábrázolt beállításokkal (Kontroll és CoMn-50), amelyek az értekezés kapcsolódó fejezetében bemutatásra került.

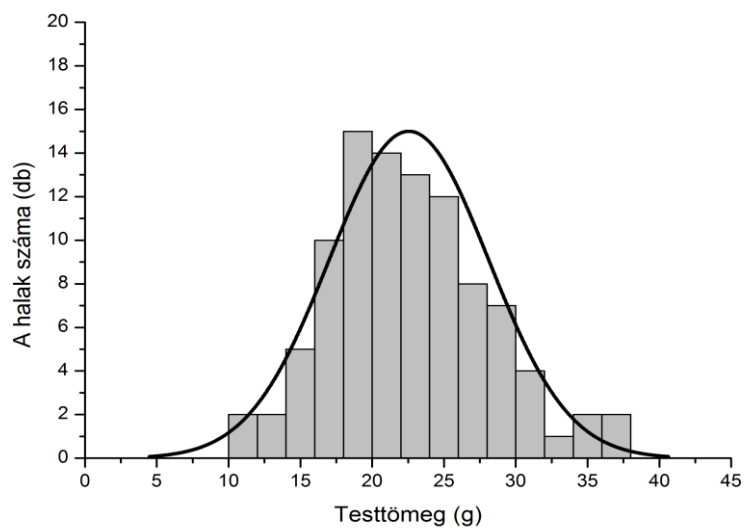


14. ábra: A barramundi ivadékok megmaradása. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 50 ivadék/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).



15. ábra: A kontroll kezelés Gauss-féle populáció eloszlási görbéje



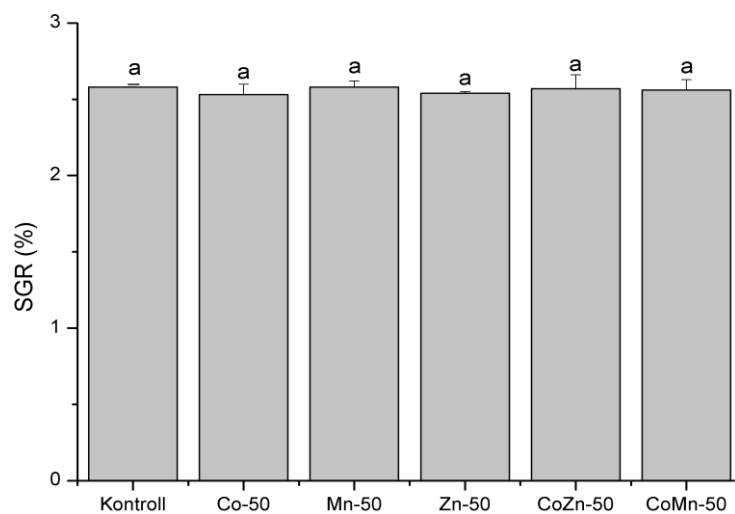
16. ábra: A CoMn-50 kezelés Gauss-féle populáció eloszlási görbéje

4.3.3. Az ivadékok testtömeg-gyarapodása (WG) növekedési üteme (SGR) és takarmányértékesítése (FCR)

A nyomelemekkel dúsított száraz takarmány etetése nem volt szignifikáns hatással az ivadékok testtömeg-gyarapodására (WG), így kísérlet végén a csoportok között nem volt statisztikailag igazolható különbség.

A legnagyobb testtömeg-gyarapodást a Mn-50 (316,63 %) és CoZn-50 (316,09 %) kezelések érték el, míg a legalacsonyabb értéket a Co-50 csoport ivadékai mutatták (299,26 %).

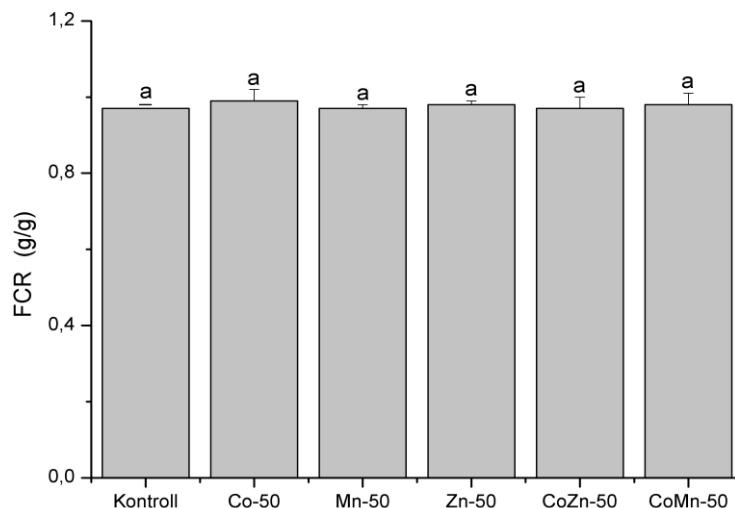
A specifikus növekedési ütem (SGR, %) tekintetében nem mutatkozott szignifikáns különbség ($P>0,05$) a kontroll és az egyes kezelések között (**17. ábra**). A takarmányozási kísérlet végén csoportok specifikus növekedési üteme 2,53 és 2,58 % között változott, a legkedvezőbb növekedést a kontrollhoz tartozó (SGR: $2,58\pm 0,0$ %), illetve a mangánnal önmagában dúsított takarmányt fogyasztó ivadékok mutatták ($2,58\pm 0,04$ %).



17. ábra: Az ivadékok növekedési üteme (SGR). A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 50 ivadék/ismétlés.

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P<0,05$).

A kísérlet végén a nyomelemekkel dúsított takarmánnyal etetett ivadékok takarmányértékesítése statisztikailag nem különbözött egymástól és a kontrolltól ($P>0,05$) (**18. ábra**). A takarmányértékesítés vonatkozásában elmondható, hogy a 8 hetes kísérlet során az FCR értékek igen kedvezően alakultak és minden kezelés esetében 1,0 g/g alatt maradtak.



18. ábra: Az ivadékok takarmányértékesítése (FCR). A kezelés ismétléseinek átlaga ± szórás, 50 ivadék/ismétlés.

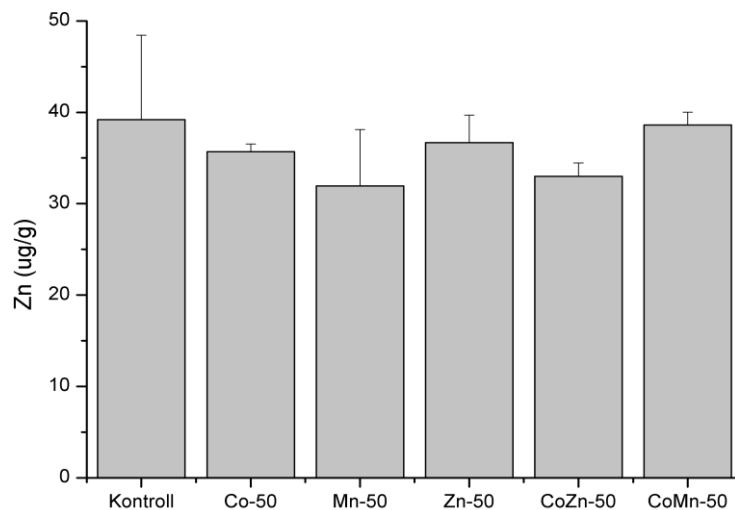
Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés. Az eltérő betűkkel jelölt eredmények között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

4.3.3. Az ivadékok nyomelem-felvétele

A barramundi ivadékok cink felvételét a **19. ábra** szemlélteti. A cink felvétel tekintetében nem mutatkozott statisztikailag igazolható eltérés az egyes kezelések között ($P > 0,05$).

Az ivadékok ugyanakkor a kontrollhoz képest szignifikánsan több kobaltot akkumuláltak azon kezelések esetében, amelyekben kobalt-kiegészítést (Co-50, CoZn-50 és CoMn-50) alkalmaztunk akár önmagában, akár elem-kombinációban adagolva a nyomelemet ($P < 0,05$) (**20. ábra**).

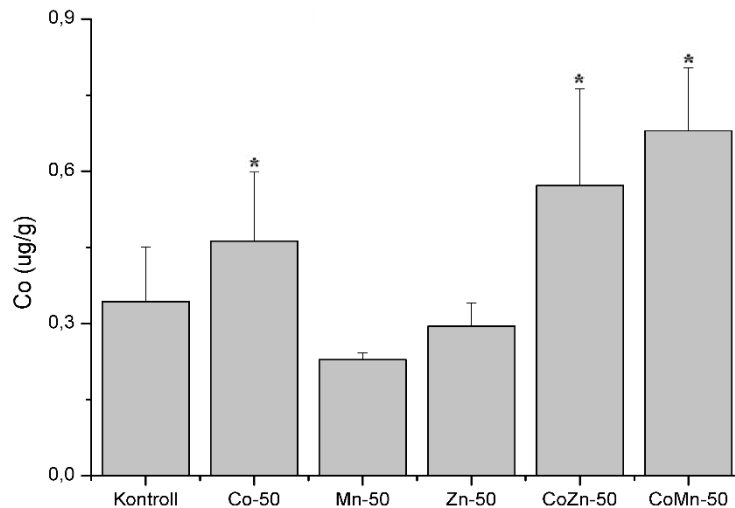
A mangán vonatkozásában elmondható, hogy az 50 mg/kg mangánnal kiegészített takarmányt fogyasztó ivadékok (Co-50) nyomelem-felvétele statisztikailag nem különbözött a kontrolltól ($P > 0,05$), azonban a kobalttal és mangánnal kombinációban végzett dúsítás (CoMn-50) hatására szignifikánsan több mangánt akkumuláltak ($P < 0,05$) (**21. ábra**).



19. ábra: Az ivadékok Zn felvétele. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 8 ivadék/ismétlés

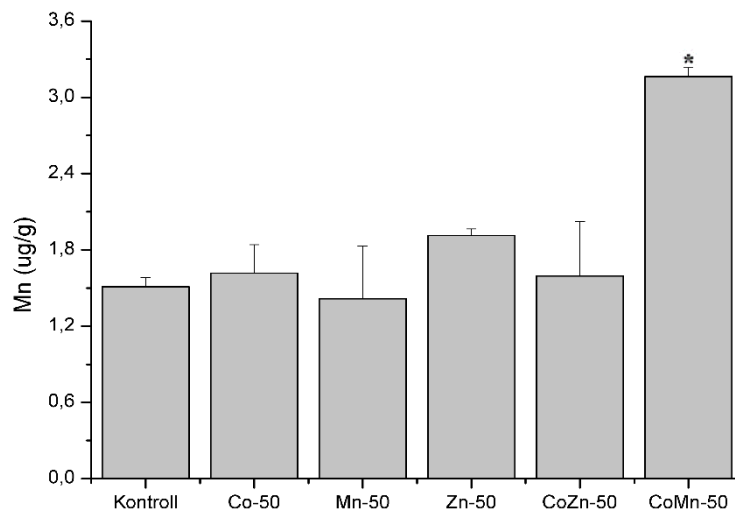
Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés. A csillaggal jelölt eredmények és a kontroll között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

A kobalt, a mangán és a cink akkumuláció mellett vizsgáltuk az ivadékok egyéb makro- és mikroelem felvételét is. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a halak elemösszetétele nem változott a takarmány-kiegészítés hatására (**8. táblázat**).



20. ábra: Az ivadékok Co felvétele. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 8 ivadék/ismétlés

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés. A csillaggal jelölt eredmények és a kontroll között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).



21. ábra: Az ivadékok Mn felvétele. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 8 ivadék/ismétlés

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl_2 kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l ZnSO_4 kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl_2 és 50 mg/l MnCl_2 kiegészítés. A csillaggal jelölt eredmények és a kontroll között szignifikáns eltérés van ($P < 0,05$).

8. táblázat: Az ivadékok elemösszetétele. A kezelés ismétléseinek átlaga \pm szórás, 8 ivadék/ismétlés

	Kontroll	Co50	Mn50	Zn50	CoZn50	CoMn50
Makro elemek (mg/g)						
K	6,11 \pm 0,27	6,09 \pm 0,57	6,08 \pm 0,27	6,20 \pm 31	6,26 \pm 0,68	6,46 \pm 0,53
Mg	1,13 \pm 0,15	1,24 \pm 0,14	1,15 \pm 0,22	1,34 \pm 0,13	1,21 \pm 0,02	1,27 \pm 0,05
Na	4,03 \pm 0,65	5,33 \pm 0,65	3,69 \pm 0,78	4,78 \pm 1,02	4,45 \pm 0,46	4,08 \pm 0,53
Ca	6,12 \pm 1,38	6,57 \pm 1,32	5,21 \pm 2,98	7,40 \pm 1,36	6,25 \pm 0,38	6,22 \pm 0,35
Mikro elemek (μ g/g)						
Ba	3,77 \pm 1,28	6,70 \pm 3,03	3,42 \pm 1,87	10,77 \pm 8,71	4,03 \pm 0,09	5,51 \pm 1,15
Fe	25,02 \pm 1,74	23,53 \pm 5,38	24,23 \pm 0,72	22,11 \pm 4,82	23,91 \pm 9,31	28,05 \pm 0,77
Sr	52,70 \pm 11,92	61,12 \pm 5,66	50,69 \pm 24,31	70,64 \pm 14,35	57,62 \pm 1,48	65,01 \pm 4,11

Kontroll: nincs kiegészítés, Co-50: 50 mg/l CoCl₂ kiegészítés, Zn-50: 50 mg/l ZnSO₄ kiegészítés, Mn-50: 50 mg/l MnCl₂ kiegészítés, CoZn-50: 50 mg/l CoCl₂ és 50 mg/l ZnSO₄ kiegészítés, CoMn-50: 50 mg/l CoCl₂ és 50 mg/l MnCl₂ kiegészítés.

4.4. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiája

4.4.1. Az ivadékok megmaradása és növekedése

A vörös árnyékhal ivadékok körében a megérkezést követő 3. nap reggelén nagyarányú elhullást tapasztaltunk, ekkor mintákat vettünk az akváriumok vizéből, melyeket kémiai alízisnek vetettünk alá. A kapott eredményeket, összevetve a Wurts és Stickney (1989) által közölt adatokkal, a **9. táblázat** tartalmazza.

