

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

NAGY ZOLTÁN

**SZENT ISTVÁN EGYETEM – KAPOSVÁRI CAMPUS
AGRÁR- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR**

2020.

SZENT ISTVÁN EGYETEM – KAPOSVÁRI CAMPUS
AGRÁR- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR
KÖRNYEZETTUDOMÁNYI ÉS TERMÉSZETVÉDELMI INTÉZET

A doktori iskola vezetője:
PROF. DR. SZABÓ ANDRÁS
az MTA doktora

Témavezető:
DR. HANCZ CSABA
a mezőgazdasági tudomány kandidátusa

Társ-témavezető:
DR. GÁL DÉNES Ph.D.

KÖRNYEZETBARÁT TAVI INTENZÍV HARCSANEVELÉS
TECHNOLÓGIÁJÁT MEGALAPOZÓ KUTATÁSOK

DOI: 10.54598/000590

Készítette:
NAGY ZOLTÁN

KAPOSVÁR

2020

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	6
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	9
2.1. A harcsa rendszertani besorolása, elterjedése, táplálkozási sajátossága, gazdasági jelentősége.....	9
2.1.1. <i>A harcsa rendszertani besorolása</i>	9
2.1.2. <i>A faj elterjedése, környezeti igénye, táplálkozása</i>	10
2.1.3. <i>A harcsafélék termelése és hasznosítása</i>	11
2.1.4. <i>A harcsa termelése helyzete Magyarországon és Európában</i>	12
2.2. A halliszt helyettesítésének lehetőségei.....	15
2.2.1. <i>A halliszt termelés helyzete</i>	16
2.2.2. <i>Alternatív fehérjeforrások a haltakarmányozásban</i>	16
2.2.3. <i>Feldolgozott állati fehérjék alkalmazása a haltakarmányozásban</i>	17
2.2.4. <i>Növényi fehérjék alkalmazása a haltakarmányozásban</i>	21
2.4. Génexpressziós vizsgálatok szerepe a haltakarmányozásban.....	23
2.5. Integrált haltermelő rendszerek.....	24
2.5.1. <i>Alga-hal integrált rendszerek (PAS)</i>	25
2.5.2. <i>Osztott tavi rendszer (Split-pond system, SPS)</i>	27
2.5.3. <i>Tavi átfolyóvízes rendszer (In-pond raceway system, IPRS)</i>	30
2.5.4. <i>Ketreces nevelési rendszerek</i>	31
2.6. Tápanyag-forgalom a vízben és az üledékben.....	33
2.6.1. <i>A nitrogén forgalom</i>	34
2.6.2. <i>A foszfor (P) forgalom</i>	36
3. CÉLKITŰZÉSEK.....	39
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	40
4.1. A kísérleti állományok származása és elhelyezése.....	42
4.2. Tartási körülmények és környezeti tényezők.....	42
4.2.1. <i>Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére</i>	42
4.2.2. <i>Két eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére</i>	43
4.2.3. <i>Különböző tókezelési eljárások hatása az üledék- és vízminőségre</i>	43
4.2.4. <i>Halliszt helyettesítése szójaliszttal és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában</i>	44
4.3. Kísérleti beállítások.....	44

4.3.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére.....	44
4.3.2. Két eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére.....	45
4.3.3. Különböző tókezelési eljárások hatása az üledék- és vízminőségre	46
4.3.4. Halliszt helyettesítése szójaliszttal és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában.....	47
4.4. Kísérleti takarmányok.....	47
4.4.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére.....	47
4.4.2. Két eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére.....	48
4.4.3. Halliszt helyettesítése szójaliszttal és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában.....	48
4.5. Mérés, adatfelvétel és kiértékelés	49
4.5.1. Mérések, származtatott mutatók kiszámítása	49
4.5.2. Mintavétel, kémiai analízis.....	50
4.5.3. Génexpresszió.....	53
4.5.3.1. RNS kivonása és meghatározása	53
4.5.3.2. cDNS szintézise.....	53
4.5.3.3. Valós idejű kvantitatív RT-PCR.....	53
4.5.4. Fehérje metabolizmus enzimek aktivitásának meghatározása.....	54
4.5.5. Statisztikai módszerek	55
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	56
5.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére.....	56
5.1.1. A termelési paraméterekre vonatkozó eredmények.....	56
5.1.2. A víz fizikai és kémiai paramétereire vonatkozó eredmények.....	58
5.1.3. Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények	61
5.2. Eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére	63
5.2.1. A termelési paraméterekre vonatkozó eredmények.....	63
5.2.2. A víz fizikai és kémiai paramétereire vonatkozó eredmények.....	65
5.2.3. Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények	71
5.3. Különböző tókezelési eljárások hatása a víz és az üledék kémiai paramétereire	72
5.3.1. A víz kémiai paramétereire vonatkozó eredmények	72

5.3.2. Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények	82
5.4. Halliszt helyettesítése szójaliszttel és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában.....	84
5.4.1. A teljes test kémiai összetétele.....	84
5.4.2. Növekedési teljesítmény és tápanyag felhasználás.....	85
5.4.3. A növekedéssel kapcsolatos gének expressziója.....	90
5.4.4. A fehérje metabolizmushoz kapcsolódó gének kifejeződése.....	92
5.4.5. A fehérje metabolizmushoz kapcsolódó enzimek aktivitása.....	92
6. KÖVETKEZTETÉSEK.....	94
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	98
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	100
8.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére.....	100
8.2. Eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére	101
8.3. Különböző tókezelési eljárások hatása a víz és az üledék kémiai paramétereire	101
8.4. Halliszt helyettesítése szójaliszttel és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában.....	102
9. SUMMARY	103
9.1. Effect of different protein source containing diets on production traits of European catfish and on water and sediment quality	103
9.2. Effect of different rearing technologies (monoculture and extensive-intensive combined system) on production traits of European catfish and on water and sediment quality	104
9.3 Effect of different pond treatment methods on water and sediment chemical traits	104
9.4. Effect of fish meal replacement by different ratio of soybean meal and processed animal protein on the growth response and liver gene expression of European catfish	105
10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	106
11. IRODALOMJEGYZÉK.....	107
12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBŐL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK	140
13. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜLI PUBLIKÁCIÓK.....	143
14. SZAKMAI ÖNÉLETRAJZ.....	146
15. MELLÉKLETEK	147

1. BEVEZETÉS

A világ népességének állati eredetű fehérjével való ellátásában 17 %-ot tesznek ki a hal- vagy hal eredetű termékek. A tengeri halállomány nagymértékű lehalászásának következtében az 1980-as évek közepétől a természetes vízi fogások mennyisége stagnál, 80-90 millió tonna között változik. Az akvakultúras termelés az 1950-es évektől kezdve folyamatosan emelkedik. A világ halellátását (2016-ban 171 millió tonna) napjainkra már 53 %-ban az akvakultúra fedezi. A világ halhús fogyasztása 1961-ben 9 kg volt, mely 2015-re 20 kg fölé emelkedett (FAO, 2018). Az átlagos halhús fogyasztás az Európai Unióban 25,1 kg, míg hazánkban csupán 4,8 kg (PCP, 2018). Az édesvízi halászat elenyésző arányának, valamint a vizek túlhalászottságának köszönhetően e fogyasztási adatok az akvakultúra szektor további fejlődésével biztosíthatóak.

A fogyasztói piac egész évben elérhető, jó minőségű árut igényel. Ezeket a feltételeket intenzív technológiák alkalmazásával lehet csak elérni. Az intenzív rendszerekben, a magas termelési költségek következtében olyan fajokkal érdemes foglalkozni, amelyeknek a piaci értéke magas, pl. a ragadozó halak. A hazai akvakultúra ágazat, melyben a ponty (*Cyprinus caprio*) az elsődleges halfaj, a jövedelmezőség növelésének az egyik módja lehet a ragadozó halak jelenlegi 3-4 %-os részarányának a növelése.

A harcsa (*Silurus glanis* L., 1758) Európa legnagyobbra megnövő ragadozó hala. Hazánkban őshonos halfaj, mely a fentebb említett termelési igényeknek teljes mértékben megfelel. Húsa fehér, szátkátlan és ízletes, ami megfelel a fogyasztói igényeknek. A takarmányértékesítő képessége a ragadozó halfajokhoz hasonlóan rendkívül jó, növekedése gyors. Könnyen tápra szoktatható, a termelés okozta töréseket jól tűri. Hazai tenyésztése nagyon sok lehetőséget rejt még magában, mind technológiai, mind genetikai szempontból.

Mivel a fehérje iránti globális kereslet folyamatosan növekszik, az igények kielégítése érdekében az akvakultúrák termelés is tovább növekedett, elsősorban intenzív akvakultúrák tavakban (Zhang és mtsai., 2020). Bár ezekben az intenzív tavakban hatékonyan lehet élelmiszer-alapanyagot előállítani, ez súlyos környezeti problémákat is okozhat. A halak általában a bevitt tápanyagoknak csak egy részét hasznosítják, míg a hasznosítatlan tápanyagok visszamaradnak a tavak vízterében, illetve az üledékben (Sun és Boyd, 2013). Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy a tápanyagok elsősorban az üledékben halmozódnak fel (Gross és mtsai., 2000; Zhang és mtsai., 2016). A halastavi termelés során a takarmányból és az ürüleből a tavakba kerülő szerves anyagok a rendszerben maradnak, így a természetes folyamatok során ezeknek a potenciálisan szennyező anyagoknak mennyisége csökken (Boyd, 1985). Következésképpen a tavakból az elfolyó vízzel távozó tápanyagok és szerves anyagok mennyisége lényegesen kevesebb, mint a tóba kerülő teljes terhelés (Schwartz és Boyd, 1994). A tavakból kibocsátott vízmennyiség szabályozásával befolyásolható a tavak víztároló kapacitása, így lehetőség nyílik a tavak tápanyag és szervesanyag kibocsátásának csökkentésére.

A tengerek, óceánok túlhalászatának következtében a halliszt termelés az 1994-es évtől – amikor a termelés 30 millió tonna volt – ingadozó, de összességében csökkenő tendenciát mutat. Az akvakultúra fejlődésével a halliszt iránti igény folyamatosan nőtt, mivel az intenzív halnevelő üzemekben az etetett haltápok fő fehérjeforrása, szinte kivétel nélkül a halliszt, ezzel párhuzamosan az árak is emelkedtek. Míg 1983-ban 400 USD volt a halliszt tonnánkénti ára, addig 2017-ben megközelítette az 1600 USD-t. A folyamatosan növekvő árak, valamint a csökkenő kínálat következtében elkezdtek alternatív fehérjeforrásokat (szójaliszt, repceliszt, gyapotmagliszt, állati melléktermékek) keresni a halliszt felhasználásának csökkentése érdekében. Számos halfaj esetében a felhasznált tápokban sikeresen csökkentették a halliszt mennyiségét, pl. csatornaharcsa (*Ictalurus punctatus*)

(Twibell és Wilson, 2004; Cho és Lowell, 2002), szívárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) (Gibson Gaylord és mtsai., 2007; Burr és mtsai., 2012; Kumar és mtsai., 2020), nílusi tilápia (*Oreochromis niloticus*) (Ribeiro és mtsai., 2016) aranydurbincs (*Sparus aurata*) (Kokou és mtsai., 2015; Bouraoui és mtsai., 2011), tengeri sügér (*Dicentrarchus labrax*) (Castro és mtsai., 2015) esetében. Ezeket az eredményeket hasznosíthatjuk a harcsa számára készített tápok fejlesztésében.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A harcsa rendszertani besorolása, elterjedése, táplálkozási sajátossága, gazdasági jelentősége

2.1.1. A harcsa rendszertani besorolása

Ország: **Állatok** (*Animalia*)

Törzs: **Gerinchúrosok** (*Chordata*)

Altörzs: **Gerincesek** (*Vertebrata*)

Főosztály: **Csontos halak** (*Osteichthyes*)

Osztály: **Sugarasúszójú halak** (*Actinopterygii*)

Rend: **Harcsaalakúak** (*Siluriformes*)

Család: **Harcsafélék** (*Siluridae*)

Nem: *Silurus*

Faj: **Harcsa** (*Silurus glanis*, L. 1758) (1. kép)



1. kép A harcsa (Fotó: Harka Ákos)

2.1.2. A faj elterjedése, környezeti igénye, táplálkozása

A harcsa elterjedési területének nyugati határa a Rajna vízrendszere, míg keleti határa az Aral-tó vízgyűjtő területe. Mind az északi, mind pedig a déli régióban az előfordulása nagyon ritka. Európa nyugati részén azonban a mesterséges telepítéseknek köszönhetően egész Franciaországban, valamint Spanyolországban is meghonosodott. Olaszországban, az Appennini-félszigeten nem őshonos, azonban az 1970-es évektől a Pó vízrendszerében folyamatos terjedését figyelték meg. A sikeres telepítések eredményeként Anglia déli részén is elterjedt. Európán kívül Kis-Ázsiában, a Kaukázusban, a Kaszpi-tenger, illetve az Aral-tó teljes vízgyűjtő területén megtalálható (Pintér, 2002). Hazánkban az összes jelentős folyóban (Duna, Tisza, Rába, Dráva, Ipoly, Körösök, Zala), nagyobb tavakban (Balaton, Velencei-tó, Tisza-tó, Fertő-tó), valamint tározókban, holtágakban, horgásztavakban előfordul (Harka és Sallai, 2004).