9. táblázat: Az 5 ppt-s sósvíz (szintetikus tengeri só) és az egyező töménységű, hígított tengervíz összehasonlítása az elemösszetétel tekintetében

Vízkémiiai paraméter (mg/l)	Akvárium víz, 5 ppt (Synthetic Sea Salt)	5 ppt-re hígított tengervíz (Wurts és Stickney, 1989)
Ca	154	59
K	120	57
Mg	256	184
Na	1124	1526
Cl ⁻	3115	2745
SO ₄ ²⁻	449	359

Az értékeket tekintve néhány fontos különbség kiemelhető. Szembetűnő az akváriumok vizének magas kalcium, kálium, magnéziumés klorid tartalma a hígított, egyben az idézett szerzők által végzett kísérletben a legjobb megmaradást eredményező, 5 ppt-re hígított tengervízhez képest. A különbség oka az akváriumok feltöltéséhez használt kilevegőztetett csapvíz nagyfokú keménysége, amelyet tovább növelt a szintetikus tengeri sóval bevitt ion-koncentráció.

Az akváriumvíz kalcium-magnézium arányának optimalizálása érdekében Mg-kiegészítést alkalmaztunk, amely során a Wurts és Stickney (1989) által közölt eredményeket vettük alapul. Ennek megfelelően literenként 224 milligramm magnéziummal dúsítottuk a vörös árnyékhal ivadékok nevelésére szolgáló vizet, amelyben ezáltal 480 mg/l-es Mg koncentrációt alakítottunk ki, beállítva az optimálisnak tekinthető 1 : 3,11-es kalcium : magnézium arányt.

Az analitikai tisztaságú szilárd magnézium-kloriddal (MgCl₂) végzett magnézium-kiegészítést eredményeként néhány órával a kezelést követően a további elhullások megszűntek, illetve az addig az akváriumok alján fekvő, valamint a koordinátatlanul mozgó egyedek is magukhoz tértek. A probléma jelentkezése és a Mg-kiegészítés között eltel kb. 8 órában az elhullás elérte a 20%-ot.

A nevelés különböző szakaszai során, valamint a vízcserét követően vizsgáltuk a rendszeres, illetve időszakos Mg-kiegészítés hatását, azonban annak szükségességét a termelési adatok a továbbiakban nem igazolták.

Az akváriumi nevelés során tapasztaltunk egy második kallódási hullámot, amely azonban lényegesen kevesebb ivadék elhullását eredményezte. A vörös árnyékhalak megérkezését követő második hét folyamán elpusztult ivadékok esetében jól megfigyelhető volt a has beesése (**8. kép**). Az ebben a szakaszban elhullott egyedek az akváriumban egyáltalán nem fogyasztottak takarmányt.



8. kép: A nevelés 2. hetében elpusztult ivadék

A vörös árnyékhal ivadékok nevelése során, a két említett elhullási hullámot követően, kedvező megmaradást sikerült elérni. A nevelés 3. hetétől a 15. hete között a halak megmaradása meghaladta a 95%-os értéket.

A megérkezést követő 15 hétben folyamatosan nyomon követtük a vörös árnyékhal ivadékok testtömegének alakulását. Az előnevelt méretű, stabilan mesterséges takarmányra szoktatott 0,4 grammos testtömeeggel érkezett ivadékok a 14. hétben érték el a 25 grammos átlagos, nedves testtömeget. Ezen időszak során a halak növekedési üteme (SGR) 4,28 %, míg takarmányértékesítése (FCR) 0,80 g/g volt.

4.4.2. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiájának kidolgozása – Technológiai leírás

A vörös árnyékhal teljesen újnak tekinthető a hazai akvakultúrában és a Debreceni Egyetem mellett mindezidáig kizárólag a szarvasi Halászati és Öntözési Kutatóintézetben vizsgálták a halfaj tartás és takarmányozás technológiájának sajátosságait. A vörös

árnyékhal nevelésével kapcsolatban elért eredményeinket ezért egy technológiai leírás formájában összegeztük, amely tartalmazza a legfontosabbnak tekinthető ismereteket.

4.4.2.1. A haltermelő rendszer kialakítása

A vörös árnyékhal termelési gyakorlatának első eleme a halfaj biológiai igényeihez maximálisan igazodó, különböző méretű medencékből, valamint szeparált sós-, illetve édesvízű egységekből felépülő haltermelő rendszer kialakítása, amely alkalmas a különböző korosztályú állományok nevelésére.

A lárvaimportra alapozott termelés esetében szükséges egy kisebb, 70-100 literes műanyag medencékből álló lárva- és ivadéknevelő, sós-, illetve brakkvizes rendszer kialakítása, amelyben hatékonyan beállíthatók a halfaj optimális növekedéséhez és kedvező megmaradásához szükséges vízminőségi paraméterek. Mindez lehetővé teszi a zsenge hal különböző élő táplálékkal (zooplankton) történő takarmányozását, egy rövid, néhány napos átszoktatási periódus beiktatásával a mesterséges, formázott tápokra történő átállítását.

Az utónevelés során optimálisnak tekinthető egy 0,5-1 m³-es műanyag körmedencékből álló édesvízes recirkulációs rendszer, amelyben a halak a piaci méret 30-45 dkg elérésig sikerrel nevelhetők.

4.4.2.2. A halfaj számára optimális vízminőségi paraméterek

A vörös árnyékhal az eurihalin halfajok közé sorolható, természetes élőhelyén édes- és tengervízben egyaránt megtalálható, a víz sótartalmával szemben tág tűréssel rendelkezik.

Bár szakirodalmi adatok alapján a zsenge lárvák szempontjából optimális sókoncentráció 25 g/l felett van, illetve a magasabb sótartalmú szállítóvíz használata javítja a szállítást követő megmaradást, a 33 g/literes tengervíz hazai körülmények között történő előállítás, valamint a megfelelő ion-arányok beállítása komoly nehézséget okoz. Mindezek eredményeként elmondható, hogy az importra alapozott lárvanevelés során az alacsonyabb sótartalmú szállítóvíz kedvezőbb lehetőségeket rejt.

A halfaj lárva-, illetve ivadéknevelésében kiemelkedő fontosságú a tengeri sók alkalmazása a víz előkészítése során. A tapasztalatok, illetve a műszeres mérések

ugyanakkor egyaránt azt mutatták, hogy az akvarisztikai forgalomban kapható, szintetikus tengeri sók használata a lárvanevelés során nélkülözhetetlen.

A vörös árnyékhal rendkívül érzékenyen reagál a vízben található ionok mennyiségére, illetve egymáshoz viszonyított arányára, szükséges azok - elsősorban a kalcium- és a magnézium-ionok esetében – mielőbbi optimalizálása. Mivel hazai vezetékes vizek a magas vízkeménységük következtében általában megfelelő kalcium-tartalommal rendelkeznek, ezért a helyes Ca:Mg arány beállítása érdekében elegendő a magnézium kiegészítés végrehajtása. Ennek elvégzéséhez analitikai tisztaságú szilárd magnézium sók alkalmazása javasolható.

A nevelő víz optimális ion-összetétele beállítása nemcsak lárvakorban, hanem az ivadéknevelés során is elkerülhetetlen. A magnézium-kiegészítés jelentősége közvetlenül a szállítást követő napokban kiemelkedő, ugyanakkor a korai, illetve az utó-nevelés során is alkalmazható, étvágyjavítás, az általános egészségügyi állapot javítása, valamint a válogatással járó stressz-hatás kezelése érdekében.

Szakirodalmi adatok szerint a vörös árnyékhalak számára 1-10 cm-es testhossz között az 5-10 g/l-es sós víz tekinthető optimálisnak, míg a testtömeg növekedésével a sótartalmat célszerű folyamatosan emelni. Más források, valamint saját adataink ugyanakkor azt mutatták, hogy a halfaj az utónevelés során akár édesvízben is sikerrel nevelhető, amennyiben az megfelelő vízkeménységgel rendelkezik, illetve szükséges lehet a víz időszakos felszórása 1,5-2 g/literes töménységre. Ebben az esetben a normál tengeri só alkalmazása javasolt.

4.4.2.3. A víz hőmérséklettel, illetve egyéb vízminőségi paraméterekkel (N-formák, oxigén-telítettség) szemben támasztott követelmények

A halfaj víz hőmérséklettel szemben támasztott igényeivel kapcsolatban elmondható, hogy a lárva- és ivadéknevelés során annak optimális tartománya 27-27°C, az ezen érték fölötti víz hőmérséklet esetében a zsenge hal aktivitása csökken. Az utónevelés során, 25-26°C-os víz hőmérséklet mellett növekedési üteme és takarmányfelvétele meghaladja a barramundi esetében tapasztaltakat.

Szakirodalmi források, illetve saját adataink is azt mutatják, hogy ugyan a vörös árnyékhal a víz számos fizikai és kémiai paraméterével szemben érzékenyebb, mint a hasonló technológiában nevelt barramundi, a magas ammónia- és nitrit-koncentrációt

(NH_4^+ , NO_2^-) lényegesen jobban tolerálja, az igen magasnak mondható, akár a 0,5 mg/l-t nitrit-, illetve a 2 mg/l-t tartósan meghaladó ammónia-koncentrációt egyaránt jól viselte. A 0,5 mg/l-es NO_2^- értékig nem következik be étvágycsökkenés, az ezt meghaladó koncentráció esetében viszont már tapasztalható a takarmányfelvétel visszaesése.

A lárva- és az ivadéknevelés kezdeti szakaszában az optimális O_2 -koncentráció fenntartása érdekében szükséges a 100%-os telítettség beállítása. Az utónevelés során elegendő a kádakba befolyó víz 70-75% oxigén-telítettségének fenntartása, amely a takarmány elfogyasztását követően átmenetileg 62-65%-ra eshet vissza.

4.4.2.4. Takarmányozás

A vörös árnyékhal lárva-ja általában a kelés után 3 nappal kezd táplálkozni. Az intenzív környezetben nevelt zsenge halat kezdetben kerekeshalakkal etetik, majd a 11-15 nap között képessé válik a nagyobb méretű *zooplankton* megragadására. A lárva-importra alapozott termelés esetében rendszerint 15-20 napos korban szállítják a halakat, amelyek ebben a stádiumban *Artemia naupliuszt* fogyasztanak.

A frissen keltetett zooplankton esszenciális nyomelemekkel történő dúsítása javítja a lárvák megmaradását és növekedését. Az *Artemia* lárva-ival való etetés időszaka 1-1,5 hét, melyet követően egy rövid átszoktatási periódus beiktatásával könnyen átállítható a mesterséges, formázott takarmányokra. A száraz tápokra történő átszoktatást követően szükséges elvégezni állomány folyamatos, méret szerinti válogatását, amely hatékony eszköz a halfaj esetében leginkább ivadékkorban jellemző kannibalizmus visszaszorításában.

4.4.2.5. Termelési paraméterek

Az importra alapozott termelés esetében a vörös árnyékhal lárva- és ivadékok körében egyaránt általánosnak tekinthető, nagyarányú elhullás tapasztalható az állomány megérkezését követő 3-5. napon. Mindez feltehetően a közvetlenül a vér ion-koncentrációjában beálló zavar, közvetve pedig az ozmoreguláció leállításának a következménye.

A szállításkor fellépő jelentős stressz-hatás eredményeként ugyanis a hal nem iszik vizet, amely az ozmoreguláció leállása miatt rövidtávon is a homeosztázis felborulását idézi

elő. A vízivás megszűnésének oka a katekolamin hormon felszabadulása (Wedemeyer, 1996), melynek alapvető feladata a hal stresszt kiváltó tényezőkhez való alkalmazkodásának elősegítése, és amely egyben gyomor-összehúzódást idéz elő.

Az analitikai tisztaságú, szilárd magnézium-kloriddal ($MgCl_2$) végzett magnézium-kiegészítés eredményeként néhány órával a kezelést követően a további elhullások megszüntethetők, illetve a medencék alján fekvő, valamint a koordinátatlanul mozgó egyedek állapotának romlása is visszafordítható.

Az ivadékok szállítását követően tapasztalható egy második kallódási hullám, amely rendszerint kisebb mértékű elhullást eredményez. A nevelés második hetében elpusztult ivadékok esetében jól megfigyelhető a has beesése, amely feltehetően szintén a katekolamin hormon felszabadulásának (Wedemeyer, 1996), illetve a takarmányfelvétel szüneteltetésének következménye. A vörös árnyékhal nevelése során, a két említett elhullási hullámot követően, kedvező megmaradást érhető el.

A vörös árnyékhalak növekedési erélyére jellemző, hogy a 25 grammos testtömeget megközelítően 2 hónap alatt éri el, ezt követően megkezdhető a halak utónevelése. A piaci méretű, 30-45 dkg-os egyedek előállítására 7-8 hónapot vesz igénybe, ugyanakkor alacsonyabb, 25-26°C-os víz hőmérséklet mellett növekedési üteme meghaladja a hasonló technológiában nevelt barramundiét.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

5.1. Az *Artemia naupliusz* nyomelemekkel történő dúsítása

Az *Artemia* lárva különböző nyomelemekkel, köztük a cinkkel és a mangánnal történő dúsítási lehetőségeit, valamint a zooplankton elemfelvételét több szerző is vizsgálta (Sorgeloos et al., 2001; Nguyen et al., 2008; Figueiredo et al., 2009; Ribeiro et al., 2009; Hawkyard et al., 2011). Az *Artemia* kobalt felvételét illetően ugyanakkor nem állnak rendelkezésre szakirodalmi adatok.

Az élő táplálék különböző dózisú kobalt kiegészítésének eredményei alapján kijelenthető, hogy az *Artemia* kobalttal, mint kedvező élettani hatású nyomelemmel történő dúsítása sikeresen végrehajtható a gyakorlatban is alkalmazott, 24 órás gazdagítási periódus során. Az *Artemia* Co felvétele és az akkumulált nyomelem mennyiség a dúsítás során alkalmazott dózis növelésével párhuzamosan nőtt.

A zooplankton számára még az igen nagy (Kissa et al. 1984.), 1000 mg/l-es dózis sem bizonyult toxikusnak, a vízből még a nagy koncentráció mellett is hatékonyan akkumulálták a kobaltot. Bár a 24 órás gazdagítási periódust követően a legnagyobb kobalt koncentráció mellett sem tapasztaltunk elhullást a zooplankton állományokban, a lárvanevelési kísérlet megmaradással és kannibalizmussal kapcsolatos eredményei alapján elmondható, hogy ez a nyomelem szint feltehetően az élő táplálék mozgásképességének csökkenését eredményezheti.

A vizsgálat második szakaszában a frissen kelt *Artemia naupliust* kobalt, cink és mangán sókkal dúsítottuk két különböző koncentrációban és a 24 órás gazdagítási periódust követően a zooplankton minták nyomelem-tartalma tekintetében szignifikáns növekedést tapasztaltunk. A kiegészítés nem befolyásolta az élő táplálék nedvességtartalmát, amely egyezést mutat a Matsumoto et al. (2009) által közölt, más zooplankton fajok cink dúsításával kapcsolatos eredményekkel.

Ugyanebben a tanulmányban a szerzők megállapították, hogy a *Rotatoria* által akkumulált cink koncentráció párhuzamosan nő a dúsítás során alkalmazott nyomelem dózisokkal. Az említett eredményhez hasonlóan kísérletünkben az *Artemia* kobalt, cink és mangán felvétele a nyomelem kiegészítés koncentrációjával együtt nőtt.

Szakirodalmi források bizonyítják, hogy interaktív kölcsönhatások figyelhetők meg néhány fém tekintetében az elem felvétel során, különböző alsórendű rák fajok esetében

(Wright, 1995; Rainbow et al., 2000; Barata et al., 2002; Seebaugh és Wallace, 2004). Kísérletünkben egyértelmű összefüggést mutattunk ki az egyes nyomelemek alkalmazott koncentrációja és a zooplankton minták elemtartalma között, a kobalt kivételével. A Co koncentráció valamennyi kezelés esetében, ahol alkalmaztuk a nyomelemet, nőtt a kontrollhoz képest, ugyanakkor a zooplankton cink jelenlétében kisebb mennyiséget akkumulált azokhoz a kezelésekhöz viszonyítva, amelyekben a kobaltot önmagában adagoltuk. Az *Artemia* Zn és Mn felvételére más nyomelemek jelenléte nem volt hatással. A zooplankton gazdagítása során az alkalmazott nyomelem koncentrációk és kombinációk tekintetében nem tapasztaltunk a toxikus hatást. Mindez alátámasztja a korábbi, *Artemia*-val kapcsolatos következtetéseket, melyek szerint a zooplankton a nagy elemkoncentrációkkal szemben igen tág tűrőképességgel rendelkezik (Gajbhiye és Hirota, 1990). Azon a kezeléseknél Zn tartalma, amelyekben cink kiegészítést nem alkalmaztunk, szignifikánsan eltért egymástól. Ennek oka feltehetően az élő szervezetekre jellemző, viszonylag tág határok között változó Zn tartalom.

5.2. A barramundi lárva etetése a nyomelemekkel dúsított *Artemiával*

Az egyedek között kannibalizmust a halak 410 családjából 36 esetében figyeltek meg, amely a fajok sajátosságaitól és a környezettől függően különböző korosztályokban és mérettartományban fordul elő (Hecht és Pienaar, 1993). A kannibalizmus a barramundi intenzív nevelése során is kiemelt problémát jelent és jelentős veszteségeket eredményez a korai életszakaszban, elsősorban a 10 cm-es testhossz eléréséig (Qin et al., 2004). Számos kutatást végeztek a jelenség visszaszorítása érdekében, amelyek főként az abiotikus tényezők befolyásolására összpontosítottak (Quin et al., 2004; Arockiaraj és Appelbaum, 2011).

A különböző környezeti tényezők nagymértékben befolyásolják a kannibalizmus mértékét, ugyanakkor az állományok szétnövése és az ennek következményeként kialakuló kannibalizmus szempontjából a táplálék hozzáférhetősége és minősége kiemelt tényezőknek tekinthetők (Kestemont et al., 2003).

A vörös tengeri keszeg (*Pagrus major*) esetében megállapították, hogy az *Artemia naupliusz* nyomelem gazdagítása során a cink és a mangán alkalmazása önmagában, illetve kombinációban adagolva nem befolyásolta a lárvák megmaradását és a kezelésekben tapasztalt kallódás a kannibalizmus következménye (Nguyen et al., 2008).

Kísérletünkben a Co-1, Co-2, Mn-1, Mn-2, CoZn-1 és CoZn-2 csoportok megmaradása statisztikailag nem különbözött a kontrolltól, ugyanakkor a kombinációban végzett kobalt-mangán kezelések esetében statisztikailag is magasabb elhullást tapasztaltunk. Mivel elhullott egyedeket az akváriumokban nem találtunk, a mortalitás oka egyértelműen a kannibalizmus volt. A CoMn-1 és a CoMn-2 csoportok esetében megfigyelt magas elhullás és kannibalizmus egyik lehetséges oka, hogy a Co és a Mn együttes, elemkombinációban történő alkalmazása szétnövést eredményezett az állományban, amely kedvezett a predátorok megjelenésének.

Az említett kezelések Gauss féle populáció eloszlása jelentős méretbeli különbségeket mutatott az állományokban, míg a többi csoport a kontrollhoz hasonló, normális eloszlási görbét produkált. Habár a gazdagítás során az *Artemia* lárvák esetében nem figyeltünk meg elhullást, illetve más, toxikus hatásra utaló jeleket, az élő táplálék vitalitása és mozgásképesége csökkenhetett a nagy dózisú kobalt-mangán kombinált kiegészítések eredményeként. Mindez hatással lehetett a táplálék hozzáférhetőségére, ezáltal a lárvák

étvágyára és zooplankton fogyasztására, amely szintén hozzájárulhatott az állományok szétnövéséhez.

Hassan et al. (1992) és Schwalbe et al. (2012) bizonyították, hogy a kobalt adagolása hatással van a ragadozó halfajok oldalvonalának működésére, melynek eredményeként a zsákmány állatok mozgása által kiváltott hidrodinamikai inger érzékelésének képessége lecsökken. A kobalt hatása kalcium jelenlétében kisebb mértékben érvényesül, így a jelenség elsősorban édesvízben, alacsony Ca tartalom mellett fordul elő (Karlsen és Sand, 1987). Feltehetően az ismertetett tényezők következményeként a kísérletünkben a kobalt kiegészítés nem volt hatással a barramundi lárvák oldalvonalának működésére, ezáltal az *Artemia* mozgásának érzékelésére, mivel a vizsgálat sós vízben, az alkalmazott szintetikus tengeri só felhasználása miatt viszonylag nagy Ca koncentráció mellett történt.

A barramundi lárvák testhossza és nedves testtömege szignifikánsan nőtt azokban a kezelésekből, amelyekben a halak mangánnal dúsított *Artemia*-t fogyasztottak. Ez az eredmény hasonlóságot mutat a Nguyen et al. (2008) által közölt adatokkal, melyek szerint az *Artemia* lárvák Mn kiegészítése szignifikánsan javította a vörös tengeri keszeg növekedési mutatóit.

Kísérletünkben a kiegészítés során alkalmazott mangán koncentráció, ezáltal a barramundi lárvák nyomelem tartalma magasabb volt (Mn-1: $0,14 \pm 0,07$ mg/g; Mn-2: $0,18 \pm 0,06$ mg/g), mint a Watanabe et al. (1997) által megadott szükségleti értékek. Eredményeink alapján kijelenthető, hogy a jelentősen magasabb $MnCl_2$ koncentráció nincs negatív hatással a barramundi lárvák növekedési mutatóira, mivel a legjobb növekedési erélyt azok a kezelésekképzik, amelyekben a nagyobb, 100 mg/l-es kobalt dózist alkalmaztunk a zooplankton dúsítása során.

A mangán mellett a kobalt kiegészítés is szignifikánsan pozitív hatással volt a lárvák testhosszára és egyedi, nedves testtömegére a kontrollhoz viszonyítva. A dúsítás során alkalmazott Co dózisek szintén magasabbak voltak, mint a Watanabe et al. (1997) által ajánlott mennyiségek, toxikus hatást ezen nyomelem adagolása során sem tapasztaltunk.

Habár valamennyi kobalttal kezelt csoportban javultak a növekedési mutatók a kontrollhoz képest, kisebb Co koncentráció (50 mg/l $CoCl_2$ kiegészítés) mellett a lárvák kedvezőbb növekedést mutattak, mint a nagyobb, 100 mg/l-es dúsítás esetében. Mindez arra utal, hogy a lárva számára a nagyobb dózisú kobalt kiválasztásához, illetve raktározásához több energia felhasználása szükséges, amely növekedésüket lassítja.

Hasonló eredményeket kaptunk azon kezelések esetében, amelyekben a Co kiegészítést cinkkel kombinációban végeztük. A Co és a Zn együttes alkalmazása során a kisebb dózisú kezelés bizonyult kedvezőbbnek a növekedési mutatók tekintetében, emellett nem találtunk statisztikailag igazolható különbséget a kobalttal önmagában, illetve cinkkel kombinációban végzett kiegészítések között sem.

Habár a halak esetében a cink hiánya csökkent növekedést eredményezhet (Ogino és Yang, 1978), a növekedést és a takarmányértékesítés tekintetében sem találtak különbséget a nagy dózisú Zn kiegészítés (15-600 mg/kg Zn) eredményeként a szivárványos pisztráng ivadékoknál (Wekell et al., 1983).

A kísérletünk során a kobalt és a cink együttes alkalmazásával kapcsolatban nyert adatok azt mutatták, hogy a kobalt önmagában, illetve a cinkkel kombinációban adagolva is hasonlóan hat a barramundi lárvák növekedési mutatóira. Emellett eredményeink alapján megállapítható az is, hogy a táplálékban levő Co koncentráció változása nagyobb hatással van a lárvák növekedésére, mint a Zn tartalom változása.

A Co és a Mn együttes alkalmazása a kontrollhoz képest nagyobb testhosszt és testtömeget eredményezett. A CoMn-1 és CoMn-2 csoportokban az alkalmazott kezelések a kannibalizmus által a megmaradást is szignifikánsan befolyásolták, így ezekben a csoportokban a megmaradt egyedek nagy növekedési erélye főként a kannibalizmus következményeként értékelhető.

A többi kezelés esetében tapasztalt magasabb megmaradási arány ugyanakkor a CoMn-1 és a CoMn-2 csoportokhoz képest mutatott alacsonyabb növekedési mutatók eredménye is, mivel a magasabb állománysűrűség potenciális stressz forrást jelent, amely negatív hatással van a halak növekedésére (Canario et al., 1998, Lefrançois et al., 2001).

A barramundi lárvák cink koncentrációja nem tért el szignifikánsan a kontrolltól azokban a kezelésekben, amelyekben önmagában mangánt és kobaltot, illetve a Mn és Co kombinációját alkalmaztuk. A kobalt és a cink együttes adagolása során a lárvák Zn koncentrációja az alkalmazott dózissal párhuzamosan nőtt.

Nguyen et al. (2008) által a vörös tengeri keszeggel végzett vizsgálatok során nem találtak kölcsönhatást a halak Zn és Mn felvétele között. Eredményeink alapján kijelenthető, hogy a Mn mellett a Co sem befolyásolja a lárvák Zn akkumulációját, ugyanakkor a kobalt felvétel hatékonysága csökken abban az esetben, ha a kiegészítés cinkkel egyszerre, kombinációban történik.

Az etetési kísérlet során nyert adatok alapján megállapítható, hogy a barramundi lárvák esetében a Co negatívan befolyásolja a halak Mn felvételét, illetve mindez fordított esetben is igaznak bizonyult. Azokban a csoportokban, amelyekben a mangánt önmagában alkalmaztunk, a lárvák Co koncentrációja szignifikánsan csökkent a kontrollhoz képest, illetve hasonló eredményeket tapasztaltunk a lárvák Mn tartalma tekintetében, amennyiben kizárólag kobaltot adagoltunk. A Co és a Mn együttes alkalmazása során a lárvák kevesebb kobaltot akkumuláltak. Ugyanezen kezelések esetében, a Mn kiegészítés dózisének ellenére, az akkumulált Mn tartalom nem növekedett. Habár a kobalt-mangán kombinált kezelésekben a kialakult jelentős mértékű kannibalizmus a nyomelemek felvételét befolyásolhatta, eredményeink alapján negatív kölcsönhatás feltételezhető a barramundi lárvák Co és Mn felvétele között.

5.3. A nyomelemek alkalmazása az ivadéknevelésben

A lárwanevelés során az élő táplálék kobalt, cink és mangán kiegészítése, számos egyéb tengeri halfajhoz hasonlóan (Nguyen et al., 2008), jelentős hatással volt a barramundi termelési paramétereire és egyöntetűségére. A nyomelemekkel dúsított zooplankton fogyasztása minden elem kombináció és dózis esetében kedvezőbb növekedést eredményezett a kontroll kezeléshez képest.

Habár az ivadéknevelési kísérletben az alkalmazott nyomelem kombinációkat és dóziseket a lárwanevelés során elért eredmények alapján határoztuk meg, a kereskedelmi forgalomban kapható száraz takarmány ugyanezen mikroelemekkel történő kiegészítése nem befolyásolta a barramundi ivadékok növekedési mutatóit és takarmányértékesítését.

A mesterséges tápok mangán (Tan et al., 2012) kiegészítése számos halfaj esetében kedvezően befolyásolta a növekedést, kísérletünkben a mangán önmagában, illetve kobalt-mangán kombinációkban történő alkalmazása sem volt hatással a nyomelemekkel dúsított száraz takarmánnyal etetett barramundi ivadékok egyedsúlyára és növekedési ütemére.

Eredményeink egyezést mutatnak a Lin et al. (2008) által közölt adatokkal, amelyek szerint a takarmány mangán kiegészítése nem befolyásolta a halak termelési paramétereit. A nílusi tilápiával végzett kísérletek eredményei alapján a szerzők megállapították, hogy a halfaj Mn szükséglete 7 és 63 mg/kg között van, amellyel szemben az általunk alkalmazott tápok Mn tartalma lényegesen magasabb, $49,05 \pm 4,33$ mg/kg, míg a Mn-50 és a CoMn-50 kezelések esetében 100 mg/kg volt.

A cink takarmány-kiegészítőként való alkalmazása a kontrollhoz képest kedvezőbb növekedést eredményezett a nílusi tilápiá ivadékok esetében (Carmo e Sá et al., 2004), ugyanakkor a magasabb 100-400 mg/kg-os Zn kiegészítés már nem volt hatással a növekedési mutatókra. Az általunk alkalmazott kontroll takarmány cink tartalma $90,99 \pm 4,22$ mg/kg volt, amelyhez a Zn-50 és a CoZn-50 kezelések esetében további 50 mg/kg nyomelemet adagoltunk, amely jóval meghaladja a különböző halfajok Zn szükségletét (Watanabe et al., 1997).

Habár Davis és Gatlin (1991) magasabb, 100-150 mg/kg Zn szükségletéről számolnak be munkájukban, eredményeink azt mutatják, hogy a barramundi ivadékok esetében a kontroll takarmány $90,99 \pm 4,22$ mg/kg-os Zn tartalma önmagában fedezi a szükségleteket,

mivel a takarmány Zn kiegészítése nem volt szignifikáns hatással a növekedési paraméterek alakulására.

Li és Robinson (1996) hasonló eredményekről számoltak be a csatornaharcsa esetében, amellyel kapcsolatban a szerzők megállapították, hogy amennyiben a takarmányban az állati fehérjék, ezen belül is elsősorban a halliszt megfelelő mennyiségben vannak jelen, a halfaj a növekedés szempontjából nem igényel Zn kiegészítést.