A különböző folyók (Duna, Dnyeper, Volga) vízrendszerén történő vándorlását elősegítette a Kaszpi- és Fekete-tenger, valamint az Aral-tó. A vándorlás során a part menti területeket használta, mivel a magas sókoncentrációt (15 ‰ felett) nem viseli el. Nem tartozik az érzékeny fajok közé. Az oxigényigénye alacsony (3,0-3,5 mg/l), valamint a vizek szennyeződését is jól tűri. Ennek köszönhetően a szállítást, tárolást, valamint a tógazdasági termelést jól bírja (Horváth és mtsai., 2011). Az 1980-as években, Németországban és Százhalombattán is végeztek vizsgálatokat azzal kapcsolatban, hogy megállapítsák, hogy a harcsa növekedése milyen víz hőfoknál a legnagyobb. A kutatók arra a megállapításra jutottak, hogy 25-27 °C-on a legnagyobb a növekedése ennek a halfajnak (Hilge, 1985; Jungwirth, 1986).

A harcsák által a zsákmányhalak felkutatása az ún. nem-vizuális érzékszervek segítségével történik. Ezek az érzékszervek a következők: nagy

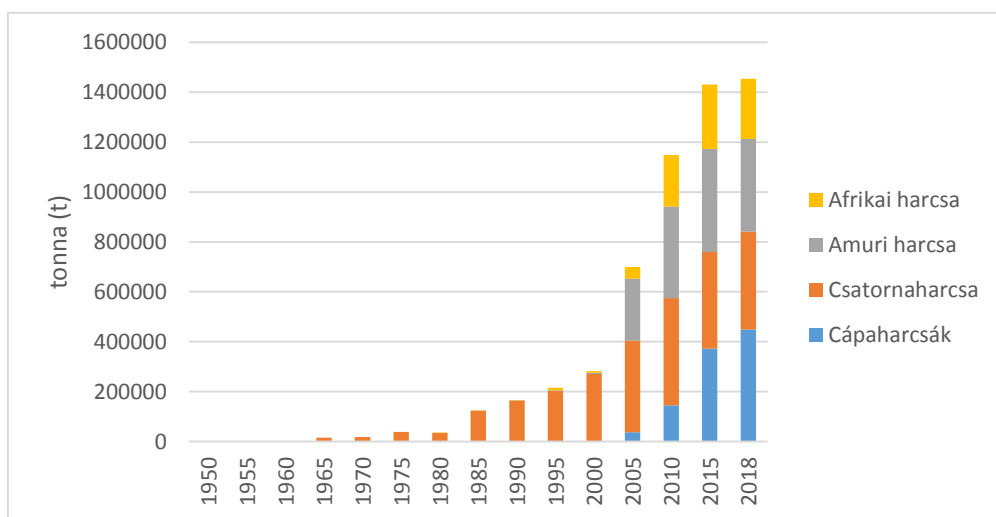
orr- és a hozzá kapcsolódó járulékos üregek, ízlelőreceptorok, hallószerv az oldalvonalszervvel kiegészülve, bajuszszálak. A táplálék megszerzésében az apró szemek csekély szerepet játszanak (Horváth és mtsai., 2011). A növendék és a kifejlett harcsák, ragadozó halakról lévén szó, minden eléjük kerülő állati táplálékot elfogyasztanak, akár élő, akár holt. Fő tápláléka a hal, azonban a nemeshal állományokban csupán a túlméretes harcsák okozhatnak jelentősebb károkat. Az elfogyasztott táplálék összetételével kapcsolatban Vásárhelyi (1968) végzett vizsgálatot 114 db tiszai példányon. Az eredmények az elfogyasztott táplálék különböző hónapokban történő vizsgálatát követően nagy változatosságot (kűsz, jász, dévérkeszeg, balin, bodorka, vörösszárnyú keszeg, kagyló, mezei pocok, stb.) mutattak. Horoszewicz (1971) a Visztula folyón különböző ragadozó halak által elfogyasztott halak méreteit hasonlította össze. Azt kapta eredményül, hogy harcsa esetében a legnagyobb méretű zsákmány a testhosszának a 12,7 %-a volt, ezzel szemben a süllőnél ez az érték 28 %, míg a csukánál 38 % volt. A falánkság nem csak a préda nagyságát jelöli, hanem azt is, hogy a táplálkozás milyen intenzitású, mennyire gyakori. Az emésztéssel kapcsolatban Fábán és mtsai. (1963) végeztek vizsgálatokat laboratóriumban. Megállapították, hogy a víz hőmérsékletének az emelkedésével a harcsák emésztése is gyorsul. Így a nyári időszakban érhetővé válik a harcsák jelentős táplálékfogyasztása.

A harcsa gazdaságilag fontos halfaj Európában. A jelentősége elsősorban az akvakultúrában számottevő, de mint kiváló sporthal, sport célú hasznosítása is jelentős Olaszországban és Spanyolországban (Urbányi és mtsai., 2011).

2.1.3. A harcsafélék termelése és hasznosítása

Az 1950-es években a világ akvakultúra termelésének mintegy 80 %-át a következő öt rendszertani csoport adta: pontyalakúak (*Cypriniformes*),

sügéralkatúak (*Percoidei*), harcsaalakúak (*Siluriformes*), lazacalakúak (*Salmoniformes*) és egyéb halak (*Pisces Miscellanea*). Napjainkra ennek az öt rendszertani csoportnak a részaránya meghaladja a teljes termelés 90 %-át. A harcsaalakúak részaránya a teljes termelt mennyiségben belül a 2000-es évek elejéig csupán néhány százalék volt. Az elmúlt 15 évben azonban ez az arány megduplázódott és jelenleg közel 11 %, amivel a harmadik legnagyobb mennyiségben termelt rendszertani csoport. Az akvakultúrában hasznosított fajok közül egyedül a harcsa mérsékelt égövön tenyésztett faj, a többi a trópusi, szubtrópusi övezet hala. A termelésbe vont fajok közül a következő négy csoport, illetve faj emelkedik ki: cápaharcsák (*Pangas catfishes*), csatornaharcsa, amuri harcsa (*Silurus asotus*) és az afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*), melyek termelési adatait az 1. ábra mutatja.

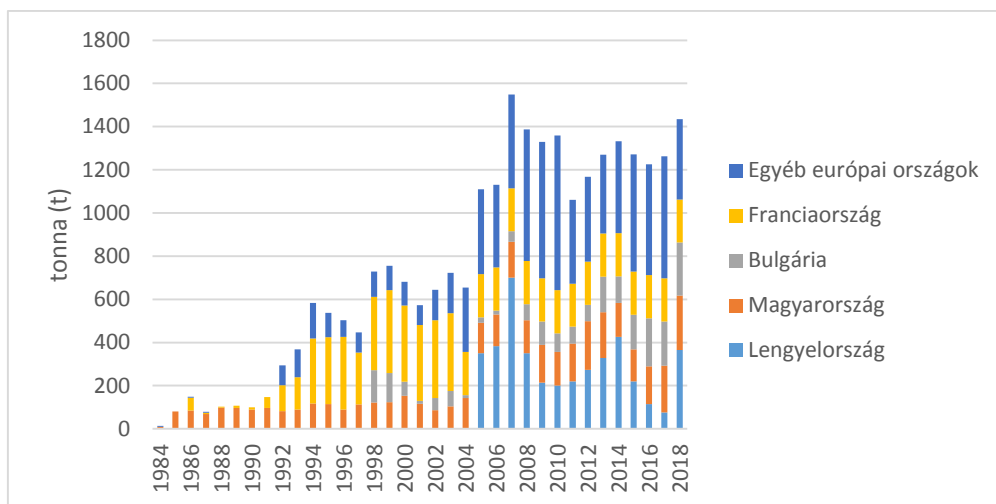


1. ábra A négy jelentősebb harcsafaj termelési adatai 1950 és 2018 között. Forrás: FAO FishstatJ, 2020.04.10.

2.1.4. A harcsa termelése helyzete Magyarországon és Európában

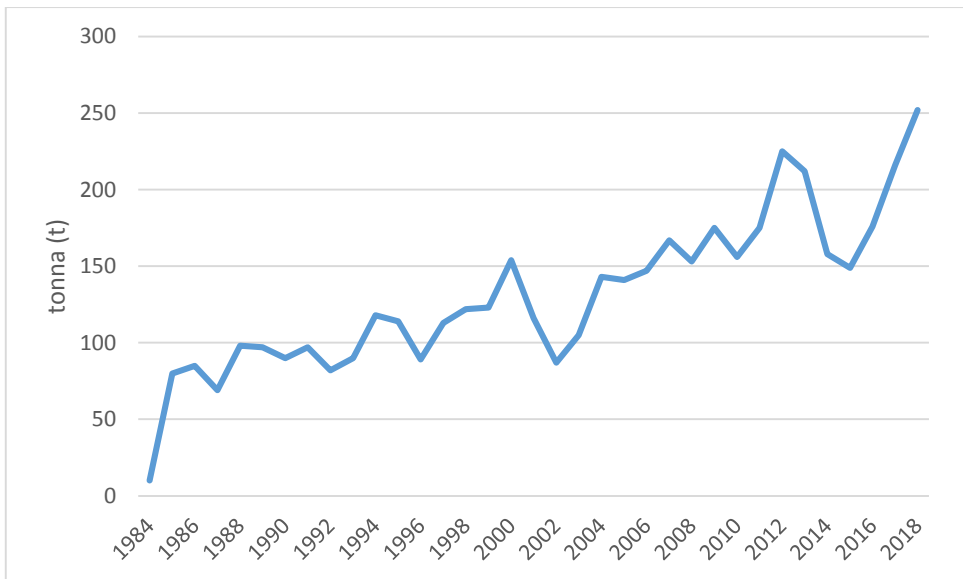
A világ harcsa termelése 2018-ban meghaladta a 2000 tonnát, ami elsősorban Európára korlátozódik. A FAO adatai alapján Európán kívül csupán Üzbegisztánban és Tunéziában tenyésztik. Az európai termelés 2018-ban

meghaladta az 1400 tonnát. A legjelentősebb országok Lengyelország, Magyarország, Bulgária és Franciaország, amelyek az európai termelés 75 %-át adják, ennek adatait pedig a 2. ábra mutatja.



2. ábra Termelési adatok 1984 és 2018 között Európában. Forrás: FAO FishstatJ, 2020.04.10.

A 2018-as adatok alapján Magyarország a második legnagyobb harcsatermelő ország, a maga 252 tonnás éves termelésével. A hazai harcsa termelésben néhány visszaesés ellenére emelkedő tendencia figyelhető meg, amelyet a 3. ábra mutat.



3. ábra Hazai termelési adatok 1984 és 2018 között. Forrás: FAO FishstatJ, 2020.04.10.

A faj növekvő európai tógazdasági termelésében (Linhart és mtsai., 2002) a korábban hazánkban elért eredmények nagy szerepet játszottak. A harcsa szaporítási és nevelési technológiájának kidolgozásában sok hazai szakember szerzett hírnevet, mint pl. Szalay Mihály, Woynárovich Elek, Horváth László és mások. A hazai tenyésztés a XX. század elején indult Biharugrán (Pintér, 2002).

A polikultúras tógazdaságokban mellékalként alkalmazzák, az összes termelés 1-2 százalékában (Raát, 1990; Hancz, 2007). Ennek célja elsősorban, hogy a pontytermelő tavakban az oda bekerülő, a termelés szempontjából káros halakat eredményesen ritkítja, csökkentve ezzel a ponty számára táplálékkonkurens fajokat. Zaikov és mtsai. (2008) laboratóriumban azt vizsgálták, hogy az azonos méretű kínai razbóra (*Pseudorasbora parva*) és ponty (*Cyprinus carpio*) ivadékok közül melyik fajt preferálja, és azt tapasztalták, hogy a két faj közül elsősorban a kínai razbórát fogyasztja. Az áruhal termelő tavakban halegészségügyi szerepe is van azáltal, hogy elfogyasztja a fertőzéseket hordozó és az elpusztult halakat (Horváth, 2000).

A harcsa húsa – fehér, szálkátlan, ízletes – a jelenlegi fogyasztói igényeknek megfelel (Fauconneau és Laroche, 1996). A vágási veszteségek viszonylag alacsonynak mondhatóak (34%) a nagy fejméret ellenére. A többi ragadozó halhoz hasonlóan a piacon magas áron értékesíthető. Intenzív rendszerekben is sikeresen nevelhető (Hancz, 2007). Kiss és Horváth (1978) tavi ivadék nevelés során a busa - harcsa kombinált nevelésnél érték el a legjobb eredményeket. Már ekkor leírják a tápokkal történő etetés biztató eredményeit. Krasznai és mtsai. (1980) Szarvason kidolgoztak egy négy fázisból álló nevelési technológiát, amellyel a második év végére 500 grammos átlagtömeget lehet elérni. Kozák (2009) szerint a medencében történő előnevelés is sikeres lehet.