Kísérletünkben a mesterséges takarmány kobalt kiegészítése önmagában, illetve kobalt-cink és kobalt-mangán kombinációban sem javította szignifikánsan az ivadékok növekedési mutatóit. A ponty (Castell et al., 1986; Mukherjee és Kaviraj, 2009) és a szivárványos pisztráng (Hosseini et al., 2008) esetében a Co adagolása kedvezően befolyásolta a növekedést.

Az általunk alkalmazott kontroll táp nem tartalmazott kobaltot, ugyanakkor a különböző halfajok Co szükséglete Watanabe et al. (1997) szerint igen alacsony, száraz tápok esetében 0,05-1 mg/kg. Ezzel szemben Anadu et al. (1990) megállapították, hogy a nílusi tilápia takarmányának meglehetősen magas, 250-500 mg/kg-os kiegészítése szignifikánsan jobb növekedési ütemet eredményezett.

Kísérletünkben a Co-50, a CoZn-50 és a CoMn-50 kezelések esetében a takarmány Co koncentrációja 50 mg/kg volt, amely jóval magasabb, mint a Lin et al. (2010) által megállapított, 10-20 mg/kg érték, amely eredményeik szerint a kontrollhoz képest kedvezőbb testtömeg-gyarapodást produkált.

A barramundi ivadékokkal végzett vizsgálatunk végén a mesterséges táp nyomelem-kiegészítése nem befolyásolta a halak takarmányértékesítését. Habár mind a kobalt (Lin et al., 2010), mind a cink (Ma et al., 2014) adagolása kedvezően hat a különböző halfajok takarmányértékesítésére, eredményeink alapján kijelenthető, hogy a Co és a Zn önmagában, illetve elem kombinációban történő alkalmazása sem javította a mutatót.

Habár a kannibalizmus különösen a nevelés korai szakaszaiban, elsősorban a lárvanevelés során okoz jelentős veszteségeket, a 10 cm-es testhossz eléréséig a barramundi ivadékok körében is gyakran előfordul (Qin et al., 2004).

Az élőeleségként szolgáló *Artemia nauplius* kobalttal és mangánnal végzett dúsítása a barramundi lárvák jelentős mértékű szétnövésehez, egyben a faj fiatal állományaira jellemző (Arockiaraj és Appelbaum, 2011) kannibalizmus felerősödéséhez vezetett.

Mindez a lárvenevelés során az említett kezelésekben a kontrollhoz képest magas elhullást eredményezett.

A száraz táp mikroelem kiegészítése során sem a cink, a kobalt és a mangán önmagában, sem az említett elemek kombinációban történő alkalmazása nem volt hatással az ivadékok egyöntetűségére, így a kísérlet során kannibalizmusból eredő elhullást nem tapasztaltunk.

Az esszenciális nyomelemekkel dúsított élő táplálék alkalmazása során a lárvák cink-felvételét a többi nyomelem jelenléte nem befolyásolta, ugyanakkor a kobalt és a mangán felvétele között erős antagonizmust tapasztaltunk, amely különösen a mangán esetében bizonyult jelentősnek. A mesterséges takarmány nyomelem-kiegészítése során a barramundi ivadékok kobalt, mangán és cink akkumulációjára a tápban lévő egyéb nyomelemek jelenléte nem volt hatással.

Míg az ivadékok cink beépülése nem különbözött a kontrol kezelés eredményétől, a kobalt- és a mangán-kiegészítés hatására a mért koncentráció mindkét esszenciális elem vonatkozásában szignifikánsan nőtt. A kontrollként, illetve a kísérleti takarmányok alapanyagaként alkalmazott, kereskedelmi forgalomban kapható táp jelentős, $90,99 \pm 4,22$ mg/kg cinket tartalmazott. Mivel az ivadékok cink-koncentrációja a többlet kiegészítés ellenére sem nőtt a kontrollhoz képest, kijelenthető, hogy az említett mennyiség önmagában fedezi a halfaj ezen korosztályának szükségletét.

Az ivadékok kobalt és a mangán felvétele ugyanakkor szignifikánsan nőtt a takarmány említett nyomelemekkel történő kiegészítésének hatására, amely azt feltételezi, hogy az alkalmazott táp nem fedezi teljes mértékben a korosztály igényeit a két elemet illetően. Habár a nyomelem szükséglet pontosabb kielégítésének pozitív következményei a 8 hetes kísérlet során a barramundi ivadékok termelési paramétereinek vonatkozásában nem mutatkoztak meg, a kobalt és a mangán növekedésre és csontfejlődésre kifejtett kedvező hatásai hosszabb távon nagyobb mértékben juthatnak érvényre.

5.4. A vörös árnyékhal ivadéknevelési technológiájának kidolgozása

Az első vörös árnyékhal állomány megérkezésekor a szállítás közben 100%-os elhullást tapasztaltunk. A jelenségről számos szakirodalmi forrás is beszámol. Robertson et al. (1988) szerint a szállításkor bekövetkező elhullási arány meghatározó tényezője a halak mérete, tehát a kockázat a testtömeg növekedésével párhuzamosan csökken.

A kísérleteink során vizsgált vörös árnyékhal ivadékok az izraeli akvakultúrából származtak, mindez a halak megfogása, illetve a Magyarországra történő megérkezése között, legkevesebb 24-28 órás szállítási időt feltételez. A Soletchnik et al. (1989) által közölt adatok alapján elmondható, hogy a halak mérete mellett a megmaradást leginkább a szállítás időtartama határozza meg. A halfaj lárvakori, a Mexikói-öböl területéről a Martinique szigetére történő szállításával kapcsolatban a szerzők megjegyzik, hogy míg a 12 órás szállítás során a megmaradás kedvezően alakult, addig a 19 órás időtartamot követően rendkívül magas elhullási arányt tapasztaltak.

Eredményeinket alátámasztják Caldwell és Tomasso (1985) kutatásai is, amely szerint a szállítás 9. óráját követően az előnevelt méretű vörös árnyékhal ivadékok megmaradási százaléka alig éri el az 50%-os értéket.

A vörös árnyékhal esetében a szállítás során, illetve közvetlenül azt követően gyakran tapasztalt, nagyarányú elhullás oka a vér ion-koncentrációjában beálló zavar, valamint az ennek következményeként fellépő ozmotikus sokk (Mazeaud et al., 1977). A jelentős stressz-hatás eredményeként a gyomor-összehúzódást előidéző katekolamin hormon szabadul fel, így a hal képtelenné válik azon, létfontosságú ionok vízből történő felvételére, amelyek az ozmoreguláció fenntartása szempontjából fontosak (Wedemeyer, 1996). A valódi eurihalin halfajok közé sorolható vörös árnyékhal számára ugyanis, a külső környezetből történő folyamatos ion és só áramlás biztosítása a homeosztázis fenntartása érdekében nélkülözhetetlen (Wurts, 1987a).

A második vörös árnyékhal állomány szállítása során nem tapasztaltunk elhullást. Ennek oka feltehetően a szállítóvíz magasabb só koncentrációja volt. Az ivadékokat rövid akklimatizálódás után üvegakváriumokba helyeztük, melynek sótartalmát 5 g/l-re állítottuk be. A megérkezésüket követő 3. nap reggelén azonban nagyarányú elhullást tapasztaltunk, ezért az akváriumokból származó vízmintákat analitikai vizsgálatnak vetettük alá és az így kapott eredményeket a Wurts és Stickney (1989) által közölt, azonos

sókoncentrációjú, hígított tengervíz ion-összetételével kapcsolatos adatokkal vetettük össze.

Az értékeket tekintve néhány fontos különbség kiemelhető. Szembetűnő az akváriumok vizének magas kalcium, kálium, magnézium és klorid tartalma a hígított, egyben az idézett szerzők által végzett kísérletben a legjobb megmaradást eredményező, 5 ppt-re hígított tengervízhez képest. A különbség oka az akváriumok feltöltéséhez használt kilevegőztetett csapvíz nagyfokú keménysége, amelyet tovább növelt a szintetikus tengeri sóval bevitt ion-koncentráció.

Mivel azonban a szakirodalmi adatok szerint a nagy vízkeménység pozitív hatással van a vörös árnyékhal ivadékok megmaradására (Neil, 1990; Crocker et al, 1983; Miranda és Sonsky, 1984; Wurts és Stickney, 1989), kijelenthető, hogy a hirtelen bekövetkező elhullásokat feltehetően nem önmagában a magas kalcium, kálium, magnézium és klorid koncentráció, hanem a Ca- és a Mg-ionok egymáshoz viszonyított aránya okozta. Eredményeink alapján kijelenthető, hogy analitikai tisztaságú magnézium-klorid ($MgCl_2$) alkalmazásával nemcsak a további elhullások szüntethetők meg, hanem az ozmotikus sokktól szenvedő, a vízoszlop alsó régiójában elfekvő egyedek egészségügyi állapotában is jelentős javulás érhető el.

A vörös árnyékhal ivadékok akváiumi nevelése során tapasztaltunk egy második kallódási hullámot, amelynek mértéke nem közelítette meg a szállítás után közvetlenül bekövetkezett, nagyarányú elhullását. Az ebben az időszakban elpusztult ivadékok esetében jól megfigyelhető volt a has beesése, feltehetően ezek az egyedek a megérkezésüktől az elhullásokig eltelt napok során egyáltalán nem fogyasztottak takarmányt.

A szállítást követő, 7-14. napon bekövetkező második kallódási hullámról más szerzők is tesznek említést (Tomasso és Carmichael, 1988; Robertson et al., 1988), melynek egyik lehetséges oka a Wedemeyer (1996) által említett katekolamin hormon felszabadulása. A vörös árnyékhal szállítása során és a közvetlenül azt követő időszakban fellépő stressz-hatás a vérplazma kortizol és glükóz koncentrációjának hirtelen emelkedésével és összefüggésbe hozható (Robertson et al., 1988).

Az említett paraméterek elsősorban az ivadékok megfogásakor érik el maximális értékeiket, később visszaállnak eredeti tartományukba. A szerzők ugyanakkor egy másodlagos kortizol csúcsról is beszámolnak, amely rendszerint a szállítást követő 7-14.-

napon következik, feltehetően a betelepítéssel járó stressz és az ebben a szakaszban elfogyasztott kevés tápláléknak köszönhetően. Mivel az általunk nevelt vörös árnyékhal ivadékok második kallódási hulláma során jól megfigyelhető volt a has beesése, illetve a gyomor összehúzódása, kijelenthető, hogy az említett tényező is szerepet játszott az ebben az időszakban bekövetkező elhullásokban.

Vizsgálataink során a néhány hetes akváriumi nevelést, illetve az állomány általános egészségügyi állapotának stabilizációját követően, a vörös árnyékhal ivadékokat egy önálló recirkulációs rendszerbe helyeztük. A tovább nevelés során a halak kedvező megmaradást, növekedési ütemet és takarmányértékesítést mutattak, az ezzel kapcsolatos eredményeink megfelelnek a nemzetközi irodalmi források által közölt adatoknak, amelyek hasonló körülmények között nevelt állományokra vonatkoznak (Soletchnik et al., 1989).

6. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a frissen keltett *Artemia naupliusz* a 24 órás dúsítás során nagy mennyiségben képes akkumulálni a kobaltot. A kobalt-kloriddal végzett gazdagítás által a zooplankton az alkalmazott fémsó koncentrációjával párhuzamosan, nagy hatékonysággal akkumulálta a mikroelemet és még az igen magasnak tekinthető, 1000 mg/l-es dózis sem bizonyult toxikusnak a vízi szervezet számára. Az élő táplálékszervezetek kobalttal történő dúsítási lehetőségeit és felvételét illetően mindezidáig nem álltak rendelkezésre szakirodalmi források.
2. A frissen keltetett *Artemia naupliusz* kobalttal, cinkkel és mangánnal, különböző dózisokban és kombinációkban végzett dúsításának eredményei alapján megállapítottam, hogy a zooplankton a 24 órás dúsítási periódus során valamennyi alkalmazott nyomelemet képes hatékonyan akkumulálni. Kijelenthető, hogy az analitikai tisztaságú kobalt-klorid, cink-szulfát és mangán-klorid fémsók megfelelőek az *Artemia* lárvák beltartalmának javítása szempontjából. Az élő táplálékszervezet mikro elem felvétele során keresztthatások nem érvényesültek.
3. A barramundi lárvák nyomelemekkel gazdagított *Artemia naupliusszal* történő etetése során megállapítottam, hogy valamennyi alkalmazott mikro elem dózis és kombináció kedvezőbb növekedési mutatókat eredményezett a kontroll kezeléshez viszonyítva. A lárwanevelési kísérlet eredményei alapján ugyanakkor kijelenthető, hogy a kobalt és a mangán együttes adagolása az egyedek közötti kannibalizmus erősítésén keresztül, alacsonyabb megmaradást eredményez az állományban.
4. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a beltartalmában gazdagított *Artemia naupliust* fogyasztó hallárvák kobalt és mangán felvétele között kompetitív jellegű, antagonisztikus kölcsönhatás feltételezhető. A két nyomelem együttes adagolása során a kezelt állományokban kialakult jelentős kannibalizmus és alacsony megmaradás részben ennek a kapcsolatnak tulajdonítható. Az említett jelenség másik kiváltó oka, feltételezésem szerint, a nyomelem kombináció alkalmazásának következményeként

az élő táplálék mozgásképességének csökkenése, amely negatívan befolyásolta a zsákmányállatok hozzáférhetőségét a zsenge lárva számára.

5. Kutatásom során megállapítottam, hogy a mesterséges takarmány nyomelem kiegészítése nem befolyásolja a barramundi ivadékok legfontosabb termelési mutatóit. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az általunk kontrollként felhasznált táp $90,99 \pm 4,22$ mg/kg-os cink tartalma önmagában fedezi a halfaj ezen korosztályának nyomelem szükségletét, mivel a többlet kiegészítés hatására sem a termelési paraméterek, sem az elem felvétel tekintetében nem mutatkozott eltérés a kontrollhoz viszonyítva. Bár az ivadékok termelési mutatói a kobalt és a mangán dúsítás hatására sem változtak, a két nyomelem halakban mért, a kontrollhoz képest megnövekedett koncentrációja alapján az a következtetés vonható le, hogy a halfaj szükségletei magasabbak a kontroll tápban megállapított értékeknél.