A harcsa intenzív körülmények között történő nevelésére számos példát lehet találni Európában. Németországban recirkulációs üzemben állítanak elő nagy mennyiségben harcsát (www.ahrenhorster.de). Romániában, bár a polikultúrás tavakban nagyobb arányban szerepel, az intenzíven történő nevelés is egyre jelentősebb, elsősorban átfolyóvizes rendszerekben (Talpeş és mtsai., 2009). Lengyelországban Ulikowski és mtsai. (2003) harcsát és tokot neveltek és takarmányoztak intenzív tavi rendszerben mono- és bikultúrában. Azt tapasztalták, hogy a tokok növekedése kedvezőbb volt a harcsával történő együttes nevelés során. Csehországban a zárt, melegvizes rendszerekben történő nevelés terjed. Franciaországban ketrecekben vagy kisméretű tavakban történik az intenzív nevelése (Linhart és mtsai., 2002).

Az intenzív harcsanevelés kockázatairól Békési (1986) már az 1980-as évek végén említést tesz. Linhart és mtsai. (2002) szerint az intenzív harcsanevelési technológia elterjedésének a legjelentősebb gátló tényezői a különböző betegségek, úgymint a darakór vagy a kopoltyúférgesség.

2.2. A halliszt helyettesítésének lehetőségei

2.2.1 A halliszt termelés helyzete

A tengeri halfogásokban a 2016-os évben kismértékű emelkedés figyelhető meg a 2005-2014-es időszak átlagához képest. Azonban néhány régióban – Csendes-óceán délnyugati régió, Atlanti-óceán délnyugati régió, Csendes-óceán délkeleti régió – jelentős (22,8-40,5 %) mértékű csökkenés tapasztalható (FAO, 2018).

A 2016-os teljes haltermelés (171 millió tonna) körülbelül 88 %-a közvetlen emberi fogyasztásra került, a többiből halliszt, valamint halolaj készült. A lehalászott halmennyiség halliszt célú felhasználása 1994-ben érte el a maximumát, összesen 30 millió tonnát. Azóta a termelt halliszt mennyisége ingadozó, de összességében csökkenő tendenciát mutat. Az előállítás történhet egész halból, haldarabokból, melléktermékekből. Napjainkban a melléktermékekből gyártott halliszt mennyisége fokozatosan növekszik. Becslések szerint az így készült halliszt és halolaj a teljes mennyiség kb. 25-35 %-át teszi ki. Bár a halak számára még mindig a legtáplálhatóbb és leginkább emészthető összetevőkről van szó, felhasználásuk csökkenő tendenciát mutat, köszönhetően az alternatív fehérjeforrások egyre nagyobb arányú felhasználásának (FAO, 2018).

A 2000-es évek elején a halliszt ára 400 USD/t volt. 2006-ban, amikor Peru partjainál az ancsovéta fogásokban visszaesés következett be, az ár hirtelen megugrott és meghaladta az 1300 USD/tonnát. Ezt követően nem csökkent 1000 USD/t alá, hanem 2010-2015 között tovább emelkedett és átlépte az 1800 USD/tonnát. Jelenleg a halliszt tonnánkénti ára 1300-1500 USD körül mozog (<http://www.indexmundi.com>).

2.2.2 Alternatív fehérjeforrások a haltakarmányozásban

Az akvakultúrában alkalmazott takarmányokban felhasznált halliszt, valamint halolaj részaránya a fentebb leírtak miatt folyamatosan csökken, és ez a kiváltásukra szolgáló alternatív fehérje- és olajforrások széleskörű kutatásához vezetett (Tacon és Metian, 2008). A legkézenfekvőbb alternatívát a növényi olajok és fehérjék jelentik. A 2010-es években két nagy európai uniós projekt, az Aquamax és az Arraina is vizsgálta ezen alapanyagok hosszútávú és nagymértékű alkalmazásának következményeit. Az eredmények alátámasztották, hogy a tengeri forrásból származó takarmány-összetevők nagymértékben helyettesíthetőek növényi forrásokkal több faj, pl. az aranydurbincs, vagy az atlanti lazac esetében (Benedito-Palos és mtsai., 2008; Torstensen és mtsai., 2008; Simó-Mirabet és mtsai., 2018, Clarkson és mtsai., 2017).

Az állati-hulladék feldolgozó üzemekből származó feldolgozott állati fehérje (Processed animal protein, PAP) egy másik értékes alternatív takarmány-összetevő (Davies és mtsai., 2009). Több kutatást végeznek olyan új takarmányösszetevők alkalmazhatóságával kapcsolatban is, mint pl. a mikrobiális algák (Delamare-Deboutteville és mtsai., 2019; Perez-Velazquez és mtsai., 2018; Gong és mtsai., 2019), a rovarlisztek (Fawole és mtsai., 2020; Panini és mtsai., 2017; Belghit és mtsai., 2019), azonban nagy valószínűséggel ezek az összetevők csak néhány év elteltével lesznek széles körben elérhetőek és megfizethetőek. Ezen alternatív forrásokat azonban, amelyek nem a tengereken halászott halakból származó halolajon és halliszten alapulnak – ezáltal növelve az akvakultúra ágazat fenntarthatóságát – egyre gyakrabban használják már olyan nagy jelentőségű ragadozó halak esetében is, mint az atlanti lazac (*Salmo salar*), ahol pl. 65 %-ról 24 %-ra csökkent az alkalmazott takarmányokban a halliszt mennyisége (Ytrestøyl és mtsai., 2015).

2.2.3. Feldolgozott állati fehérjék alkalmazása a haltakarmányozásban

Az Európai Unió az 1990-es évek elején az Egyesült Királyságban kitört BSE (**B**ovine **S**pongiforme **E**ncephalopathie, szarvasmarhák szivacsos agyvelőgyulladás) járvány után az összes feldolgozott állati fehérje takarmányozási célú felhasználását betiltotta. Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) kockázatelemzését követően azonban az EU 2013 óta ismét engedélyezi a nem kérődző eredetű feldolgozott állati fehérjék használatát a haltakarmányokban (56/2013/EU). Jelenleg a sertés vérliszt és a baromfi feldolgozóipar melléktermékei használhatók fel a kereskedelmi forgalomban kapható haltakarmányokban, melyek alkalmazásában jelentős előrelépés történt. A III. kategóriájú vágóhidakon (emberi fogyasztásra alkalmasnak minősített levágott állatokból származó anyagok) feldolgozott állati melléktermékeket optimalizált hőkezeléssel és nyomáson, valamint enzimes hidrolízissel állítják elő. A fent leírtak voltak a legújabb takarmányozási kutatások előfeltételei, amelyek az emészthető fehérje és energia, valamint aminosav tartalom vizsgálatokon alapulva optimálisabb halliszt helyettesítést tesznek lehetővé (Davies és mtsai. 2019).

Az állati fehérjék számos előnnyel rendelkeznek a növényi eredetű lisztekkel szemben: általában nem tartalmaznak antinutritív anyagokat, fitin kötésben lévő foszfort, emészthetetlen összetett szénhidrátokat, legtöbb esetben GMO mentesek, kevés bennük a szénhidrát, nagymértékben tartalmaznak nyersfehérjét, valamint nagy az energia, vitamin (B₁₂) tartalmuk és ásványi anyag forrást jelentenek (Tacon és Hardy, 2002; Francis és mtsai., 2001, in Yu-yu 2007). Az állati eredetű melléktermékek esetében a halliszthez hasonló fehérje emésztési együtthatót írtak le több halfajnál is (Bureau és mtsai, 1999; Zhou és mtsai. 2004). A feldolgozás során használt csont:lágyszövet aránytól függően a kész feldolgozott állati melléktermék neve húsliszt (nyersfehérje tartalom >550 g/kg, <200 g/kg hamu tartalom) vagy csontos húsliszt (MBM) (nyersfehérje tartalom <450 g/kg, hamu tartalom >350 g/kg).

A húsliszttel szemben az MBM esetében a magas hamutartalom korlátozza a haltápokba keverhetőségének mértékét. Atlanti lazac esetében az állati melléktermék takarmány-összetevőként való alkalmazása nem okozott komolyabb negatív hatást a belekben vagy más szövetekben (Liland és mtsai., 2015).

Az állati eredetű fehérjével történő halliszt kiváltására irányuló kutatásokat az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat: Különböző ragadozó halfajok etetése során alkalmazott állati eredetű fehérjeforrások hatása a termelési mutatókra

Faj	Helyettesítési arány (%)	Hatások	Hivatkozások
Atlanti lazac	50 % PBM ¹	A fehérjék, aminosavak és zsírok emészthetősége csökkent. A testtömegre és kondíciófaktorra nem volt hatással.	Hatlen és mtsai., 2015
Szivárványos pisztráng	15 % FEM ² , 24% MBM ³	A növekedésre és a takarmányértékesítésre nem volt hatással.	Bureau és mtsai., 1999
Afrikai harcsa	50, 75 % SPB ⁴	50 %-ot meghaladó helyettesítési szintnél a termelési mutatók csökkentek.	El-Husseiny és mtsai., 2018
Aranydurbincs	25, 50, 70 % PMM ⁵	A növekedésre nem volt hatással, a takarmány ízletessége kismértékben csökkent.	Davies és mtsai., 2019
Fűrészés sügér	10-100 % MMBM ⁶	80 %-ot meghaladó helyettesítésnél az SGR csökkent.	Millamena, 2002
Európai angolna	100 % PMBM ⁷	A növekedés nagymértékben csökkent.	Gallagher és Degani, 1988
Fekete durbincs	10-60 % PBM	30 %-os helyettesítésig a végső testtömeg és a fehérje hatékonysági arányban növekedés. Magasabb helyettesítési arány rontotta a mutatókat.	Irm és mtsai., 2020
Mekong harcsa	25-100 % FM ⁸	A növekedésre nem volt hatással.	Panase és mtsai., 2018

¹baromfiipari melléktermék, ²tolliszt, ³csontos húsliszt, ⁴baromfivágóhídi melléktermék, ⁵baromfi húsliszt, ⁶hús- és vérliszt, ⁷baromfiliszt és vérliszt, ⁸halliszt (*Pterygoplichthys pardalis*)

2.2.4. Növényi fehérjék alkalmazása a haltakarmányozásban

A növényi fehérjék, mint pl. a szójaliszt és a repceliszt, általában jó alternatívát jelentenek az akvakultúrában használt tápok halliszt tartalmának a csökkentésére. Ragadozó halakkal etetett takarmányokban történő felhasználásuk során azonban nagy kihívást jelent a magas szénhidráttartalmuk és a kiegyensúlyozatlan aminosav-összetételük (metionin, lizin hiánya) (Lunger és mtsai., 2007). Az antinutritív anyagok szintén limitálják a felhasználhatóságukat a halliszt helyettesítésben. Ezek az endogén összetevők a takarmányban csökkent takarmányfelvételt, növekedést és általában véve a takarmány és a táplálóanyagok csökkent felhasználását eredményezhetik, miközben a betegségekkel szembeni ellenállóképesség is romlik (Triantaphyllopoulos és mtsai. 2019).

A növényi eredetű fehérjével történő halliszt kiváltására irányuló kutatásokat az 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat: Különböző ragadozó halfajok etetése során alkalmazott növényi eredetű fehérjeforrások hatása a termelési mutatókra

Faj	Helyettesítés arány (%)	Hatások	Hivatkozások
Csatorna harcsa	88, 92, 96, 100 % SM ¹ , DDGS ² , CM ³	A növekedésre és a takarmányértékesítésre nem gyakorolt hatást.	Webster és mtsai., 1992b
	96, 100 % SM, CSM ⁴	A növekedésre nem gyakorolt hatást, csökkent hasúri zsírtartalom.	Robinson és Li, 1994
	88, 94, 100 % SM, C ⁵	A növekedésre és a takarmányértékesítésre nem gyakorolt hatást.	Li és mtsai., 2003
Afrikai harcsa	50, 75, 87,5, 100 % SFOC ⁶ , BM ⁷ , GOC ⁸	Csökkent n-3 és n-6 zsírsavtartalom, a növekedésre nem gyakorolt hatást.	Nyina-wamwiza és mtsai., 2012
Kék harcsa	87, 91, 97, 100 % SM	Csökkent növekedés.	Webster és mtsai., 1992a
Silurus meridionalis	0-65 % SM	A hal kiválasztása során növekvő energiaveszteség.	Ai és Xie, 2005
Vörös tengeri sügér	70-100 % SM	70-80 % kiegészítésnél szignifikánsan nagyobb növekedés.	Kader és mtsai., 2012
Aranydurbincs	30, 60, 100 % SPC ⁹ , RPC ¹⁰	30 % RCP kiegészítés nem okoz szignifikáns különbséget a növekedésben.	Kissil és mtsai., 2000
Szivárványos pisztráng	33, 67, 100 % SPC; 25, 50 % SM	Az SPC kiegészítés a növekedésre nem gyakorolt hatást; a SM kiegészítésnél csökkent növekedés.	Kaushik és mtsai., 1995
Atlanti lazac	15, 31, 48, 65 % PP ¹¹	Csökkent növekedés, takarmánybevitel és tápanyag emészthetőség.	Mundheim és mtsai., 2004

¹szójaliszt, ²száritott kukoricatörköly, ³kukoricaliszt, ⁴gyapotmag-liszt, ⁵kukorica, ⁶napraforgó olajpogácsa, ⁷babliszt, ⁸földimogyoró pogácsa, ⁹szójafehérje koncentrátum, ¹⁰repcefehérje koncentrátum, ¹¹növényi fehérjék

2.4. Génexpressziós vizsgálatok szerepe a haltakarmányozásban

A kutatás viszonylag új ága a takarmányozási és genomikai vizsgálatok egyesítése a nutrigenomikai megközelítésen keresztül, amely segíti a takarmányozás génexpresszióra gyakorolt hatásának jobb megértését (Mutch és mtsai. 2005). A halak növekedése egy poligénes, a környezet által befolyásolt tulajdonság, amelyre a növekedési hormon (GH) és az inzulinszerű növekedési faktor (IGF-I) van a legnagyobb hatással, mivel ezek adják a hipotalamusz-hipofízis tengely „gerincét” (Company és mtsai. 2001, Triantaphyllopoulos és mtsai. 2019). Ennek eredményeként a takarmányozási és környezeti feltételek hatással vannak a GH és IGF-I gének kifejeződésére és ezáltal hatalmas lehetőség rejlik bennük a halak egészségének és termelésének optimalizálásában, tekintve, hogy a növekedés kulcsfontosságú tényező az akvakultúrában (Kumar és mtsai., 2013, Triantaphyllopoulos és mtsai. 2019). A gazdasági halfajok esetében nutrigenomikai vizsgálatokat folytattak annak érdekében, hogy megtudják hány százalékban helyettesíthető a halliszt növényi fehérjével a haltakarmányokban.

Irm és mtsai. (2020) azt vizsgálták, hogy a fekete durbincs ivadék takarmányában a halliszt 0% (kontroll), 10%, 20%, 30%, 40% és 60%-os helyettesítése baromfi vágóhídi fehérjeliszttel (PBM) milyen hatást gyakorol egyes gének kifejeződésére. A halliszt 30 %-os helyettesítéséig az IGF-I relatív kifejeződésének szignifikáns felülszabályozottsága volt megfigyelhető, a génexpresszió és a növekedés pozitív korrelációt mutatott. A 30 %-ot meghaladó helyettesítés a fekete durbincs esetében a gének kifejeződésének csökkenésével járt. Ehhez hasonló eredményeket kaptak különböző alternatív fehérjeforrások génexpresszióra gyakorolt hatását vizsgálva óriás fűrészkeszűsügernél (*Epinephelus lanceolatus*) (Gao és mtsai., 2019) rohunál (*Labeo rohita*) (Kumar és mtsai., 2017) és aranydurbincsnál (Karapanagiotidis és mtsai. 2019, Psafakis és mtsai., 2020). Csatorna harcsánál Schroeter és mtsai.

(2018) azt tapasztalták, hogy a halliszt szójaliszttal vagy sertés vér- és húsliszttel történő helyettesítése nem befolyásolja a növekedési hormon, az IGF-I, IGF-II és más növekedéssel összefüggésben álló hormonok kifejeződését, a GHR2 (növekedési hormon receptor2) kivételével, mely kifejeződése szignifikánsan nőtt a májban.

A halliszt feldolgozott állati fehérjékkal való helyettesítése – a növényi fehérjékkal való helyettesítéshez hasonlóan – részleges helyettesítés esetén minimális hatást gyakorol a GH és IGF-I expressziójára, a növekedésre és a takarmány felvételre (Latiff, 2013). Az alternatív összetevőket a halak azonban csak addig tolerálják, amíg azok az esszenciális aminosav igényüket kielégítik (Gómez-Requeni és mtsai., 2004). Ebből levonható az a következtetés, hogy a halliszt részleges helyettesítése lehetséges állati mellékterméken alapuló forrásokkal, azonban egy fajonként eltérő küszöbszint átlépésével az nem kívánatos hatást gyakorol a hipotalamusz-hipofízis tengelyre és a halak növekedésére. A harcsa esetében nem ismert olyan vizsgálat, amely halliszt állati vagy növényi fehérjével történő helyettesítésének növekedési génekre gyakorolt hatását célozta volna.

2.5. Integrált haltermelő rendszerek

Az intenzív haltermelés környezetre gyakorolt hatása a különböző intenzitású rendszerek összekapcsolásával mérsékelhető. Az 1980-as években Izraelben hoztak létre kombinált haltermelő rendszereket (Avnimelech és mtsai., 1986). A nagy népesítésű tavakban a halbiomassza növekedése ellenőrzött körülmények között történik, maximálisan kihasználva a rendelkezésre álló vízteret. Ezeket a tavakat mesterségesen levegőztetik, így az oxigénszintnek nem szabadna limitáló tényezőnek lennie. Azonban a nagy népesítésű tavak egyik legnagyobb problémáját a mérgező szerves nitrogénvegyületek, mint pl. a szabad ammónia és a nitrit felhalmozódása

jelentí (Colt és Armstrong, 1979; Palachek és Tomaso, 1984). Ennek a nehézségnek az egyik megoldási lehetősége a jelentős mennyiségű friss vízzel történő “átöblítés”, azonban ez nagyban függ attól, hogy mennyi friss víz áll rendelkezésre. A másik lehetőség a víz biofiltereken történő átáramoltatása. A megfelelő működéshez szükséges biofilterek bekerülési és működtetési költségei azonban igen magasak. Szintén megoldás lehet az intenzív-extenzív kombinált rendszer alkalmazása. A rendszer két, teljesen eltérő víztest kombinációja. Az intenzív részt nagy telepítési sűrűség, szennyezettség, míg az extenzív részt hőrétegzettség, oxigéndús környezet jellemzi (Diab és mtsai., 1992). Az extenzív részben az ammóniumszint szabályozása algák által történik (Shilo és Rimon, 1982). Az ilyen rendszereket PAS (Partitioned Aquaculture System) rendszernek is nevezik. Az extenzív tavakban a denitrifikáció lehetősége magas. Egy ilyen rendszer optimalizálhatja a mérgező szerves nitrogénvegyületek hatékony eltávolítását a rendszerből.

2.5.1. Alga-hal integrált rendszerek (PAS)

Tavi rendszerekben a haltermelésnek gyakori limitáló tényezője az oldott oxigén koncentráció, amelyre az algák termelékenységje jelentős hatással van, azonban a hagyományos tavi rendszerekben ez nehezen kontrollálható. A PAS rendszereket úgy tervezték, hogy az algák termelékenységén, biomassza koncentrációján keresztül a tavi rendszerekben növeljék a haltermelést (Smith és Piedrahita, 1988; Drapcho és Brune, 2000). A fitoplankton fogyasztásának pozitív hatása, hogy csökkenti az algák sejtkorát, melynek hatására növekszik az algák növekedése, javul a hulladék eltávolítás és az oxigén-termelés. Emellett a fitoplankton táplálék forrásként is szolgál a szűrő táplálkozású halak számára, mint pl. nílusi tilápia.

Turker és mtsai. (2003a) a PAS rendszerben a zöldalgák és cianobaktériumok nílusi tilápia általi eltávolítását vizsgálták. Kísérletükben

szignifikáns különbségeket tapasztaltak a befolyó és az elfolyó víz zöldalga, valamint cianobaktérium tartalmában. A maximális szűrési arány 641 mg C/kg/óra volt 26 mg C/l szuszpendált anyaghoz kapcsolódó szerves szén (POC) szint mellett zöldalgával telített vízben. Ugyanezen érték 865 mgC/kg/óra volt 59 mg C/l POC szint mellett cianobaktériummal telített vízben. Turker és mtsai. (2003b) egy másik kísérletükben azt vizsgálták, hogy a nílusi tilápia mérete milyen hatással van a fitoplankton szűrési arányra. Azt az eredményt kapták, hogy a halak méretének növekedésével a kiszűrt fitoplankton mennyisége szignifikánsan csökkent. Turker és mtsai. (2003c) harmadik kísérletükben a nílusi tilápia és a fehér busa (*Hypophthalmichthys molitrix*) szűrési arányát hasonlították össze. Mind a két halfaj jelentősen csökkentette a PAS rendszerben a POC tartalmat, valamint a zöldalga és a cianobaktérium mennyiséget elsősorban a nagyobb méretű fitoplankton eltávolításával. Turker és mtsai. (2003d) azt is megvizsgálták, hogy a hőmérséklet és a fitoplankton koncentráció milyen hatással van a nílusi tilápia szűrésére. A szűrési arány lineárisan változott a zöldalgák és a cianobaktériumok esetében 17 °C-tól 32 °C-ig mindegyik átfolyási sebességnél. Szignifikáns különbséget kaptak a hideg és a meleg vízben történő szűrő táplálkozás között.

Fehér busa és édesvízi kagyló (*Elliptio complanata*) fitoplankton közösségekre gyakorolt szűrő hatását vizsgálták Mueller és mtsai. (2004). Adott termelési egységben meghatározott időközönként kicserélték a busát és a kagylót. A busa teljesen eltávolította a *Microcystis* cianobaktériumokat a méret és biomassza csökkentése által. Ez azt a kívánatos hatást eredményezte, hogy a kisméretű zöldalgák kerültek túlsúlyba az alga közösségben. Egy jelentős, de ezzel ellentétes változás volt megfigyelhető, amikor édesvízi kagylók szűrték a PAS vizét, amely a *Microcystis* biomassza és méret túlsúlyba kerülését eredményezte a PAS-ban, amely egy kevésbé kívánatos alga közösség.

Édesvízi kagylóval végzett vizsgálatokban Eversole és mtsai. (2008) azt vizsgálták, hogy a szűrési arányra milyen hatással van a hőmérséklet és a fitoplankton koncentráció. Eredményeik megegyeztek Turker és mtsai (2003d) által korábban leírtakkal.

Li és mtsai. (2019) szintén a PAS rendszer hatását vizsgálták a fehérlábú ostorgarnéla (*Penaeus vannamei*) növekedésére és a vízminőségre. Azt tapasztalták, hogy a formált szerves anyag és az összes formált anyag mennyisége szignifikánsan alacsonyabb volt a PAS rendszerben, mint a monokultúrás tóban. A szervesetlen nitrogénformák közül a nitrit és nitrát esetében találtak szignifikáns különbséget a két kezelés között. A garnélák növekedésében nem volt szignifikáns különbség a csoportok között.

A PAS rendszerben megvan a lehetőség a jövedelmezőség növelésére összehasonlítva azt a Goode és mtsai. (2002) által vizsgált hagyományos harcsa telepekkel. Habár a PAS rendszer hektárra vetített termelése nagyobb a hagyományos tavakénál, ezen termelési szintek eléréséhez tökeigényes technológiát használ és olyan humán erőforrást igényel, amely képes működtetni és irányítani egy sokkal szofisztikáltabb akvakultúrás technológiát. Tekintve, hogy a PAS hektárra vetített költségei sokkal nagyobbak, meg kell határozni az üzleti célokat, hogy eldönthető legyen, érdemes-e egy gazdálkodónak belevágnia egy intenzív akvakultúrás rendszer megvalósításába. A rendszerek intenzitásának növelésével a kockázatok is nőnek. (Goode és mtsai., 2002).

2.5.2. Osztott tavi rendszer (*Split-pond system, SPS*)

A csatornaharcsa termelés a Clemson Egyetemen kifejlesztett PAS rendszerben nagyobb volumenű, mint a hagyományos földmedrű tavakban. Az elmúlt években a kutatók a PAS rendszer egy módosított változatát vizsgálták, amely kihasználja a halak elkülönítésének előnyeit, miközben az intenzív rendszer szükségleteit minimalizálja. Az osztott tavi rendszernek kisebb algatermelő területe van, míg a haltermelő területe nagyobb, így a hagyományos tavakhoz képest ötször nagyobb telepítési sűrűség érhető el. A rendszerben a két osztott rész közötti vízcseré, valamint a mechanikus levegőztetés sosem működik egyszerre. A rendszerben az összes ammónia-N koncentrációja ritkán haladta meg az 1 mg/l értéket (Tucker és Kingsbury, 2010).

A lapátkerekes keringető szivattyúk hatékonyságáról viszonylag kevés információ áll rendelkezésre. Osztott tavi rendszerben kétféle lapátkerekes keringető szivattyú teljesítményét, valamint gépészeti tényezőket értékelték Park és mtsai. (2014). Azt tapasztalták, hogy mind az elfogyasztott energia, mind pedig a vízáramlás lineárisan nőtt a lapátkerekek forgási sebességének, illetve a vízmélységnek a növekedésével.