6. Munkám során megállapítottam, hogy a vörös árnyékhal esetében a szállításkor fellépő stressz-hatás, illetve az azt követő néhány napban tapasztalt magas elhullás a víz ion-összetételének manipulációjával mérsékelhető és a magnézium-kloriddal végzett magnézium-kiegészítés hatékony eszköz a vörös árnyékhal ivadékok számára optimális kalcium-magnézium arány beállítása céljából. A $MgCl_2$ alkalmazása nemcsak a további elhullásokat állítja meg, hanem az ozmotikus stressz következményeként elbódult egyedek általános állapotában is javulás érhető el.

7. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A barramundi (*Lates calcarifer*) és a vörös árnyékhal (*Sciaenops ocellatus*) tág só-tűrésű, melegvízi ragadozó halfajok, amelyek Dél-kelet Ázsiában, illetve a Mexikói-öböl partvidékén őshonosak. Habár mindkét halfaj újnak tekinthető a hazai akvakultúrában, geotermikus adottságainknak köszönhetően Magyarországon is sikerrel nevelhetők.

A doktori értekezés a barramundi és a vörös árnyékhal lárvá- és ivadéknevelési technológiájára, illetve takarmányozására vonatkozó eredményei hasznos információkat szolgáltatnak a két halfaj hazai haltermelésben történő meghonosítását illetően.

Az élő táplálékszervezetek, köztük az *Artemia naupliusz* nélkülözhetetlen szerepet játszanak a különböző tengeri halfajok lárvanevelésében. A természetes környezetben előforduló zooplankton ugyanakkor jóval magasabb nyomelem tartalommal rendelkezik, mint az általánosan alkalmazott, frissen keltetett *Artemia*.

A kutatás egyik célkitűzése a nyomelemek barramundi lárvák növekedésére gyakorolt hatásainak vizsgálata volt, az élő táplálék kobalt, cink és mangán kiegészítésén keresztül. Az eredmények azt mutatták, hogy a mikro elemekkel dúsított zooplankton etetése kedvezően befolyásolta a lárvák termelési mutatóit. Mivel valamennyi alkalmazott nyomelem esszenciális a halak számára, kijelenthető, hogy az elért eredmények hozzájárulnak a lárvakori takarmányozás fejlesztéséhez.

A különböző nyomelemek növekedésre és általános egészségügyi állapotra gyakorolt kedvező hatásai ismertek az ivadéknevelésben, mivel a megfelelő beltartalmú mesterséges takarmányok alkalmazása létfontosságú a tengeri halfajok korai életszakaszaiban. Ugyanakkor a barramundi kobalt, cink és a mangán szükségletét, valamint a száraz tápok említett nyomelemekkel történő kiegészítésének növekedésre gyakorolt hatásait illetően kevés irodalmi adat áll rendelkezésre.

Habár a dúsítás nem befolyásolta az ivadékok legfontosabb termelési mutatóit, a halak kobalt és mangán tartalma szignifikánsan nőtt a takarmány kiegészítés eredményeként. Az értekezésben megfogalmazott következtetések megalapozhatják a további, barramundi ivadékok kobalt és mangán szükségletének meghatározását célzó kutatásokat.

A vörös árnyékhal alacsony stressz-tűréssel rendelkezik, így szállítása során, valamint közvetlenül azt követően, jelentős elhullással számolhatunk. A kutatásaim során a víz

ionösszetételének vizsgálatakor azon összetevőkre helyeztem a hangsúlyt, amelyek kiemelt szerepet játszanak az ivadékok megmaradásában.

Az elért eredmények azt mutatták, hogy az ozmotikus stressz eredményeként fellépő elhullás mértéke a víz magnézium-kloriddal történő kiegészítésével, ezáltal a kalcium-magnézium arány optimalizálásával jelentősen csökkenthető. A víz megfelelő ionösszetételével, valamint a vörös árnyékhal ivadékok növekedésével és takarmányértékesítésével kapcsolatos következtetések alapján összeállításra került az a technológiai leírás, amely fontos információkat szolgáltat a halfaj hazai akvakultúrába történő bevezetését illetően.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A doktori kutatásom során két, a hazai akvakultúrában újnak tekinthető halfaj, a barramundi (*Lates calcarifer*) és vörös árnyékhal (*Sciaenops ocellatus*) lárva- és ivadéknevelési technológiáját tanulmányoztam. Az elvégzett vizsgálatokban kiemelt figyelmet fordítottam az esszenciális nyomelemek alkalmazási lehetőségeinek feltárására, mindkét halfajt illetően.

Az esszenciális nyomelemek biológiai rendszerekben betöltött szerepe jól ismert, ugyanakkor a haltakarmányozás területén alkalmazásuk tekintetében kevés információ áll rendelkezésre. A kobalt a természetesen vizekben előforduló mikroelem, amely nyomnyi mennyiségben a gerincesek számos életfolyamatában játszik nélkülözhetetlen szerepet, részt vesz a B₁₂-vitamin szintézisében, emellett számos enzim alkotórésze. A cink és a mangán a kobalttal ellentétben gyakran alkalmazott nyomelemek a halnevelésben, mivel nélkülözhetetlenek az optimális növekedés és csontképződés szempontjából.

A doktori értekezés célkitűzése a kobalt, a cink és a mangán alkalmazási lehetőségeinek feltárása a barramundi nevelésének korai szakaszaiban, a lárva számára nélkülözhetetlen élő táplálékként szolgáló *Artemia naupliusz*, illetve a tápra szoktatott ivadékok esetében a mesterséges takarmány nyomelem kiegészítésén keresztül. A vörös árnyékhal szempontjából legfontosabb makro és mikroelemek élettani hatásait nem a takarmány által történő adagolás, hanem a vízből való felvétel alapján vizsgáltam.

A kutatás során első lépésben 24 órás dúsítás során vizsgáltam a frissen keltetett *Artemia naupliusz* kobalt akkumulációját, különböző dózisok alkalmazása mellett. A monoelemes nyomelem dúsítást követően elemeztem a kobalt, a mangán és a cink együttes adagolásának lehetőségeit, amely során megfigyeltem az élő táplálék nyomelem-felvételét jellemző kölcsönhatásokat is. A zooplankton kiegészítés után a beltartalmában gazdagított élő eleség etetésének termelési mutatókra gyakorolt hatásait 14 napos barramundi lávákkal vizsgáltam. Az elvégzett kísérletek harmadik szakaszában egy kereskedelmi forgalomban kapható száraz takarmányt egészítettem ki a lárvanevelés során is alkalmazott nyomelemek különböző kombinációival. A vörös árnyékhal szállítása során sok esetben jelentős elhullással számolhatunk, ezért a halfaj hazai nevelését megalapozó vizsgálatokban, a megmaradás szempontjából létfontosságú, a víz ion-összetételével kapcsolatos tényezőket tanulmányoztam.

Az eredmények azt mutatták, hogy a frissen keltetett *Artemia* lárva a 24 órás dúsítási periódus során nagy mennyiségben és hatékonyan, az alkalmazott koncentrációval párhuzamosan képes akkumulálni a különböző halfajok szempontjából esszenciális kobaltot. A zooplankton számára a magas, 1000 mg/l-es dózis sem bizonyult toxikusnak. Az *Artemia naupliusz* a kobalttal, cinkkel és mangánnal, különböző dózisokban és kombinációkban végzett dúsítás során, a monoelemes kezelésekhez hasonlóan, az alkalmazott nyomelemeket hatékonyan akkumulálta. Az élő táplálékszervezet mikroelem felvétele során keresztthatások nem érvényesültek.

A barramundi lárvák nyomelemekkel gazdagított *Artemia naupliusszal* történő etetése valamennyi mikroelem és kezelés tekintetében statisztikailag is kedvezőbb növekedési mutatókat eredményezett a kontroll kezeléshez viszonyítva. A kobalt és a mangán együttes adagolása ugyanakkor az állományok szétnövéséhez, illetve kannibalizmushoz és alacsonyabb megmaradáshoz vezetett. A beltartalmában gazdagított élő eleség etetése szignifikánsan befolyásolta a halak nyomelem-felvételét, illetve összefüggést mutattam ki a zooplankton által akkumulált nyomelem koncentráció és a barramundi mintákban mért elemtartalom között. A lárvák nyomelem-tartalma alapján a kobalt és mangán felvétele között kompetitív jellegű, antagonisztikus kölcsönhatás állapítható meg.

A mesterséges takarmány kobalt, cink és mangán kiegészítése nem befolyásolta szignifikánsan a barramundi ivadékok növekedési ütemét, megmaradását és takarmányértékesítését, illetve az állományok egyöntetűségére sem volt hatással. Az ivadékok elemösszetétel vizsgálatának eredményei azt mutatták, hogy a kontrollként, valamint a nyomelemekkel dúsított kísérleti takarmányok alapanyagaként alkalmazott táp cink tartalma önmagában fedezi a korosztály nyomelem szükségletét. Bár az ivadékok legfontosabb termelési mutatói a kobalt és a mangán kiegészítés hatására sem változtak, a nyomelemek halakban mért, a kontrollhoz képest szignifikánsan nagyobb koncentrációja alapján a halfaj szükségletei magasabbak a kontrolltáp esetében megállapított értékeknél.

A vörös árnyékhal ivadékokkal végzett vizsgálatok alapján bizonyítást nyert, hogy a nevelés során a víz kalcium-magnézium arányának optimalizálása kiemelt jelentőségű, különösen közvetlenül a szállítást követően. Miután megállapítottam, hogy az állomány fogadásához használt akváriumokban a vízkeménység megfelelő a halfaj számára, a magnézium-kloriddal végzett kiegészítés eredményeként sikerült mérsékelni az ozmotikus stressz következményeként fellépő elhullást. A halfaj további nevelése során

a rendelkezésre álló irodalmi források alapján megfelelő növekedést és takarmányértékesítést értünk el. Az eredmények figyelembe vételével összeállításra került egy technológiai leírás, amely fontos információkat szolgáltat a vörös árnyékhal termelésének hazai lehetőségeit illetően.

9. SUMMARY

Larval and juvenile rearing of barramundi (*Lates calcarifer*) and red drum (*Sciaenops ocellatus*) were investigated in this dissertation which can be considered as new fish species in Hungarian aquaculture. In the experiments considerable attention were given to assess the importance of trace minerals in fish nutrition, regarding both species.

The role of essential trace minerals in biological systems is well known, however, less information is available considering fish nutrition. Cobalt is a naturally occurring element in the aquatic environment and is essential in trace amount for many living functions of vertebrates. It is necessary for the synthesis of B12 vitamin and is itself also a cofactor for several enzymes. Zinc and manganese are widely used in fish nutrition since both are necessary for optimal growth and skeletal development as well as both play an important role in numerous physiological processes.

The main aim of the current dissertation is to establish the possibilities of cobalt, zinc and manganese enrichment in the early life stages of barramundi, through the trace mineral supplementation of live feed *Artemia nauplii* for the larvae, as well as micro element supplementation of artificial dry diet for juveniles. The physiological impacts of the most important micro and macro elements regarding red drum are investigated by the uptake from the ambient water.

In the first part of the current study, the cobalt accumulation of *Artemia nauplii* is analysed after the 24 hours enrichment period with the addition of different doses of cobalt chloride. Further experiments are carried out with cobalt, zinc and manganese enrichment of live feed in combined treatments and special attention was given to observe the interaction of trace minerals in the uptake of zooplankton. The accumulation and effects of the added minerals on the larval growth performance of barramundi were investigated, when the retention occurs through a nourishment organism. In the third phase of dissertation, commercially available dry feed was supplemented with the different combinations of trace minerals applied previously in the larval rearing trials. Red drum is well known to be a less stress tolerant fish species. Therefore, during and after transportation, significant losses can be taken into account. Thus in the experiments conducted with juveniles, the ion content of ambient water vital for the survival of species was analysed.

The results showed that newly hatched *Artemia nauplii* effectively accumulated high concentration of cobalt during the 24 hours enrichment period and the level of this essential trace element increased in parallel with the dose of supplementations. Even the addition of the highest (1000 mg L⁻¹) cobalt chloride dose didn't prove to be toxic for the zooplankton. The enrichment of *Artemia nauplii* with the trace element salts of cobalt, zinc and manganese in different concentrations and combinations resulted in significantly elevated level of these elements in the harvested brine shrimp samples. In this experiment, a linear relationship was found between the applied concentrations of the added trace elements and the measured concentrations of the *Artemia* samples, while interactions were not observed in the mineral retention of live feed organism.

The results of the feeding trial showed that the use of trace element enriched *Artemia nauplii* fed to barramundi larvae resulted in significantly higher larval growth performance compared to the control. However, increased mortality and rate of cannibalism were observed in cobalt-manganese treatments, since the combination of these elements might be resulted in the production of a less uniform larvae population in which potential predators could appear. The use of enriched live feed had significant effect on the trace mineral retention of barramundi larvae. Redundancy analysis showed a strong correlation between the cobalt and manganese concentration of *Artemia* and fish samples, as well as a total agreement between the zinc concentration of the zooplankton and the larvae. No interaction occurred between the retention of zinc and cobalt, but a competitive type of interaction is assumed between the deposition of cobalt and manganese in barramundi larvae.

The trace mineral supplementation of artificial dry diet did not have an impact on the growth performance, survival and feed conversion ratio of barramundi juveniles, as well as the addition of cobalt, zinc and manganese neither alone, nor in combination affected the size distribution of barramundi juveniles. In addition, mortality originated from cannibalistic behaviour did not occur during the experiment. Since no significant differences were found in the zinc levels of juveniles between the treatments, it can be stated that the zinc concentration of the applied basal diet meets the dietary requirements of this age in itself. The growth performance and survival were not affected by the cobalt and manganese enrichment. However, the concentration of same trace minerals in fish was elevated significantly with the supplementation dose of dry feed, assuming that the

dietary cobalt and manganese demand of juvenile barramundi is higher than the levels of these trace minerals found in basal diet.