Brown és Tucker (2013) a lassan forgó lapátkerekek “szivattyúzási” hatékonyságát vizsgálták. Tanulmányukban arról számolnak be, hogy a percenkénti 1-2 fordulattal üzemelő lapátkerekes szivattyúk rendkívül hatékonyak, azonban a forgási sebesség növelésével a hatékonyság jelentős mértékben csökken. Egy későbbi tanulmányukban (Brown és Tucker, 2014) a lapátkerekes levegőztetők “szivattyúzási” hatékonyságát vizsgálták. Jelentős különbséget tapasztaltak attól függően, hogy a levegőztetőket a két tórészletet összekötő csatorna melyik végébe helyezték el. Leírták, hogy a vízáram és a lapátkerekek merülési mélységének a növelésével a levegőztetők hatékonysága csökken.

SPS rendszerben négy különböző vízkeringetési módszer teljesítményét értékelték Brown és mtsai. (2016). A vizsgálatok (lassan forgó

lapátkerek, lapátkereses levegőztetők) során gyűjtött adatok elemzését követően a korábbi tanulmányokban (Brown és Tucker, 2013; Brown és Tucker, 2014; Park és mtsai., 2014) leírtakhoz képest, hasonló eredményeket kaptak. Nagy sebességű csavarszivattyú és axiálszivattyú által előállított vízáramlási arány 8,6-34,6 m³/min és 12,3-47,2 m³/min volt. Ezzel szemben Howerton és mtsai. (1994) 63 m³ maximális arányt értek el axiálszivattyúkkal.

Az SPS rendszerben Jescovitch és mtsai. (2017) a szennyvízkezelő egységekben alkalmazott mechanikai levegőztetés hatását vizsgálták három éven keresztül a vízminőségre vonatkozóan. Azt tapasztalták, hogy összességében javult a vízminőség a levegőztetőkkel ellátott tavakban. Az összes ammónia-N értékek évről évre kedvezőbbek voltak azoknál a csoportoknál, ahol kiegészítő levegőztetést alkalmaztak.

Schrader és mtsai. (2018) a vízben megjelenő kellemetlen íz- és szaganyagokkal kapcsolatos vizsgálatokat folytattak SPS rendszerekben. A geozmin és 2-metilizoborneol (MIB) koncentrációk a tavakból vett vízmintákban 898 ng/l és 22651 ng/l voltak. Ezek az értékek hasonlóak voltak a korábban, hagyományos tavak esetében leírtakkal (Martin és mtsai., 1988; van der Ploeg és mtsai., 1992). A hibrid harcsa filében a geozmin és MIB koncentrációk 1712 ng/l és 29851 ng/l voltak. Számos korábbi tanulmányban hasonló eredményeket írtak le a hagyományos tavakból származó minták esetében (Dionigi és mtsai., 1998; Gautier és mtsai., 2002; Grimm és mtsai., 2004).

SPS rendszerben Schrader és mtsai. (2016) a fitoplankton közösségeket hasonlították össze. Az SPS rendszerben a cianobaktériumok domináltak. Ezen túlmenően számos fitoplankton faj is megtalálható volt a vízmintákban, úgymint zöldmoszatok (*Chlorophyta*), kovamoszatok (*Bacillariophyta*), ostoros moszatok (*Euglenophyta*). Az általuk kapott eredmények megegyeznek korábbi, hagyományos harcsatermelő tavak vizsgálatánál kapott

eredményekkel (van der Ploeg és Tucker, 1994; Paerl és Tucker, 1995; Schrader és Dennis 2005).

2.5.3. Tavi átfolyóvízes rendszer (*In-pond raceway system, IPRS*)

A haltenyésztési rendszereknek négy alapvető típusa létezik: tavi, ketreces, átfolyóvízes, recirkulációs rendszerek. Mindegyik rendszernek megvannak az előnyei és a hátrányai a termelés, vízminőség, kezelhetőség és a gazdasági megtérülés szempontjából.

Az átfolyóvízes rendszerek nagyobb állománysűrűséggel üzemelnek, mint a korábban tárgyaltak. Hátrányuk, hogy a betegségek jobban terjednek, probléma esetén kevesebb a reagálási idő és nagy mennyiségű, hígított állati ürüléket tartalmazó elfolyó víz kerül kibocsátásra. A rendszeren a víz gravitációs úton áramlik keresztül, a szivattyúzás nem lenne gazdaságos. A nagy mennyiségű és jó minőségű vízszükséglet következtében ezeket a rendszereket olyan helyekre telepítik, amelyek bővizű forrásokkal rendelkeznek. Ezeket a rendszereket elsősorban hidegvízi fajoknál alkalmazzák, pl. pisztrángnál. A 1990-es évek elején az Auburn Egyetemen kezdték továbbfejleszteni az átfolyóvízes rendszert, hogy azt tavi körülmények között is alkalmazni lehessen (Masser és Lazur, 1997).

Brown és mtsai. (2014) a kereskedelmi harcsatermelés gazdaságosságát vizsgálták tavi átfolyóvízes rendszerben, melynek során azt tapasztalták, hogy a fedezeti pont minden termelési módnál alacsonyabb volt, mint a hagyományos gazdálkodás esetében.

Csatornaharcsával és hibrid harcsával (*I. punctatus x I. furcatus*) tavi átfolyóvízes rendszerben végzett különböző vizsgálatokban a takarmányértékesítés hasonlóképpen alakult: 1,36-1,47 kg/kg (Brown és mtsai., 2011, 2012), 1,41-1,75 kg/kg (Bernardez, 1995), 1,45-1,57 kg/kg (Wilcox, 1998). Az összes ammónia-N ($1,45 \pm 1,16$ mg/l (2011), $1,45 \pm 1,15$

mg/l (2012)) és nitrit-N átlagos értékei ($0,17 \pm 0,19$ mg/l (2011), $0,17 \pm 0,19$ mg/l (2012)) az elfogadható szinten belül maradtak.

Az átfolyóvízes rendszernél Yoo és mtsai. (1995) azt vizsgálták, hogy a rendszerbe beépített hulladékeltávolító milyen hatékonysággal dolgozik. A kísérletben naponta történt az összegyűlt hulladék eltávolítása. Az ebből vett minták elemzésének az adatai azt mutatták, hogy a takarmánnyal bevitt teljes nitrogén és teljes foszfor mennyiségének csupán 1,8 % és 1,6 %-át sikerült eltávolítani. Ez az eredmény az eltávolítás gyenge hatásfokát mutatta.

2019-ben Kínában több, mint 2000 tavi átfolyóvízes rendszer üzemelt. Ennek ellenére a rendszernek a halak növekedésére, metabolizmusára és az immunrendszer működésére gyakorolt hatásáról még nem számoltak be (Yuan és mtsai., 2019). IPRS rendszerben és hagyományos tavi rendszerben termelt pisztrángsügérrel (*Micropterus salmoides*) végzett kísérletükben Yuan és mtsai. (2019) összehasonlították a növekedési teljesítményt és a filé minőségét. A testtömeg-gyarapodás az IPRS rendszerben nevelt halaknál jobb volt, ennek ellenére a takarmányértékesítés közel azonos a két rendszerben ($0,97 \pm 0,04$; $0,95 \pm 0,07$ kg/kg). A filék esszenciális aminosav tartalma között nem találtak szignifikáns különbséget.

2.5.4. Ketreces nevelési rendszerek

A ketreces akvakultúra termelés egy olyan módszer, amelyre a 1970-es évek elejétől jelentős figyelmet fordítottak (Douglas és Lackey, 1974), azonban az alkalmazása évszázadokra nyúlik vissza (Halwart és mtsai., 2007). Ennél a termelési módszernél a halakat olyan egységekben tartják, amely lehetővé teszi a víz szabad áramlását. A ketrecek az akvakultúra termelés minden szakaszában alkalmazhatóak, legyen szó tenyészállomány tartásáról, ivadéknevelésről vagy elsősorban étkezési hal előállításról (Masser, 2012).

A ketreces nevelési rendszer alkalmazásának egyik nagy előnye, hogy többféle vízi környezetben alkalmazható (tavak, folyók, tározók, tengerek), a létesítési költségek viszonylag alacsonyak a tavak, IPRS vagy recirkulációs rendszerek építési költségeihez képest, különféle fajok termelhetőek együtt. A halak megfigyelése, lehalászása viszonylag egyszerű és a betegségek is hatékonyan kezelhetők (Douglas és Lackey, 1974; Masser, 2012). A rendszer hátránya lehet a nagy telepítési sűrűség, ami magával hordozhatja a betegségek gyors elterjedését, a vízminőséggel kapcsolatos problémákat. A háló gyakori elszennyeződése is gondot jelenthet, mert így csökken a ketrecen átáramló víz, gyakran kell azt takarítani vagy cserélni. A vízminőségi paramétereket nem vagy alig lehet befolyásolni és nyilvános/közösségi vízterület alkalmazása esetén engedélyeztetni kell (Masser, 2012).

A ketreces termelést az alkalmazott állománysűrűség, valamint a táplálékforrás alapján három csoportra lehet osztani: extenzív, fél-intenzív és intenzív (Masser, 2012). Az extenzív ketreces termelés esetén kizárólag természetes táplálékforrást alkalmaznak. Ilyen típusú ketreceket elsősorban erősen eutróf édesvízi tavakban, tározókban használnak. A termelés sikeressége nagyban függ a szezonális hőmérséklettől, valamint a zooplankton összetételtől (Colautti és mtsai., 2010; Garcia de Souza és mtsai., 2015; Garcia de Souza és mtsai., 2017). A fél-intenzív termelésnél az alkalmazott halfajok elsősorban a tilápia és a pontyfélék. A természetes táplálék mellett kiegészítő takarmányozást is végeznek. E termelési mód igen elterjedt a trópusi édesvízi rendszerekben. Ennél a módszernél gyakran alkalmaznak a ketrecekben a perifiton elszaporodását elősegítendő, kiegészítő szubsztrátumot (pl. bambusz). A szubsztrátumok alkalmazásával javul a tömeggyarapodás, rövidül a termelési ciklus, javul a takarmány-értékesítés (Huchette és Beveridge, 2003; Garcia és mtsai., 2016, 2017). Az intenzív ketreces termelésnél megkülönböztetünk édesvízi és tengeri termelést. Ezeknél a rendszereknél általában magas piaci áron értékesíthető halfajokkal dolgoznak,

mint pl. lazacfélék, harcsafélék, tengeri sügér, aranydurbincs, árnyékhal. A háromféle módszer közül, a termelők itt tudják a legnagyobb hozamot elérni köbméterre vetítve (3-600 kg/m³) (Masser, 2012). A nagy telepítési sűrűségnek, illetve a nagy mennyiségben kijuttatott takarmánynak környeztkárosító hatása van.

Az 1980-as években számos tanulmány született arra vonatkozóan, hogy az intenzív ketreces haltermelésnek milyen hatásai vannak a víz, valamint az üledék minőségére. Ezek a tanulmányok rámutattak arra, hogy bár a termelés hatása függ a vállalkozás méretétől és a helyszíntől, a lebegő-anyag és a tápanyagok (PO₄-P, NH₄-N, összes P, szerves N) koncentrációja növekszik, míg az oldott oxigén koncentrációja csökken a ketrecekben és a ketrecek körüli vízterben (Enell, 1982; Penczak és mtsai., 1982;). A ketrecek alatt található üledék oxigén-fogyasztásának, nitrogén-, foszfor- és szerves anyag-tartalmának jelentős növekedését is megfigyelték a kutatók (Tucholski és mtsai., 1980; Phillips és mtsai., 1985). Az 1990-es években készült tanulmányok leírták, hogy a nem megfelelő helyszínekre kihelyezett ketrecek nem csak a vízminőségre, hanem a bentikus zónára is negatív hatással vannak (Axler és mtsai., 1994; Tsutsumi, 1995).

A ketreces termeléssel kapcsolatos fenntarthatósági kérdések sok szempontból hasonlítanak más akvakultúras termelési rendszerek kérdéseihöz, mint pl. a takarmányok összetétele (halliszt, halolaj), környezeti hatások. Mindazonáltal, figyelembe véve az összes kihívást, amellyel a ketreces akvakultúrának szembe kell néznie, sok faj számára kiváló termelési rendszer marad, különösen a genetikai előrehaladás, a takarmányok minőségének javulása, valamint a megfelelő elhelyezési szempontok jobb ismerete óta (Masser, 2012).

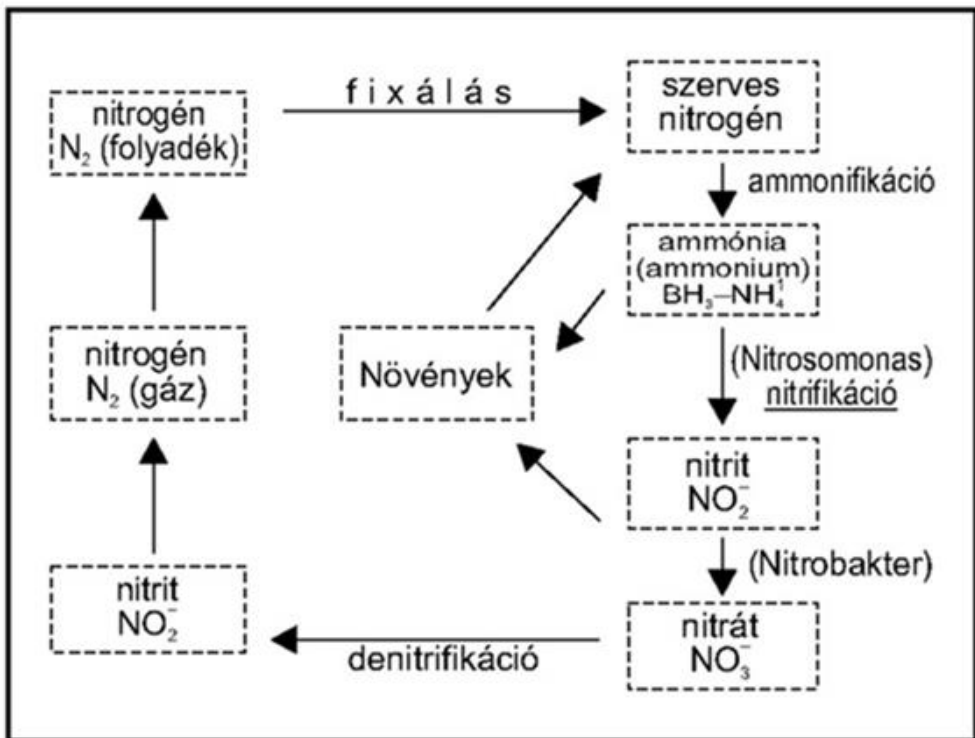
2.6. Tápanyag-forgalom a vízben és az üledékben

2.6.1. A nitrogén forgalom

A felszíni vizekben található nitrogénformák öt csoportba oszthatóak: elemi nitrogén, szerves nitrogén-vegyületek, ammónia (szabad ammónia (NH_3) és ammóniumion (NH_4^+)), nitrit, nitrát. A vizekből a nitrogén-vegyületek eltérő módon távozhatnak: elfolyó vizekkel, denitrifikálódás útján, elemi N_2 gáz formájában, halászat során, üledékbe történő felhalmozódással (Felföldy, 1981). A nitrogén-kötő baktériumok számára a vizekben elegendő elemi N_2 áll rendelkezésre. A baktériumok nagy része (az *Azotobacter* és *Clostridium* fajokon kívül) képes megkötni az elemi nitrogént, mint pl. az *Aerobacter* és a *Pseudomonas* törzsek. Ezek a baktériumok nem csak a nyílt vízben, hanem élőbevonatokban, vízínövények szárain és levelein, illetve a víz-üledék határán is megtalálhatóak, nagy részük heterotrofikus szervezet, ami azt jelenti, hogy szerves energiaforrást igényelnek. Az energiaforrás szempontjából a kéalgáknak fontos szerepük van, hiszen ők nem igényelnek külső szerves táplálékot, hogy megkössék a nitrogént (Felföldy, 1981).

A biológiai nitrogénciklus a 4. ábrán látható. A ciklus első lépése a légköri nitrogénnek a baktériumokon keresztül a vízbe kerülése. Ezt a szerves kötésben lévő nitrogént az aerob és anaerob lebontó baktériumok deaminálják, melynek során ammónia keletkezik. E folyamaton kívül nitrátredukációs folyamatok, valamint fotoszintetizáló egysejtű algák révén kerülhet ammónia környezetbe. Számos tanulmány szerint az ammónia a legtöbb alga számára hozzáférhető szervesetlen nitrogénforrás (Golueke és mtsai., 1967; Zimmo és mtsai., 2003; Kim és mtsai., 2018; Liu és mtsai., 2019). A víz ammónium tartalmának nagyobb részét a nitrifikáló baktériumok (*Nitrosomonas*) távolítják el, amelyek azt több lépésben nitráttá oxidálják. A baktériumok igen érzékenyek. Nagyon kis mennyiségben a vas serkenti, míg a mangán lassítja, gátolja a működésüket. A nitrifikáció oxigénigénye igen jelentős, ami hozzájárul a mélyebb rétegek alacsonyabb oxigénszintjéhez. A reakció végén

keletkező nitrát sorsa kétféle lehet: vagy hasznosítják a zöld növények, vagy nitrátredukáló mikroorganizmusok visszaalakítják.



4. ábra A biológiai nitrogénciklus (forrás: https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Talajvizvedelem/ch01s02.html)

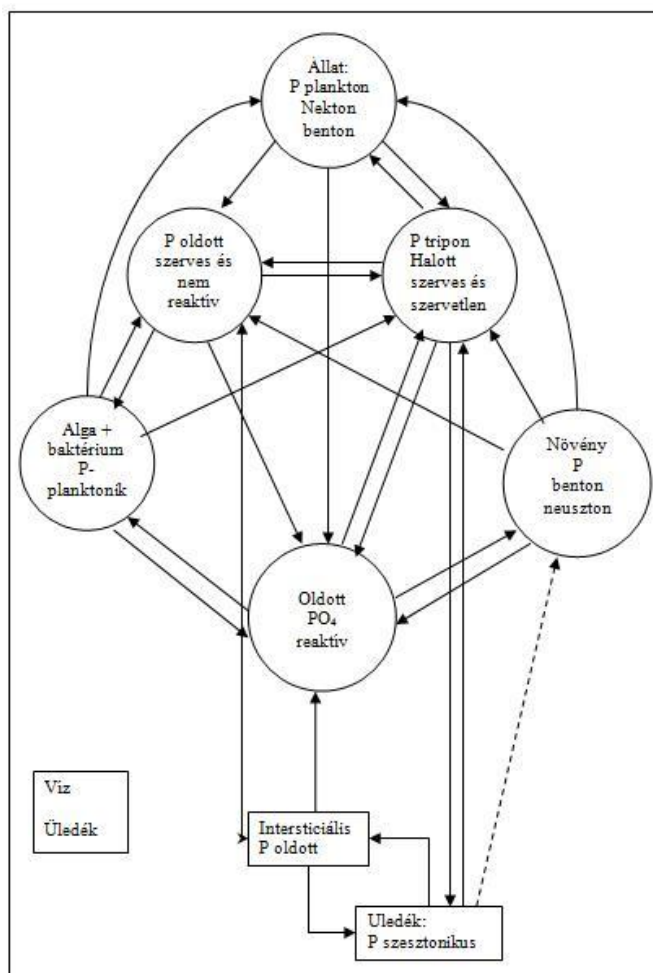
A nitrátredukció anaerob körülmények között lejátszódó folyamat, amely tulajdonképpen a nitrifikációval ellentétes folyamat, és ugyanolyan köztitermékeken keresztül történik. A denitrifikáció szintén anaerob körülmények között megy végbe (*Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*) különböző baktériumok segítségével. Mind a két folyamat az élőlények számára energiát biztosít, azonban a denitrifikáció végeredménye az elemi nitrogén, amely a nitrogénkötő baktériumok révén vagy visszakerül a körfolyamatba, vagy mint veszteség jelentkezik. Ezek a biológiai eredetű változások szerves útton, élő szervezetek beavatkozása nélkül is

lejátszódhatnak, amennyiben a környezet redoxpotenciál értéke nagyobb (Felföldy, 1981).

2.6.2. A foszfor (P) forgalom

A P kémiai természetén kívül a vízben háromféle formában lehet jelen: oldva; kolloidális részecskék formájában; lebegőanyagként. Helyileg a P előfordulhat (1) vízben oldva, (2) fenéküledékben szilárd részecskékhez kötve, (3) élőlények testében. A természetes vizekben a P szerves (fito-, zooplankton, szerves törmelék) és szervetlen (apatit, frankolit, sztrengit) formában lehet jelen (Felföldy, 1981).

A vízi P forgalom vázlata az 5. ábrán látható. A ciklus kiinduló anyaga a vízben oldott ortofoszfátion (reaktív P). Ez elsősorban a tó külső környezetéből származik. A biológiai foszforanyagcsere során az ortofoszfát (1) élőlények kiválasztása, (2) holt szerves anyag bontása és (3) szerves kötésű foszfor PO_4 formában történő kilépésének következtében juthat a vízbe (Felföldy, 1981).



5. ábra A vízi foszfor forgalom (forrás: Felföldy, 1981)

A tavak túlzott N és P terhelése a fő kiváltó oka az eutrofizálódásnak, amely vízminőség romlást okoz. Bár a nagymértékű P bevitel a vízoszlopba javítja az elsődleges termelést, a biodiverzitást csökkenti (Søndergaard és mtsai., 2003). Amennyiben a külső forrásból származó P mennyiségét csökkentjük, az felgyorsítja az üledékből a P felszabadulást (Kim és mtsai., 2003). Ezenkívül a hőmérséklet, a pH, a redox potenciál és az üledékben található Ca, Al és Fe tartalom is hatással van a P visszatartásra, illetve felszabadulásra (Sánchez és mtsai., 2007).

A víznél nagyobb fajsúlyú szerves részecskék a vízben ülepedni kezdenek, azonban a foszfor-tartalmuk nem mindig érkezik meg a fenékre, mert az ülepedés közben felszabadul. Az üledék-víz határvonalán állandó a foszfor kicserélődés a sekély és állandóan felkavarodó tavakban (Sutherland és mtsai., 1966; Qian és mtsai., 2011, Wang és mtsai., 2020), vízfolyásokban (Keup, 1968; Weigelhofer és mtsai., 2018;) és folyótorkolatokban jelentős (Seshappa, 1953).

3. CÉLKITŰZÉSEK

1. Vizsgálni kívántam, hogy a takarmányok különböző fehérjeforrásai, az állati eredetű fehérjék (halliszt és húsliszt) és a növényi eredetű fehérjék (kukorica és búza) hogyan befolyásolják a harcsa termelési paramétereit, valamint a kísérleti víztér és az üledék kémiai összetételét.
2. Célul tűztem ki annak a megállapítását, hogy két eltérő tartástechnológia (monokultúra, intenzív-extenzív tavi rendszer) milyen hatással van a harcsa termelési paramétereire, valamint a tavak vízminőségére és az üledék kémiai összetételére.
3. Céлом volt annak meghatározása, hogy a különböző kezelések, úgymint mechanikai keverés, levegőztetés, biológiai és kémiai kezelések, milyen hatással vannak a víz és az üledék kémiai összetételére.
4. Vizsgálni kívántam a hallisztet helyettesítő szójaliszt és feldolgozott állati fehérje alkalmazásának lehetőségeit a harcsa takarmányozásában, valamint azok hatását a növekedési teljesítményre, továbbá a növekedéshez és a fehérje metabolizmushoz kötődő gének kifejeződését a májban.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

Jelen dolgozatban négy kísérlet kerül ismertetésre, amelyek közül hármat a Nemzeti Agrárkutatói és Innovációs Központ Halászati Kutatóintézet (NAIK HAKI) kísérleti halastórendszerében két év alatt végeztem el. A negyedik kísérletre a NAIK HAKI központi laboratóriumában került sor. Az 1. kísérletben harcsát takarmányoztam különböző állati és növényi eredetű fehérjeforrást tartalmazó takarmányokkal. A 2. kísérletben azonos takarmányozási feltételek mellett két különböző tartástechnológia hatását vizsgáltam. A 3. kísérletben különböző tókezelési eljárások hatását vizsgáltam, amelyek a következők voltak: kontroll, keverés, Na-perkarbonát, baktérium készítmény, Na-perkarbonát + baktérium készítmény (NaB), levegőztetés (L), levegőztetés + Na-perkarbonát (LNa), levegőztetés + baktérium készítmény (LB), levegőztetés + Na-perkarbonát + baktérium készítmény (LNaB). A 4. kísérletben szintén harcsát takarmányoztam a hallisztet eltérő mértékben kiváltó szójalisztet és feldolgozott állati fehérjét tartalmazó takarmányokkal. A kísérletek fontosabb adatait a 3. táblázatban foglaltam össze.

3. táblázat: A vizsgálatok összefoglaló adatai

Kísérlet	Vizsgált faj	Vizsgálat időtartama	Kezelés típusa	Vizsgálat célja	Kezelések száma	Ismétlések száma	Vizsgált paraméter
1	harcsa	2013. 06.21-09.25 (97 nap)	6 különböző fehérjeforrású táp (halliszt, húsliszt, kukorica, búza, búza+xilanáz, búza+béta-glükánáz)	Az állati és növényi fehérjék hogyan befolyásolják a harcsa termelési paramétereit, a víz és az üledék kémiai összetételét.	6	3	termelési paraméterek, víz és üledék kémiai paraméterei
2	harcsa, ponty	2014. 05.06-10.06. (154 nap)	monokultúra, intenzív-extenzív termelés	Eltérő tartástechnológiák milyen hatással vannak a harcsa termelési paramétereire, a víz és az üledék kémiai paramétereire.	2	4	termelési paraméterek, víz és üledék kémiai paraméterei
3	-	2013. 05.15.-07.10 (57 nap)	különböző tókezelési eljárások (kontroll, keverés, Na-perkarbonát, baktérium, Na-perkarbonát + baktérium, levegőztetés, levegőztetés + Na-perkarbonát, levegőztetés + baktérium, levegőztetés + Na-perkarbonát + baktérium)	A különböző tókezelési eljárások milyen hatással vannak a víz és az üledék kémiai összetételére.	9	3	víz és üledék kémiai paraméterei
4	harcsa	2014. 05.06-07.24 (80 nap)	30, 60, 100 %-ban halliszt helyettesítés szójaliszttal és feldolgozott állati fehérjével + kontroll	A feldolgozott állati fehérje és a szójaliszt alkalmazásának a hatása a növekedésre, a növekedéshez és a fehérje metabolizmushoz kötődő gének kifejeződésére a májban.	7	3	termelési paraméterek, egyes gének kifejeződése

4.1. A kísérleti állományok származása és elhelyezése

A vizsgálatokban egy-, illetve kétnyaras harcsát használtam. Az 1. kísérlethez a harcsákat az Attala Hal Kft. attalai telepéről szállítottuk Szarvasra. A 2. és 4. kísérletben használt kétnyaras harcsa állomány az előző évben Szarvasra szállított állományból származott. A 2. kísérletben használt kétnyaras pontyok a NAIK HAKI-tól származtak.