According to the results of the red drum experiments, it can be stated, that the optimisation of the calcium-magnesium ratio in ambient water is essential for the appropriate survival of juveniles, particularly right after the transportation. After it was established that the water hardness in aquaria was optimal for the species, the mortality caused by osmotic stress was reduced significantly by the magnesium-chloride supplementation. In further experiments, appropriate growth performance and feed conversion was achieved in comparison with available scientific papers. According to these results a technological description was established serving essential information regarding the introduction of red drum to Hungary.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. Alder D.P.J. - Bennett E. - Christensen V. - Tyedmers P. - Watson R.: 2003. The future for fisheries. *Science*, 302. 1359-1361.
2. Anadu, D.I. - Anozie, O.C. - Anthony, A.D.: 1990. Growth responses of *Tilapia zillii* fed diets containing various levels of ascorbic acid and cobalt chloride. *Aquaculture*, 88. 329-336.
3. Arockiaraj, A.J. - Appelbaum, S.: 2011. Sibling cannibalism in juvenile barramundi, *Lates calcarifer* (Actinopterygii: Perciformes: Centropomidae), reared under different light conditions. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 41, 7-11.
4. Atamanalp, M. - Kocaman, E. - Gonzalez-Guerrero, M.: 2007. The structure and function of heavy metal transport P-1 B-ATPases. *Biometals* 20, 233-248.
5. Banerjee, R. - Ragsdale, S.W.: 2003. The many faces of vitamin B12: catalysis by cobalamin-dependent enzymes. *Annu. Rev. Biochem.* 72, 209-247.
6. Barata, C. – Markich, S.J. – Baird, D.J. – Taylor, G. – Soares, A.M.V.M.: 2002. Genetic variability in sublethal tolerance to mixtures of cadmium and zinc in clones of *Daphnia magna* Straus. *Aquat. Toxicol.* 60, 85–99.
7. Baudin, J.P. - Adam, C. - Garnier-Laplace, J.: 2000. Dietary uptake, retention and tissue distribution of ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, and ¹³⁷Cs in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Water Res.* 34, 2869-2878.
8. Baudin, J.P. - Veran, M.P. - Adam, C. - Garnier-Laplace, J.: 1997. Co⁶⁰ transfer from water to the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 33, 230-257.
9. Benijts, F. - Vanvoorden, E. - Sorgeloos, P.: 1976. Changes in the biochemical composition of the early larval stages of the brine shrimp, *Artemia salina* L. In: Persoone, G., Jaspers, E., (Eds.), *Proceedings of the 10th European Symposium on Marine Biology. Research in Mariculture at Laboratory and Pilot Scale*, vol. 1. Universa Press, Wetteren, 1-9.

10. *Bird, G.A. - Schwartz, W.J. - Motycka, M. - Rosentreter, J.:* 1998. Behaviour of ^{60}Co and ^{134}Cs in a Canadian shield lake over 5 years. *Sci. Total Environ.* 212, 115-135.
11. *Birge, W.J. - Black, J.A. - Westerman, A.G. - Hudson, J.E.:* 1980. Aquatic toxicity tests on inorganic elements occurring in oil shale. In: Gale, C. (Ed.), *Oil Shale Symposium: Sampling, Analysis and Quality Assurance, March 1979, EPA-600/9-80-022.* National Technical Information Service. Springfield, VA, pp. 519–534.
12. *Blancheton, J.P.:* 2000. Developements in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquaculture Engineering* 22., 17-31.
13. *Blust, R.:* 2011. Cobalt. Homeostasis and Toxicology of Essential Metals, *Fish Physiology*, 31. A, 291-326.
14. *Boonyaratpalin, M.:* 1997. Nutrient requirements of marine food fish cultured in Southeast Asia. *Aquaculture* 151, 283-313.
15. *Boonyaratpalin, M. - Williams, K.:* 2002. Asian sea bass, *Lates calcarifer*. In: C.D. Webster, C.E. Lim (Eds.), *Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture*, CAB International, Wallingford, CT, pp. 40–50
16. *Bosmans, J.M.P. - Schipp, G.R. - Gore, D.J. - Jones, B. - Vauchez, F.E. - Newman, K.K.:* 2005. Early weaning of barramundi, *Lates calcarifer* (BLOCH), in a commercial, intensive, semi-automated, recirculated larval rearing system. In: Hendry, C.I., Van Stappen, G., Wille, M., Sorgeloos, P. (Eds.), *Larvi '05, 4th fish and shellfish larviculture symposium*, Gent, Belgium. *Europ. Aquacult. Soc., Spec. Pub.*, vol. 36, 46-49.
17. *Buchet, V. - Zambonino-Infante, J.L. - Cahu, C.L.:* 2000. Effect of lipid level in a compound diet on the development of red drum (*Sciaenops ocellatus*) larvae. *Aquaculture* 184 (3-4), pp. 339-347.
18. *Caldwell, C.A. - Tomasso, J.R.:* 1985. Stocking and handling induced stress in red drum fingerlings. *Proceedings Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies* 39, pp. 238-247.
19. *Canario, A.V.M. - Condeça, J. - Power, D.M. - Ingleton, P.M.:* 1998. The effect of stocking density on growth in the gilthead sea-bream, *Sparus aurata* (L.). *Aquaculture Research*, 29, 177-181.

20. *Carmo e Sa, M.V. - Pezzato, L.E. - Lima, M.M.B.F. - Padilha, P.M.:* 2004. Optimum zinc supplementation level in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles diets. *Aquaculture* 238, pp. 385–401.
21. *Castell, J.D. - Conklin, D.E. - Craigie, J.S. - Lall, S.P. - Norman-Boudreau, K.:* 1986. In: M. Bilo, H. Rosenthal and C. Sindermann (Eds.), *Realism in Aquaculture: Achievements, Constraints, Perspectives*. European Aquaculture Society, Belgium, 251-308.
22. *Chamberlain, G. - Rosenthal, H.:* 1995. Aquaculture in the next century, opportunities for growth, challenges of sustainability. *World Aquaculture* 26, 21–25.
23. *Comhaire S. - Blust, R. - Van Ginneken, L. - Vanderborght, O.L.J.:* 1994. Cobalt uptake across the gills of common carp, *Cyprinus carpio*, as a function of calcium concentration in the water of acclimation and exposure. *Comp. Biochem. Physiol. C* 109, 63-67.
24. *Comhaire S. - Blust, R. - Van Ginneken, L. - D'haeseleer, F. - Vanderborght, O.L.J.:* 1997. Calcium influences radio-cobalt uptake by the common carp, *Cyprinus carpio*. International Seminar on Freshwater and Estuarine Radioecology, March 21-25, 1997, Lisbon, Portugal. *Freshwater and Estuarine Radioecology*. Book series: *Studies in Environmental Science*, 68, pp. 321-328.
25. *Crocker, P.A. - Arnold, C.R. - DeBoer, J.A. - Holt, G.J.:* 1981. Preliminary evaluation of survival and growth of juvenile red drum *Sciaenops ocellatus* in fresh and salt water. *Journal of the World Mariculture Society*, 12, pp. 122-134.
26. *Crocker, P.A. - Arnold, C.R. - DeBoer, J.A. - Holt, G.J.:* 1983. Blood osmolality shift in juvenile red drum *Sciaenops ocellatus* L. exposed to freshwater. *J. Fish Biol.* 23, pp. 315-319.
27. *Davis, J.T.:* 1990. Red drum, biology and life history. Southern Regional Aquaculture Center, Publication No. 320.
28. *Davies, D.A. - Gatlin, D.M.:* 1991. Dietary mineral requirements of fish and shrimp. D.M.Akiyama & R.Tan (Eds) *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop, Thailand and Indonesia, 19-25 September*, American Soybean Association, Singapore, 171, 49-67

29. *FAO*: 2005-2011. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Sciaenops ocellatus*. Text by Cynthia K. Faulk, A. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department*. http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sciaenops_ocellatus/en
30. *FAO*: 2006-2011. Cultured Aquatic Species Information Programme. *Lates calcarifer*. Text by Rimmer, M.A.. In: *FAO Fisheries and Aquaculture Department* (online). http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Lates_calcarifer/en
31. *FAO*: 2011. *FAO Fisheries and Aquaculture Department, Fishery Information, Data and Statistic Unit*. FishStat Plus version 2.32. Universal Software for fishery statistics time series. Rome. (www.fao.org/fishery/statistics/software/fishtat/en)
32. *Fehér M. - Stündl L. - Bársony P. - Szűcs I.*: 2012. A geotermikus energia haltermelési célú hasznosítási lehetőségeinek feltárása az Észak Alföldi Régióban. *Halászatfejlesztés*, 34. pp. 106-120.
33. *Feledi T. - Gyalog G. - Kucska B. - Fehér M. - Borbély Gy. - Jancsó M. - Stündl L. - Rónyai A.*: 2011. Újabb ígéretes fajok az európai akvakultúrában: a barramundi (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) és a vörös árnyékhal (*Sciaenops ocellatus* L., 1766). *Halászat* 104/3-4: 75-80. p.
34. *Figueiredo, J. - Woesik, R. - Lin, J. - Narciso, L.*: 2009. *Artemia franciscana* enrichment model — How to keep them small, rich and alive? *Aquaculture* 294, 212-220.
35. *Fujita, T.*: 1972. The Zinc content of marine plankton. *Rec. Oceanogr. Works Jpn.* 11, 73–79.
36. *Gajbhiye, S.N. - Hirota R.*: 1990. Toxicity of heavy metals to brine shrimp *Artemia*. *Journal of the Indian Fisheries Association*, 20, 43-50.
37. *Gál, J. - Hursthouse A. - Tatner P. - Stewart, F. - Welton, R.*: 2008. Cobalt and secondary poisoning in the terrestrial food chain: Data review and research gaps to support risk assessment. *Environ. International* 34, 821-838.
38. *Gatlin, D.M.*: 2002. Red drum, *Sciaenops ocellatus*. In: C.D. Webster & C.E. Lim, eds. *Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture*, pp. 147–159. New York, CABI Publishing.
39. *Garrett, R.N.*: 1986. Reproduction of Queensland barramundi (*Lates calcarifer*). In: J.W. Copland, D.L. Grey (Eds.), *Management of Wild and Cultured Sea*

- Bass/Barramundi (*Lates calcarifer*). Darwin, Australia, Australian Centre for International Agricultural Research, Darwin, Australia, pp. 38–43.
40. Goun, E. - Cunningham, G. - Chu, D. - Nguyen, C. - Miles, D.: 2003. Antibacterial and antifungal activity of Indonesian ethnomedical plants. *Fitoterapia* 76, pp. 592-596.
 41. Grant, E.M.: 1997. Guide to Fishes. EM Grant Pty. Ltd, Brisbane, pp. 570.
 42. Grey, D.L.: 1987. An Overview of *Lates calcarifer* in Australia and Asia. In: J.W. Copland, D.L. Grey (Eds.), Management of Wild and Cultured Sea Bass/Barramundi (*Lates calcarifer*), pp. 15–21
 43. Hassan, El-S. - Abdel-Latif, H. - Biebricher, R.: 1992. Studies on the effects of Ca^{2+} and Co^{2+} on the swimming behaviour of the blind Mexican cave fish. *J. Comp. Physiol. A* 171, 413-419.
 44. Hawkyard, M. - Sæle, Ø. - Nordgreen, A. - Langdon, C. - Hamre, K.: 2011. Effect of iodine enrichment of *Artemia* sp. on their nutritional value for larval zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture* 15, 37-43.
 45. Hecht, T. - Pienaar, A.G.: 1993. A review of cannibalism and its implications in fish larviculture. *J. World Aquac. Soc.* 24, 246-261.
 46. Holmes, W.N. - Donaldson, E.M.: 1969. The body compartments and the distribution of electrolytes. In: W.S. Hoar and D.J. Randall (Editors), *Fish Physiology*. Vol. 1. Academic Press, New York, NY, pp. 1-89.
 47. Hossein, E. - Abbas, M. - Shohreh, B.: 2008. Effects of Co as growth promotant on the growth of rainbow trout, (*Oncorhynchus mykiss*). *World of Aquaculture 2008: Aquaculture for human wellbeing – The Asian perspective*, 19-23 May 2008. Busan, Korea.
 48. Jain, A.K. - Kumar, G. - Mukherjee, S.C.: 2006. Survival and growth of early juveniles of barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch, 1790) in inland saline groundwater. *J. Biol. Res.* pp. 5, 93–97.
 49. Karlsen, H.E. - Sand, O.: 1987. Selective and Reversible Blocking of the Lateral Line in Freshwater Fish. *J. Exp. Biol.* 133, 249-262.
 50. Katersky, R.S. - Carter, C.G.: 2005. Growth efficiency of juvenile barramundi, *Lates calcarifer*, at high temperatures. *Aquaculture* 250, 775-780.

51. *Katersky, R.S. - Carter, C.G.:* 2007. A preliminary study on growth and protein synthesis of juvenile barramundi, *Lates calcarifer* at different temperatures. *Aquaculture* 267, 157–164.
52. *Kashiwada, K. - Teshima, S. - Kanazawa, A.:* 1970. Studies on the production of B vitamins by intestinal bacteria of fish-V. Evidence of the production of vitamin B₁₂ by microorganisms in the intestinal canal of carp *Cyprinus carpio*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 36, 421-424.
53. *Kestemont, P. - Jourdan, S. - Houbart, M. - Melard, C. Paspatis, M. - Fontaine, P. - Cuvier, A. - Kentouri, M. - Baras, E.:* 2003. Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture* 227, 333-356.
54. *Kissa, E. - Moraitou-Apostolopoulou, M. - Kiortsis, V.:* 1984. Effects of four heavy metals on survival and hatching rate of *Artemia salina* (L.). *Archiv fur Hydrobiologie. Stuttgart (Arch. Hydrobiol.)*. 102, no. 2. 255-264.
55. *Kwong, R.W.M. - Niyogi S.:* 2009. The interactions of iron with other divalent metals in the intestinal tract of a freshwater teleost, rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Comp. Biochem. Physiol. C* 150, 442-449.
56. *Lall, S.P.:* 2002. The minerals. In J.E. Halver, R.W. Hardy (Eds.), *Fish Nutrition*, Academic Press, San Diego, pp. 260–301
57. *Lavens, P. - Sorgeloos, P.:* 1996. Manual on the production and use of live food for aquaculture. *FAO Tech., Pap.*, 361. 295.
58. *Lefrançois, C. - Claireaux, G. - Mercier, C. - Aubin, J.:* 2001. Effect of density on the routine metabolic expenditure of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 195, 269-277.
59. *Li, M.H. - Robinson, E.H.:* 1996. Comparison of chelated zinc and zinc sulfate as zinc sources for growth and bone mineralization of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed practical diets. *Aquaculture*, 146. pp. 237-243
60. *Lin, Y.H. - Lin, S.M. - Shiau, S.Y.:* 2008. Dietary manganese requirements of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture* 284 pp. 207–210.