A halak fogadásakor arra törekedtem, hogy a szállító- és fogadóvíz hőmérséklete azonos legyen. A beérkezett halakat a NAIK HAKI recirkulációs halnevelő üzemének sátorral fedett részegységében, fóliakádákban helyeztem el karanténozási célból. A kísérlet kezdetéig a harcsákat kereskedelmi forgalomban kapható, a Haltáp Kft. által gyártott harcsatáppal takarmányoztam. A kísérlet megkezdése előtt a halakat két hétig szoktattam az új környezethez.

4.2. Tartási körülmények és környezeti tényezők

4.2.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A kísérletet 2013. június 21-től szeptember 25-ig, egy 700 m²-es alapterületű tóban végeztem. A kísérlet kezdete előtt a tó szárazon állt és mészhidráttal kezeltem (357 kg/ha). A tóba 18 db limnokorall került elhelyezésre. Mindegyik limnokorall 2 m átmérőjű és 5 m³ térfogatú volt. A limnokorallok alja és teteje nyitott volt, az aljukat a halak méretének megfelelő, 5 mm-es szemméretű hálóval fedtem be, megakadályozandó a halak szökését. A limnokorallokban a megfelelő oxigénszint biztosítása központi kompresszor segítségével folyamatosan és egyedileg történt. A kísérlet helyszínéül szolgáló tavon folyamatos vízátfolyást biztosítottunk. A

víz a Körös folyóból származott. A kísérleti vizek oxigénszintjét, pH értékét hétköznapi reggel 8 órakor, napi rendszerességgel mértem.

4.2.2. Két eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A kísérletet 2014. május 6-tól október 6-ig, 4 db 320 m²-es és 4 db 700 m²-es tóban végeztem. A kísérleti állományok kihelyezése monokultúrában (M), illetve intenzív-extenzív (I-E) elrendezésben történt. Az I-E kezelés esetében a harcsákat 2 db 3x3x2m-es, valamint 2 db 3x6x2m-es ketrecekben helyeztem el. A ketreceken kívüli vízterbe kétnyaras pontyokat helyeztem ki. A tavak levegőztetése egyedileg, lapátkerekes levegőztetővel történt. A halak etetését központilag vezérelt, Linn típusú automata önetetők végezték. A tavakon a szivárgó és párolgó víz pótlását biztosítottam. A víz a Körös folyóból származott. A tavak oxigénszintjét, pH értékét hétköznapi reggel 8 órakor, napi rendszerességgel mértem.

4.2.3. Különböző tókezelési eljárások hatása az üledék- és vízminőségre

A vizsgálatot 2013. május 15-től július 10-ig a központi laboratóriumi épületben végeztem. A kísérlethez 27 db 5 literes üveget használtam. A levegőztetés központi kompresszor segítségével, egyedileg történt. A mintavételeket követően a víz pótlása desztillált vízzel történt. Az üvegekben a víz oxigénszintjét, pH értékét, vezetőképességét hetente három alkalommal mértem.

4.2.4. Halliszt helyettesítése szójaliszttal és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában

A kísérletet 2014. május 6-tól július 24-ig, egy 1700 m²-es alapterületű tóban végeztem. A tóba 21 db 3x3x3m-es ketrec került elhelyezésre. A víztér oxigénellátását lapátkerekkes levegőztetővel biztosítottam. A kísérleti állomány takarmányozása naponta, manuálisan, délelőtt 9 órakor és délután 15 órakor történt. A kísérlet helyszínéül szolgáló tavon folyamatos vízátfolyást biztosítottam. A víz a Körös folyóból származott. A tó oxigénszintjét és pH értékét hétköznaponként reggel 8 órakor mértem.

4.3. Kísérleti beállítások

4.3.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A kísérletben a 18 db limnokorallba 144 db egynyaras harcsa került kihelyezésre, mindegyik egységbe 8-8 db. A kísérlet kezdetekor a halak átlagos testtömege $72,7 \pm 1,3$ g volt. A kísérlet kezdetekor és befejezésekor minden halat egyedileg mértem meg. A kísérlet 5. és 9. hetében próbahalászattal a kihelyezett állomány legalább 50 %-át mértem meg.

A vizsgálat során hatféle 34,5-35,6 % fehérje-tartalmú, de különböző fehérjeforrású takarmányt etettem háromszoros ismétlésben. A kísérleti tápokot véletlenszerűen kiválasztott limnokorallokban etettem. A pelletált takarmányt, melynek szemcsemérete 5 mm volt, szalagos önetetővel (üzemideje 12 óra) kínáltam fel. Az önetetőket minden nap, reggel 8 órakor töltöttem fel. A vizsgálat során alkalmazott takarmányok összetételét a Mellékletek 1. táblázatában mutatom be.

A kísérlet 1., 14., 28., 42., 56., 70., 84. és 95. napján minden limnokorallból vízmintát vettem. A vízmintavétel során egy 2 méter hosszú, 5 cm átmérőjű és 10 cm-es osztásokkal rendelkező PVC csövet használtam. Ennek segítségével a limnokorallok teljes vízoszlopából történt mintavétel. A kísérlet 1. és 95. napján a tó felárasztását követően, valamint a lecsapolást megelőzően minden limnokorallból üledékmintát vettem. A mintavétel során egy 50 cm hosszú, 5 cm átmérőjű plexicsövet használtam. A mintavétel az üledék felső 10 cm-ből történt.

4.3.2. Két eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív- extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A vizsgálat során a monokultúrák kezelés esetében 100,2 kg és 100,25 kg, míg a polikultúrák kezelésénél 100,1 kg és 100,35 kg harcsát helyeztem a tavakba, illetve a ketrecekbe a 350 m²-es tavaknál, valamint 25 kg kétnyaras pontyot a ketrecen kívülre. A 700 m²-es tavaknál 200,9 kg és 199,6 kg, valamint 200,2 kg és 200,2 kg harcsát telepítettem a tavakba és a ketrecekbe, illetve 50 kg kétnyaras pontyot a ketrecen kívülre. A kísérlet kezdetekor a kihelyezett harcsa állomány átlagos testtömege 485,68±3,43 g volt (n=2480). A nagy egyedszámra való tekintettel a halakat csoportosan, 20 db/vödör mértem, 5 g pontosságú mérleggel. A pontyok átlagos testtömege 348,9±2,47 g volt (n=432). A kísérlet kezdetétől a kísérleti állomány legalább 20%-át minden második héten próbahalászattal mértem meg.

A vizsgálat során a kihelyezett állomány a kísérlet teljes ideje alatt kereskedelmi forgalomban kapható, 6 mm-es szemnagyságú Aller Bronze haltápot (Aller Aqua A/S) kapott. A felhasznált tápot központilag vezérelt, automata önetetők adagolták a halaknak, napi többszöri alkalommal. A tápok szemcsemérete 6 mm volt. Az önetetőket minden nap, reggel 9 órakor

töltöttem fel. A vizsgálat során alkalmazott takarmány kémiai összetételét és energiartalmát a Mellékletek 2. táblázatában mutatom be.

A kísérlet 1., 14., 28., 42., 56., 70., 84., 98., 112., 126., 140. és 153. napján minden tó kifolyó műtárgyánál vízmintát vettem. A vízmintavétel során egy 2 méter hosszú, 5 cm átmérőjű és 10 cm-es osztásokkal rendelkező PVC csövet használtam. Ennek segítségével a tavak teljes vízoszlopából történt mintavétel. A kísérlet 1. és 153. napján a tó felárasztását követően, valamint a lecsapolást megelőzően minden tóból, tavanként 9 db üledékmintát vettem. Ezt követően a 9 db mintát homogenizáltam. A mintavétel során egy 50 cm hosszú, 5 cm átmérőjű plexicsövet használtam. A mintavétel az üledék felső 10 cm-ből történt.

4.3.3. Különböző tókezelési eljárások hatása az üledék- és vízminőségre

A vizsgálat során üledéket gyűjtöttem a NAIK HAKI elfolyó vizét befogadó Bikazugi Holt-Körös nyugati ágából és 27 db 5 literes üvegbe, 600-600 g mintát raktam. Az üvegeket 3,3 liter tóvízzel töltöttem fel. Mintavétel történt a kihelyezett üledékből a kísérlet kezdetekor (1. nap, 150 g) és befejezésekor (57. nap, 150 g), valamint az üledék feletti víztérből (100 ml), minden héten (összesen 9 alkalommal). A kivett vizet 100 ml desztillált vízzel pótoltam. Az üvegekben a víz oxigénszintjének, pH-jának és vezetőképességének mérését hetente három alkalommal végeztem. A kísérlet során a következő kezeléseket alkalmaztam: kontroll, keverés, Na-perkarbonát, baktérium készítmény, Na-perkarbonát + baktérium készítmény (NaB), levegőztetés (L), levegőztetés + Na-perkarbonát (LNa), levegőztetés + baktérium készítmény (LB), levegőztetés + Na-perkarbonát + baktérium készítmény (LNaB).

4.3.4. Halliszt helyettesítése szójaliszttal és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában

A kísérletben egy 1700 m²-es tóba, kezeléenként 3 db 3x3x3 m-es ketrecebe 75 db kétnyaras harcsa került kihelyezésre. A kísérlet kezdetekor a halak átlagos testtömege 350,94±5,24 g volt. A kísérlet indulásakor, majd ezt követően minden második héten és a befejezésekor minden halat egyedileg mértem meg.

A vizsgálat során hétféle kísérleti tápot etettem a halakkal. A tápok átlagos nyersfehérje-tartalma 435 g/kg volt. A kontroll táp 49 % hallisztet tartalmazott, mint fehérjeforrást. A kísérleti tápokot véletlenszerűen kiválasztott ketrecekben etettem. A pelletált, 4 mm-es szemcseméretű takarmány kijuttatása naponta két alkalommal, reggel 9 és 15 órakor, kézzel történt. A vizsgálat során alkalmazott takarmányok kémiai összetételét, energiatartalmát és összetevőit a Mellékletek 3. táblázatában mutatom be.

A kísérlet 1., 3., 5., 7. és 9. hetén a tó kifolyó műtárgyánál vízmintát vettem. A vízmintavétel során egy 2 méter hosszú, 5 cm átmérőjű és 10 cm-es osztásokkal rendelkező PVC csövet használtam. Ennek segítségével a tavak teljes vízoszlopából történt mintavétel.

4.4. Kísérleti takarmányok

4.4.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A vizsgálat során használt pelletált takarmányokat a szarvasi Haltáp Kft. készítette el számomra, előre egyeztetett receptúra szerint. A receptúra úgy lett összeállítva, hogy a beltartalmi paraméterek a harcsához közeli rokon faj, a csatornaharcsa igényét kielégítsék vagy meghaladják (Robinson és Li,

1999; Robinson et al. 2001). Az alkalmazott takarmányok összetételét a Mellékletek 1. táblázatában foglaltam össze. A tápok nitrogén-tartalma azonos volt, azonban a fehérje-forrás különbözött (állati- és növényi, kizárólag növényi). A kísérleti tápok megnevezése a következő volt: halliszt (HA), húsliszt (HU), kukorica (K), búza (B), búza-A (BA), búza-B (BB). A búzát, mint fehérje-forrást tartalmazó kísérleti takarmányhoz xilanáz enzimet (BA) (Belfeed B 1100 MP, Beldem S.A., Belgium) és béta-glükánázt (BB) (Axtra XB, Danisco Animal Nutrition, Marlborough, UK) adtuk hozzá 100 mg/kg mennyiségben, ezzel plusz két kezelést létrehozva.

4.4.2. Két eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A kísérleti állományt a kereskedelmi forgalomban kapható 6 mm szemnagyságú Aller Bronze táppal etettem. A takarmány összetétele a Mellékletek 2. táblázatában található.