61. *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, 89-93.
62. *Loughnan, S.R. - Domingos, J.A. - Smith-Keuneb, C. - Forrester, J.P. - Jerry, D.R. - Beheregaray, L.B. – Robinson, N.A.*: 2013. Broodstock contribution after mass spawning and size grading in barramundi (*Lates calcarifer*, Bloch). *Aquaculture*, Vol. 404–405, pp. 139–149.
63. *Ma, R. - Hou, H. - Mai, K. - Bharadwaj, A.S. - Ji, F. - Zhang, W.*: 2014. Comparative study on the bioavailability of chelated or inorganic zinc in diets containing tricalcium phosphate and phytate to turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 420–421, 187–192.
64. *MacKinnon, M.R.*: 1989. Status and potential of Australian *Lates calcarifer* culture. *Advances in tropical aquaculture*. Tahiti, feb 20 - march 4 . 7989. *Aquacop ifremer actes de colloque* 9. 713-727.
65. *Majmudar, K. - Burlison, M.L.*: 2006. An evaluation of cobalt chloride as an O₂-sensitive chemoreceptor stimulant in channel catfish. *Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol.* 142, 136-141.
66. *Marr, J.C.A. - Hansen, J.A. - Meyer J.S. - Caceéa, D. - Podrabsky, T. - Lipton, J. - Bergman, H.L.*: 1998. Toxicity of cobalt and copper to rainbow trout: application of a mechanistic model for predicting survival. *Aquatic Toxicology* 43, 225-238.
44. *Matlock, G.C.*: 1990a. The life history of Red drum. In: *In: Red Drum Aquaculture*, Chamberlain, G.W., Miget R.J., Haby M.G., eds. Texas A&M Sea Grant College Program, College Station, Texas, pp. 1-22.
67. *Matlock, G.C.*: 1990b. Preliminary results of red drum stocking in Texas. In: A. Sparks (ed.), *Marine Farming and Enhancement: Proceedings of the 15th U.S.-Japan Meeting on Aquaculture*, October 22-23, 1986, Kyoto, Japan, pp. 11-15. NOAA Technical Report NMFS 85. U. S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, Washington, D.C.
68. *Matsumoto, S. - Satoh, S. - Kotani, T. - Fushimi, H.*: 2009. Examination of a practical method for zinc enrichment of euryhaline rotifers (*Brachionus plicatilis*). *Aquaculture* 286, 113-120.

69. *Mazeaud, M.M. - Mazeaud, F. - Donaldson, E.M.:* 1977. Primary and secondary effects of stress of fish: some new data with a general review. *Transactions of the American Fisheries Society* 106, pp. 201-212.
70. *McDougall, A.:* 2004. Assessing the use of sectioned otoliths and other methods to determine the age of the centropomid fish, barramundi (*Lates calcarifer*) (Bloch), using known-age fish. *Fisheries Research* 67. 129–141.
71. *Miranda, L.E. - Sonsky, A.J.:* 1985. Survival of red drum fingerlings in freshwater: dissolved solids and thermal minima. *Proc. Annu. Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies* 39, pp. 228-237.
72. *Montgomery, J.C. - Baker, C.F. - Carton, A.G.:* 1997. The lateral line can mediate rheotaxis in fish. *Nature* 389, 960–963.
73. *Mukherjee S. - Kaviraj A.:* 2009. Evaluation of growth and bioaccumulation of cobalt in different tissues of common carp, *Cyprinus carpio* (actinopterygii: cypriniformes: cyprinidae), fed cobalt-supplemented diets. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 39, 87–93.
74. *National Research Council:* 1993. *Nutrient Requirement of Fish*. Washington D.C. National Academy Press.
75. *National Research Council:* 1980. *Mineral tolerance of domestic animals*. Washington D.C. National Academy Press.
76. *Neill, W.H.:* 1990. *Enviromental Requirements of Red Drum*. In: *Red Drum Aquaculture*, Chamberlain, G.W., Miget R.J., Haby M.G., eds. Texas A&M Sea Grant College Program, College Station, Texas, pp. 105-109.
77. *Nguyen, V.T. - Satoh, S. - Haga, Y. - Fushimi, H. - Kotani, T.:* 2008. Effect of zinc and manganese supplementation in *Artemia* on growth and vertebral deformity in red sea bream (*Pagrus major*) larvae. *Aquaculture* 7, 184-192.
78. *Ogino, C. - Yang, G.-Y.:* 1978. Requirement of rainbow trout for dietary zinc. *Nippon Suisan Gakkaishi* 44, 1015-1018.
79. *Ogino, C. - Yang, G.Y.:* 1980. Requirements of carp and rainbow trout for dietary manganese and copper. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 46: 455-458.

80. Ovesen, J. - Møller-Madsen, B. - Thomsen, J.S. - Danscher, G. - Mosekilde, L.: 2001. The positive effects of zinc on skeletal strength in growing rats. *Bone*, 29, 565–570.
81. Partridge, G.J. - Sarre, G.A. - Ginbey, B.M. - Kay, G.D. - Jenkins, G.I.: 2006. Finfish production in a static, inland saline water body using a Semi-Intensive Floating Tank System (SIFTS). *Aquac. Eng.*, 35, pp. 109–121
82. Partridge, G.J. - Lymbery, A.J. - Bourke, D.K.: 2008. Larval rearing of barramundi (*Lates calcarifer*) in saline groundwater. *Aquaculture* 278. pp. 171–174.
83. Penglase, S. - Nordgreen, A. - Meeren, T. - Olsvik, P.A. - Sæle, Ø. - Sweetman, J.W. - Baevefjord, G. - Helland, S. - Hamre, K.: 2010. Increasing the level of selenium in rotifers (*Brachionus plicatilis* ‘Cayman’) enhances the mRNA expression and activity of glutathione peroxidase in cod (*Gadus morhua* L.) larvae. *Aquaculture* 306, 259-269.
84. Penglase, S. - Hamre, K. - Olsvik, P.A. - Grøtan, S. - Nordgreen, A.: 2013. Rotifers enriched with iodine, copper and manganese had no effect on larval cod (*Gadus morhua*) growth, mineral status or redox system gene mRNA levels. *Aquacult. Research*, Article first published online: 22 nov. 2013.
85. Phillips, A.M. - Podiliak, H.A. - Livingston, D.L. - Dumas, R.F. - Hammer, G.L.: 1960. Metabolism of trace levels of dietary cobalt by brook trout. *Fish. Res. Bull. N.Y.*, 23: 36-46.
86. Phromkunthong, W. - Boonyaratpalin, M. - Storch, V.: 1997. Different concentrations of ascorbyl-2-monophosphate-magnesium as dietary sources of vitamin C for seabass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture*, 151, 1-4, pp. 225-243.
87. Qin, J.G. - Mittiga, L. - Ottolenghi, F.: 2004. Cannibalism Reduction in Juvenile Barramundi *Lates calcarifer* by Providing Refuges and Low Light. *Journal of the World Aquaculture Society* 35, 113–118.
88. Rainbow, P.S. - Amiard-Triquet, C. – Amiard, J.C. – Smith, B.D. – Langston, W.J.: 2000. Observations on the interaction of zinc and cadmium uptake rates in crustaceans (amphipods and crabs) from coastal sites in UK and France differentially enriched with trace metals. *Aquat. Toxicol.* 50, 189–204.

89. *Rainuzzo, J. R. - Reitana, K.I. - Olsen, Y.:* 1997. The significance of lipids at early stages of marine fish: a review. *Aquaculture* 20, 103-115.
90. *Rasmussen, I.R.:* 1991. Optimum acclimation rates from salt- to freshwater for juvenile sea bass *Lates calcarifer* Bloch. *Asian Fish. Sci.* 4, pp. 109–113.
91. *Ribeiro, A.R.A. - Ribeiro, L. - Sæle, Ø. - Hamre, K. - Dinis, M.T. - Moren, M.:* 2009. Iodine-enriched rotifers and *Artemia* prevent goitre in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae reared in a recirculation system. *Aquacult. Nutr.* 99.
92. *Richards J.G. - Playle R.C.:* 1998. Cobalt binding to gills of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): an equilibrium model. *Comp. Biochem. Physiol. C. Pharmacol. Toxicol. Endocrinol.* 119, 185-97.
93. *Ricker, W.E.:* 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 191:1-382.
94. *Rimmer, M.A.:* 1995. Barramundi farming: an introduction. Queensland Department of Primary Industries, Brisbane. In: Makaira, 1999. The translocation of barramundi. Fisheries management paper 127. pp. 1-47.
95. *Rimmer, M.A. - Russell, D.J.:* 1998. Survival of stocked barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), in a coastal river system in far northern Queensland, Australia. *Bull. Mar. Sci.* 62, 325–336.
96. *Robertson, L. - Thomas, P. - Arnold, C.R.:* 1988. Plasma cortisol and secondary stress responses of cultured red drum *Sciaenops ocellatus* to several transportation procedures. *Aquaculture*, 68, pp. 115-130.
97. *Rounsfell, G.A.:* 1975. Ecology, utilization and management of marine fishes. C.V. Mosby Co., St. Louis, No., pp. 516.
98. *Rutledge, W. - Rimmer, M. - Russel, J. - Garrett, R. - Barlow, C.:* 1990. Cost benefit of hatchery-reared barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), in Queensland. *Aquaculture Research*, Vol. 21, Issue 4, pp. 443–448.
99. *Schipp, G.:* 1996. Barramundi farming in the Northern Territory. Aquaculture Branch, Fisheries Division, Department of Primary Industries and Fisheries, Darwin.

100. *Schipp, G. - Bosmans, J. - Humphrey, J.:* 2007. NT Barramundi farming handbook. Department of Primary Industry, Fisheries and Mines, Northern Territory, Australia, p. 4.
101. *Schwalbe, M.A. - Bassett, D.K. - Webb, J.F.:* 2012. Feeding in the dark: lateral-line-mediated prey detection in the peacock cichlid *Aulonocara stuartgranti*. *J. Exp Biol.* 215, 2060-2071.
102. *Seebaugh, D.R - Wallace, W.G.:* 2004. Importance of metal-binding proteins in the partitioning of Cd and Zn as trophically available metal (TAM) in the brine shrimp *Artemia franciscana*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 272, 215-230.
103. *Shirgur, G.A. - Siddiqui, S.Q.:* 1998. On assessment of optimal salinity media and feed for culturing seven months old juveniles of Lates calcarifer (Bloch). In: M.S. Hameed, B.M. Kurup (Eds.), *Technological Advancements in Fisheries, Proceedings of the National Symposium on Technological Advancements in Fisheries and its Impact on Rural Development*, Cochin University of Science and Technology, pp. 88–92
104. *Soletchnik, P. - Thouard, E. - Goyard, E.:* 1989. Intensive larval rearing trials of red drum (*Sciaenops ocellatus*) in Martinique. *Advances in Tropical Aquaculture*. Tahiti, Feb. 20-March 4. 1989. Aquacop Ifremer, Actes de Colloque 9, pp. 661-675.
105. *Sorgeloos, P. - Dhert, P. - Candreva, P.:* 2001. Use of the brine shrimp, *Artemia* spp., in marine fish larviculture. *Aquaculture*, 200. 147-159.
106. *Steffens, W.:* 1989. *Principles of Fish Nutrition*, Ellis Horwood, Chichester, 384 pp.
107. *Stickney, R.R.:* 1979. *Principles of Warmwater Aquaculture*. John Wiley and Sons, New York, NY, pp. 375.
108. *Stunz, G.W. - Minello, T.J. - Levin, T.S.:* 2002. A comparison of early juvenile red drum densities among various habitat types in Galveston Bay, Texas. *Estuaries* 25, pp 76-85.
109. *Tan, X.Y. - Xie, P. - Luo, Z. - Lin, H.Z. - Zhao, Y.H. - Xi, W.Q.:* 2012. Dietary manganese requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*, and effects on whole body mineral composition and hepatic intermediary metabolism. *Aquaculture* 326-329, 68–73

110. *Tomasso, J.R. - Carmichael, G.J.:* 1988. Handling and transport-induced stress in red drum fingerlings *Sciaenops ocellatus*. *Contributions in Marine Science*, 30 (Supplement), pp. 133-138.
111. *Tookwinas, S.:* 1989. Larviculture of seabass (*Lates calcarifer*) and grouper (*Epinephelus malabaricus*) in Thailand. *Advances in Tropical Aquaculture*, 9, pp. 645–659.
112. *Tucker Jr. J.W. - Russel, D.J. - Rimmer, M.A.:* 2002. Barramundi culture: a success story for aquaculture in Australia. *World Aquac.*, pp. 53–59.
113. *Volvich, L. - Appelbaum, S.:* 2001. Length to weight relationship of Sea Bass *Lates calcarifer* (BLOCH) reared in a closed recirculating system. *The Israeli Journal of Aquaculture – Bamidgeh* 53. (3-4) 158-163.
114. *Watanabe, T. - Arakawa, T. - Kitajima, C. - Fukusho, K. - Fujita, S.:* 1978. Proximate and mineral compositions of living feeds used in seed production of fish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 44, 979–984.
115. *Watanabe, T. - Satoh, S. - Takeuchi, T.:* 1988. Availability of minerals in fish meal to fish. *Asian Fish. Society* 1. pp. 175-195.
116. *Watanabe, T. - Kiron, V. - Satoh, S.:* 1997. Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture* 151, 185-207.
117. *Weakley, J.C. - Claiborne, J.B. - Hyndman, K.A. - Edwards, S.L.:* 2012. The effect of environmental salinity on H⁺ efflux in the euryhaline barramundi (*Lates calcarifer*). *Aquaculture*, Vol. 338–341. pp. 190–196
118. *Wedemeyer, G.A.:* 1996. *Physiology of Intensive Culture Systems*. Chapman and Hall, New York
119. *Wekell, J.C. - Shearer, K.D. - Houle, C.R.:* 1983. High zinc supplementation of rainbow trout diets. *Prog. Fish Cult.*, 45, 144-147.
120. *Wright, D.A.:* 1995. Trace Metal and Major Ion Interactions in Aquatic Animals. *Marine Pollution Bulletin*, 31, 8-18.
121. *Wurts, W.A.:* 1987a. Osmoregulation, red drum, and euryhaline fish: environmental physiology. In: *Wurts, W.A., 1987. An evaluation of specific ionic and growth*

parameters affecting the feasibility of commercially producing red drum (*Sciaenops ocellatus*). (<http://www.ca.uky.edu/wkrec/RedDrumPhysiology.htm>)

122. *Wurts, W.A.*: 1987b. Membrane permeability, calcium, and osmotic pressure. In: *Wurts, W.A.*, 1987. An evaluation of specific ionic and growth parameters affecting the feasibility of commercially producing red drum (*Sciaenops ocellatus*). Doctoral dissertation. <http://www.ca.uky.edu/wkrec/MembranePhysiologyCalcium.htm>
123. *Wurts, W.A.* - *Stickney, R.R.*: 1989. Responses of red drum (*Sciaenops ocellatus*) to calcium and magnesium concentrations in fresh and salt water. *Aquaculture*, 76, pp. 21-35.
124. *Yamaguchi, M.* - *Fukagawa, M.*: 2005. Role of zinc in regulation of protein tyrosine phosphatase activity in osteoblastic MC3T3-E1 cells: zinc modulation of insulin-like growth factor-I's effect. *Calcif. Tissue Int.* 76, 32–38.

11. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Tudományos közlemény idegen nyelvű, külföldi, lektorált folyóiratban:

1. **Fehér, M.** - Baranyai, E. - Simon, E. - Bársony, P. - Szűcs, I. - Posta, J. – Stündl, L.: 2013. The interactive effect of cobalt in Artemia on the survival and larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 414-415, 92-99. IF: 2.041

Tudományos közlemény magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

2. **Fehér, M.** – Baranyai, E. – Simon, E. – Juhász, P. – Csorvási, É. - Bársony P. – Stündl, L.: 2014. Esszenciális nyomelemek alkalmazása a barramundi (*Lates calcarifer*) ivadéknevelésében. *Acta Agraria Debreceniensis* 57. 33-39.
3. **Fehér, M.** – Baranyai, E. - Bársony P. - Simon E. - Posta, J. – Stündl, L.: 2013. A kobalt-klorid hatása a barramundi lárva (*Lates calcarifer*) termelési paramétereire és egyöntetűségére. *Acta Agraria Debreceniensis* 51. 21-25.
4. **Fehér, M.** - Bársony, P. - Baranyai, E. - Posta, J. – Stündl, L.: 2012. Kedvező biológiai hatású mikroelemekkel dúsított Artemia alkalmazása a barramundi (*Lates calcarifer*) lárvanevelésében. *Acta Agraria Debreceniensis* 48. 11-16.
5. **Fehér, M.** – Stündl, L. – Szűcs, I. – Borbély, Gy. – Bársony, P.: 2011. A barramundi (*Lates calcarifer*) mint új halfaj a hazai akvakultúrában. *Pisces Hungarici* 5. pp. 95-98. HU ISSN1789-1329
6. **Feledi, T.** – Gyalog, G. – Kucska, B. – **Fehér, M.** – Borbély, Gy. – Jancsó, M. – Stündl, L. – Rónyai, A.: 2011. Újabb ígéretes fajok az európai akvakultúrában: a barramundi (*Lates calcarifer* Bloch, 1790) és a vörös árnyékhal (*Sciaenops ocellatus* L., 1766). *Halászat* 104/3-4: 75-80 pp.

Idegen nyelvű absztrakt:

7. **Stündl, L.** - **Fehér, M.** – Juhász, P. - Bársony, P.: 2013. Use of essential trace elements in the early life stages of barramundi (*Lates calcarifer*): Effects on the

growth performance and homogeneity of fish. Asian-Pacific Aquaculture 2013. Ho Chi Minh City, Vietnam. December 10 – 13.

8. **Fehér, M.** - Baranyai, E. - Simon, E. - Szűcs, I. - Bársony, P. - Posta, J. – Stündl, L.: 2013. Trace element enrichment of living nourishment aquatic organisms and determination of their uptake by atomic absorption spectrometry. Colloquium Spectroscopicum Internationale XXXVIII, 16-20. june 2013, Tromso, Norway
9. **Fehér, M.** - Baranyai, E. - Simon, E. - Szűcs, I. - Bársony, P. - Posta, J. – Stündl, L.: 2013. Determination of the elemental concentration of barramundi (*Lates calcarifer*) larvae fed by trace element enriched *Artemia nauplii* by atomic absorption spectrometry. Colloquium Analytische Atomspektroskopie 2013, 17-20. March 2013, Freiberg, Germany
10. **Fehér, M.** - Baranyai, E. - Szűcs, I. - Bársony, P. - Posta, J. - Stündl, L.: 2012. Determination the elemental uptake of barramundi (*Lates calcarifer*) larvae fed by Co, Zn and Mn enriched *Artemia nauplii* using atomic absorption spectrometry. European Symposium on Spectrometry 2012, Tatranska Lomnica, oct. 7-12.
11. **Fehér, M.** - Baranyai, E. - Szűcs, I. - Bársony, P. - Posta, J. - Stündl, L.: 2012. The effect of cobalt on the larval growth of barramundi, *Lates calcarifer*, when fed individually and combined with zinc and manganese supplemented *Artemia*. AQUA 2012, Global Aquaculture – Securing Our Future, Prague, sept. 1-7.

Magyar nyelvű absztrakt:

12. **Fehér, M.:** 2013. A barramundi (*Lates calcarifer*) ivadéknevelési és takarmányozási technológiájának fejlesztése. I. Halászati Felsőoktatási Workshop, Akasztó, május 8-9.
13. **Fehér, M.** - Baranyai, E. - Bársony, P. - Juhász, P. - Csorvási, É. – Stündl, L.: 2013. A takarmány mikroelem kiegészítésének hatása a barramundi (*Lates calcarifer*) lárva, illetve ivadék termelési paramétereire és egyöntetűségére. XXXVII. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, május 22-23.

14. **Fehér, M.** - Baranyai, E. – Bársony, P. - Juhász, P. – Stündl, L.: 2012. A hallárvák számára élő eleségként szolgáló Artemia sp. dúsítása kobalttal, cinkkel és mangánnal, mint kedvező élettani hatású mikroelemekkel. XXXVI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2012. május 23-24.
15. **Fehér, M.** - Baranyai, E. – Bársony, P. - Juhász, P. – Stündl, L.: 2012. Kobalttal, mangánnal és cinkkel, mint kedvező hatású mikroelemekkel dúsított Artemia etetésének hatása a barramundi (*Lates calcarifer*) lárva növekedésére és nyomelem tartalmára, XXXVI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2012. május 23-24.
16. Bársony, P. - **Fehér, M.** - Csorvási, É. - Juhász, P. - Szűcs, I. - Borbély, Gy. – Stündl, L.: 2012. A kolin-klorid hatása a barramundi növekedésére XXXVI. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2012. május 23-24.
17. **Fehér, M.** - Bársony, P. - Baranyai, E. - Posta, J. – Stündl, L.: 2012. Kedvező biológiai hatású mikroelemekkel dúsított Artemia alkalmazása a barramundi (*Lates calcarifer*) lárvanevelésében. A jövő tudósai, a vidék jövője: Doktoranduszok Konferenciája, Debrecen, 2011. november 24.
18. **Fehér, M.** – Stündl, L. – Csorvási, É. – Bársony, P.: 2011. A takarmány C-vitamin kiegészítésének hatása különböző korosztályú barramundi (*Lates calcarifer*) ivadékok termelési paramétereire. XXXV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2011
19. **Fehér, M.** – Stündl, L. – Szűcs, I. – Borbély, Gy. – Bársony, P.: 2011. A barramundi (*Lates calcarifer*) mint új halfaj a hazai. IV. Magyar Haltani Konferencia, Debrecen, 2011
20. Bársony, P. - **Fehér, M.** – Csorvási, É. – Szűcs, I. – Borbély, Gy. – Stündl, L.: 2011. A halhús mellékíz-mentesítés (purging) időtartamának hatása a barramundi adaghal és filékihozatalára. XXXV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas, 2011

A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk:

Tudományos közlemény idegen nyelvű, külföldi, lektorált folyóiratban:

1. *Bai, A. - Stündl, L. - Bársony, P. - Fehér, M. - Jobbágy, P. - Herpergel, Z. - Vaszkó, G.:* 2012. Algae production on pig sludge. Agronomy of sustainable development. 32: 611-618. ISSN 1774-0746, IF: 2,972

Tudományos közlemény magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

2. *Stündl, L. - Fehér, M. - Bársony, P.:* 2012. A precíziós állattenyésztés elveinek alkalmazása a haltenyésztésben. Acta Agraria Debreceniensis 49. 283-287.

Idegen nyelvű absztrakt:

3. *Juhász, P. – Fehér, M. – Bársony, P. – Csorvási, É. – Szűcs, I. – Stündl, L.:* 2013. The effect of the purging time on the dose and fillet yield of barramundi and hybrid striped bass; 48th Croatian 8th International Symposium of Agriculture, Dubrovnik, Croatia, Book of Abstracts (ISBN 978-953-7871-07-9) p. 232.
4. *Stündl, L. - Fehér, M. - Bársony, P. - Szűcs, I.:* 2012. Investigating the potential for the utilization of thermal water in Hungary for warm water fish production – preliminary studies with African catfish, *Clarias gariepinus* and barramundi, *Lates calcarifer*. AQUA 2012, Global Aquaculture – Securing Our Future, Prague, sept. 1-7.
5. *Bai, A. - Jobbágy, P. - Herpergel, Z. - Fehér, M. - Stündl, L. - Bársony, P.:* 2010. Biodiesel from Algae – a Hungarian Experience. Proceedings of AGRO-2010, the 11th ESA Congress. Agropolis International Edition. ISBN 978-2-909613-01-7, Montpellier (France), (2010), pp. 415-416.

Magyar nyelvű nem lektorált konferencia kiadvány:

6. **Fehér, M. – Stündl, L. – Bársony, P. – Szűcs, I.:** 2012. A geotermikus energia haltermelési célú hasznosítási lehetőségeinek feltárása az Észak Alföldi Régióban. Halászatfejlesztés, 34. ISBN 978-963-7120-32-9 pp. 106-120.
7. **Fehér, M. – Herpergel, Z. – Bársony, P. – Stündl, L.:** 2010. A lizin, a C-vitamin és az élőeleség hatása a compóivadék (Tinca Tinca L.) termelési paramétereire intenzív rendszerben. Halászatfejlesztés, 33. pp. 156-169.
8. **Fehér, M.:** 2010. Különböző takarmánykiegészítők hatása a compó ivadék (Tinca tinca L.) külső testtorzulásaira. Agrár- és Vidékfejlesztési Szemle, 5. HU ISSN 1788-5345, pp. 108-109.

Magyar nyelvű absztrakt:

9. **Fehér, M. – Stündl, L. – Szűcs, I. – Csorvási, É. – Bársony, P.:** 2011. A geotermikus energia haltermelési célú hasznosítási lehetőségeinek feltárása az Észak Alföldi Régióban. XXXV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas
10. **Fehér, M. – Herpergel, Z. – Bársony, P. – Stündl, L.:** 2010. A lizin, a C-vitamin és az élőeleség hatása a compóivadék (TINCA TINCA L.) termelési paramétereire intenzív rendszerben. XXXIV. Halászati Tudományos Tanácskozás, Szarvas

ÁBRÁK JEGYZÉKE

1. **ábra:** A világ barramundi termelése
2. **ábra:** A világ vörös árnyékhal termelése
3. **ábra:** A barramundi lárvák megmaradása a kísérlet végén
4. **ábra:** A kontroll csoport Gauss-féle populáció eloszlása
5. **ábra:** A CoMn-1 csoport Gauss-féle populáció eloszlása
6. **ábra:** A lárvák testhossza (SL)
7. **ábra:** A lárvák testtömege (W)
8. **ábra:** A lárvák Fulton féle kondíció (K) faktora a kísérlet végén
9. **ábra:** A barramundi lárvák Zn koncentrációja
10. **ábra:** A barramundi lárvák Co koncentrációja
11. **ábra:** A barramundi lárvák Mn koncentrációja
12. **ábra:** A redundancia-analízis eredménye az *Artemia* és a barramundi lárvák nyomelem-tartalma tekintetében
13. **ábra:** A barramundi ivadékok egyedi átlagtömege a kísérlet végén
14. **ábra:** A barramundi ivadékok megmaradása
15. **ábra:** A kontroll kezelés Gauss-féle populáció eloszlási görbéje
16. **ábra:** A CoMn-50 kezelés Gauss-féle populáció eloszlási görbéje
17. **ábra:** Az ivadékok növekedési üteme (SGR)
18. **ábra:** Az ivadékok takarmányértékesítése (FCR)
19. **ábra:** Az ivadékok Zn felvétele
20. **ábra:** Az ivadékok Co felvétele
21. **ábra:** Az ivadékok Mn felvétele

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

- 1. táblázat:** Az 1. kísérlet során beállított Co-koncentrációk (mg/l)
- 2. táblázat:** Kísérleti beállítások és alkalmazott nyomelem dózisok
- 3. táblázat:** Az ivadéknevelő táp összetétele
- 4. táblázat:** Az akváriumok vizének ion-összetétele
- 5. táblázat:** Az *Artemia naupliusz* mintákban mért Co-koncentrációk a monoelemes kezelés hatására
- 6. táblázat:** Az *Artemia naupliusz* nyomelem-felvétele a kombinációban végzett Co, Zn és Mn kiegészítés során
- 7. táblázat:** Az ivadékok egyedi testtömegének alakulása a kísérlet során
- 8. táblázat:** Az ivadékok elemösszetétele
- 9. táblázat:** Az 5 ppt-s sósvíz (szintetikus tengeri só) és az egyező töménységű, hígított tengervíz összehasonlítása az elemösszetétel tekintetében

KÉPEK JEGYZÉKE

- 1. kép:** Kifejlett barramundi
- 2. kép:** Kifejlett vörös árnyékhal
- 3. kép:** A lárvanevelési kísérletnek helyet adó akvárium-sor
- 4. kép** A kísérleti tápok elkészítése: (1.) Pelletáló berendezés, (2.) Homogenizálás, (3.)
Az elkészült takarmány szárítása
- 5. kép:** Az ivadéknevelési kísérlet során használt recirkulációs rendszer
- 6. kép:** Az ivadékok egyedi testtömegének mérése
- 7. kép:** Barramundi lárva a kontroll (A) és kannibál egyed a CoMn-2 (B) csoportból
- 8. kép:** A nevelés 2. hetében elpusztult ivadék

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán, az Állattenyésztési tudományok Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 20.....

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy doktorjelölt 20.....-20..... között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányítással/irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom/javasoljuk.

Debrecen, 20.....

.....
a témavezető(k) aláírása

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Mindenekelőtt köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Stündl Lászlónak a doktori kutatásom szakmai irányításáért és szervezéséért. Segítőkész támogatásáért köszönet illeti társ-témavezetőmet, Dr. Váradit Lászlót. Emellett köszönöm Dr. Bársony Péternek és Dr. Szűcs Istvánnak, akik hozzáértésükkel és szakmai tanácsaikkal segítettek a munkámat.

Köszönettel tartozom egykori és jelenlegi munkatársaimnak, a hallaborban dolgozó kollégáknak; Herpergel Péternek, Csorvási Évának és Juhász Péternek a kísérletek lebonyolításában nyújtott segítségükért.

Végül, de nem utolsó sorban köszönöm feleségemnek, egyben kutató társamnak, Baranyai Edinának a támogatást, emellett külön köszönet a doktori kutatásomat alkotó kísérletek megtervezéséért és az analitikai vizsgálatokért.

A kutatás során végzett kísérletek az „Exportképes halfajok (Barramundi; Vörös árnyékhal) termelés technológiájának komplex fejlesztése” című, OM-00055/2009 (BARRA_09) projekt keretei között valósultak meg.