4.4.3. Halliszt helyettesítése szójaliszttel és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában

A kísérletben használt takarmányokat a szarvasi Haltáp Kft. gyártotta le. A vizsgálat során hétféle táp hatását vizsgáltam, melyek nitrogén- és energiatartalma azonos volt. A kontroll táp (FM) fehérjeforrásként 49 % hallisztet tartalmazott. A további hat táp úgy került kialakításra, hogy 30 %, 60 % és 100 %-ban helyettesítse a hallisztet elsősorban szójaliszttel (SM) és feldolgozott állati fehérjével (PAP). A kísérleti tápok megnevezése a következő volt: FM, SM₃₀, SM₆₀, SM₁₀₀, PAP₃₀, PAP₆₀, PAP₁₀₀. Az

alkalmazott takarmányok összetételét a Mellékletek 3. táblázatában foglaltam össze.

4.5. Mérés, adatfelvétel és kiértékelés

4.5.1. Mérések, származtatott mutatók kiszámítása

Az 1. és a 4. kísérlet elején és végén egyedileg mértem a halak testtömegét digitális mérleg segítségével, 1 g pontossággal. A 2. kísérlet kezdetekor és befejezésekor a halak testtömegét 20 db/vödör mértem digitális mérleg segítségével, 5,0 g pontossággal. Az 1. kísérletnél az 5. és a 9. héten a kihelyezett állomány legalább 50 %-át mértem meg. A 2. kísérletnél a kezdést követő minden második héten a kihelyezett állomány legalább 20 %-át csoportosan mértem meg. A 4. kísérletnél a 3., 5. és 7. héten a ketrecekben lévő halakat 5 db/vödör megmértem. A halak tömeggyarapodása (g) mellett a növekedési sebességet (SGR), a relatív növekedést (%), a metabolikus növekedési sebességet (MGR) és a fehérje hasznosulási arányt (PER), valamint a fehérje termelési értéket (PPV) is kiszámoltam az alábbi egyenletek alkalmazásával:

$SGR = (\ln W_t - \ln W_i) / t \times 100$ (%/nap), ahol W_t a befejező, W_i az induló testtömeget (g), t az eltelt időt (nap) jelöli.

Relatív növekedés, % = $[(W_t - W_i) / W_i] \times 100$ (%), ahol W_t a befejező, W_i az induló testtömeget (g) jelöli.

$MGR, g = (\text{testtömeg növekedés g-ban}) / \{[(W_i / 1000)^{0.8} + (W_t / 1000)^{0.8}] / 2\}$ / kísérleti napok száma, ahol W_i a befejező, W_t az induló testtömeget (g) jelöli.

PER = tömeggyarapodás/fehérje felvétel (g/g)

PPV = [(FBPt/FBPi)/összes felhasznált fehérje g-ban] x 100 (%), ahol
FBPt a test fehérje-tartalma (g) a kísérlet végén, FBPi a test fehérje-tartalma
(g) a kísérlet kezdetén.

A takarmányértékesítést (FCR) az 1., 2. és 4. kísérletben az elfogyasztott
összes takarmány (g) és a tömeggyarapodás (g) hányadosaként számoltam:

FCR, g/g = F/(Wt-Wi), ahol F az elfogyasztott takarmány mennyisége (g),
Wt a befejező, míg Wi az induló átlagtömeg (g).

Az 1. és a 2. kísérlet vízmintáiban a pH, a hőmérséklet és az
ammóniumion-tartalom ismeretében kiszámoltam a vízminták szabad
ammónia tartalmát.

4.5.2. Mintavétel, kémiai analízis

A 4. kísérlet kezdetekor a teljes állományból 9 db halat, míg a kísérlet
befejezésekor minden ketrecből 3 db halat vettem ki véletlenszerűen mintának
a teljes test analízishez. Ezen kívül a vizsgálat végén minden ketrecből további
4 halat választottam ki véletlenszerűen a máj vizsgálatához. A boncolást
követően a mintákat minden hal esetében a májnak ugyanazon részéről vettem.
Ketrecentként 2 db, azaz kezelésenként 6 db mintát lefagyasztottam folyékony
nitrogénben, és -80 °C-on tároltuk az alanin aminoszferáz (ALT) és
aszpartát aminoszferáz (AST) analízisig. A további két májmintát szintén
-80 °C-on tároltam, a génexpresszióhoz szükséges RNA kivonásig.

Az 1. és a 4. kísérletben az etetett haltápok, valamint a 4. kísérletben a halak kémiai összetétele a NAIK HAKI Haltakarmányozástani laboratóriumában az AOAC (1995) módszerei szerint került meghatározásra. A minták szárazanyag-tartalma gravimetrikus úton, 4 órás, 105 °C-on történő szárítás után került meghatározásra. Az összes nitrogén meghatározása Kjeldhal-módszer szerint történt emésztési blokk (Kjeldatherm, Gerhardt, Németország) és desztillációs módszer (Vapodest 30, Gerhardt, Németország) alkalmazásával, a nyersfehérje tartalom ($N \times 6,25$) ezt követően került kiszámolásra. A zsírtartalom meghatározása Soxhlet-módszerrel félautomata rendszerrel (Soxtherm 2000, Gerhardt, Németország) és dietil-éter oldószer alkalmazásával történt. A hamutartalom meghatározására 4 órás, 550 °C-on történő égetés után került sor. A nyersrost-tartalom zsírtalanított takarmánymintából kénsavval (0,51 mol/l) és kálium-hidroxiddal (0,89 mol/l) végzett emésztés után került meghatározásra Gerhardt nyersrost készülékben (Gerhardt, Németország). A nitrogénmentes kivonható anyag számítással került meghatározásra. A takarmányok bruttó energiatartalmát a Halver (1976) által leírtak alapján számolták ki. A tápok aminosav-tartalma (MSZ EN ISO 13903:2005) a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal akkreditált laboratóriumában került meghatározásra.

A kísérleti víztérből, PVC cső segítségével vett vízminták kémiai analízisére a Nemzeti Agrárkutatói és Innovációs Központ Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóintézet Környezetanalitikai Központ Vizsgáló Laboratóriumában (NAIK ÖVKI KAK) került sor. A vizsgált paramétereket, a vizsgálat típusát és az alkalmazott módszereket a 4. táblázatban foglaltam össze.

4. táblázat A vízminták vizsgálatánál alkalmazott módszerek és vizsgált paraméterek

Vizsgált paraméter	Vizsgálat típusa	Vizsgálati módszer
Ammónium-nitrogén	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 11732:2005
Nitrát-nitrogén	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 13395:1999
Nitrit-nitrogén	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 13395:1999
Összes szervesetlen nitrogén	számítás	MSZ 12750-20:1972 (visszavont szabvány)
Összes szerves nitrogén	számítás	MSZ 12750-20:1972 (visszavont szabvány)
Összes nitrogén	spektrofotometria	MSZ EN ISO 11905-1:2000
Ortofoszfát-foszfor	FIA spektrofotometria	MSZ EN ISO 15681-1:2005
Összes foszfor	spektrofotometria	MSZ EN 1189:1998 (visszavont szabvány)
Összes lebegő anyag	tömegmérés	MSZ 260-3:1973
Klorofill-a	extrakció és spektrofotometria	MSZ ISO 10260:1993

Az üledékből, plexicső segítségével vett minták kémiai analizésére a NAIK ÖVKI KAK laboratóriumában került sor. A vizsgált paramétereket, a vizsgálat típusát és az alkalmazott módszereket az 5. táblázatban foglaltam össze.

5. táblázat Az üledékminták vizsgálatánál alkalmazott módszerek és vizsgált paraméterek

Vizsgált paraméter	Vizsgálat típusa	Vizsgálati módszer
Száranyag	tömegmérés	MSZ-08-0205:1978
Kjeldahl-nitrogén	acidimetria	MSZ EN ISO 5983-2:2005
Foszfor	ICP-OES	HAKI KAK MU-62

4.5.3. Génexpresszió

4.5.3.1. RNS kivonása és meghatározása

A májmintákból az összes RNS izolációját PROMEGA RNA készlettel (Cat No. Z3100, USA) végeztük a gyártó utasításainak megfelelően. Az RNA mennyiség meghatározása Nano-Drop spektrofotométerrel (NANODROP 2000, Thermo Scientific, Wilmington, DE, USA) történt. Az RNS minőségét denaturáló gélelektroforézissel (1 % agarózgél), a tisztaságot az OD260/OD280 abszorpciós arány mérésével ellenőriztük (>1,95).

4.5.3.2. cDNS szintézise

Az RNS izolálása és épségének (gélelektroforézissel történő) kimutatása után egy komplementer DNS (cDNS) szálat szintetizáltunk, 1 µg teljes RNS-ből Omni-script reverse transcriptase (Qiagen, Németország) szintéziskészlettel, a gyártói utasításainak megfelelően. Az első DNS szintézis termékét -80 °C-on tároltuk, a kvantitatív RT-PCR futtatásáig.

4.5.3.3. Valós idejű kvantitatív RT-PCR

A célgének számszerűsítéséhez nagy tisztaságú „OliGold” primereket (Eurogentec, Seraing, Belgium) és LightCycler szoftvert v1.0 (Roche Diagnostics, Vilvoorde, Belgium) használtunk. A kvantitatív polimeráz láncreakció (qPCR) elemzéseket Mx3000P QPCR rendszeren (Agilent Technologies, Belgium) végeztük. A célgének és a referenciagének olvadási görbéjének az elemzése egyedi termékeket eredményezett specifikus olvadási hőmérséklettel. Ezen kívül minden génkészletnél elvégeztük a „no-template”

kontrollokat, annak biztosítása érdekében, hogy a reagensek szennyeződjenek, primer – dimer képződés ne alakuljon ki stb. A *Silurus* fajoknál a β -aktint találták a legmegfelelőbb referenciagénnek (Wu és mtsai., 2009). A β -aktin variációs koefficiens számított értéke 4,40 volt, ami stabil expressziós szintet sugall. Ezért endogén sztenderdként alkalmaztuk. A relatív mRNS expressziós szinteket standard görbék módszerével számoltuk. A gének expressziós szintjét a β -aktin szintjére normalizáltuk ugyanabban a mintában. A standard görbékét a kontroll minták véletlenszerű keverékének sorozatos hígításával állítottuk elő.

4.5.4. Fehérje metabolizmus enzimek aktivitásának meghatározása

Az alanin amino-transzferáz (ALT) és aszpartát amino-transzferáz (AST) aktivitás meghatározására SIGMA-ALDRICH® alanin aminotranszferáz aktivitási vizsgálati készletet (katalógusszám: MAK052, Sigma Aldrich, USA) és aszpartát aminotranszferáz aktivitási vizsgálati készletet (katalógusszám: MAK055, Sigma Aldrich, USA) használtuk. Az ALT aktivitás mérésének alapelve egy aminocsoportnak az alaninról az α -ketoglutarátra történő átvitele, ami a piruvátok képződését eredményezi, és a jelen lévő ALT enzimaktivitással arányos kolorimetrikus (570 nm) termék képződik. Az ALT egysége az az enzimmennyiség, amely percenként 1 μ mol piruvátot termel 37 °C-on. Hasonlóképpen, az AST aktivitás mérése az aminocsoportnak az aszpartátból az α -ketoglutarátra történő átadásával függ össze, ami glutamát képződését eredményezi, és a jelenlévő AST enzimaktivitással arányos kolorimetrikus (450 nm) termék előállítását eredményezi. Az ALT egysége az az enzimmennyiség, amely percenként 1 μ mol glutamátot termel 37 °C-on, pH=8,0 mellett.

4.5.5. Statisztikai módszerek

A statisztikai értékelést az IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. (2013) programcsomag segítségével végeztem el. A vizsgált változók normális eloszlásának vizsgálatához a Kolmogorov-Szmirnov tesztet, míg a varianciák homogenitásának vizsgálatához a Levene tesztet használtam.

Az 1. kísérletben a kezelések hatását a hagyományos termelési mutatók alakulására, valamint a víz és az üledék kémiai összetételére egytényezős varianciaanalízissel értékeltem, amely után a Tukey post hoc tesztet futattam le.

A 2. kísérletben a kezelések hatását a termelési paraméterek alakulására, illetve a víz és az üledék kémiai összetételére kétmintás t-próbával értékeltem.

A 3. kísérletben a változók nem voltak normális eloszlásúak, ezért a kezeléshatás vizsgálatát nem paraméteres Kruskal-Wallis tesztel végeztem.

A 4. kísérletben a kezelések hatását a hagyományos termelési mutatók alakulására, a teljes test összetételére, valamint a növekedéssel kapcsolatos gének kifejeződésére egytényezős varianciaanalízissel értékeltem. A kezeléscsoportok közötti különbségek értékelésére a Duncan's multiple range tesztet alkalmaztam.

Az egytényezős varianciaanalízisek során Tukey post hoc és Duncan's multiple range tesztet futattam le, $P=0,05$ -ös szignifikanciaszinten. Mivel az 1., 2. és 4. kísérletnél egyedi jelölést nem alkalmaztam, ezért limnokorall-, ketrec-, illetve tóátlagokat értékeltem a termelési paraméterek, valamint víz és üledék kémiai összetétel esetében.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

5.1.1. A termelési paraméterekre vonatkozó eredmények

A harcsa növekedési paraméterei a 6. táblázatban láthatóak. A kísérleti állomány kihelyezésekor a kísérleti csoportok átlagos tömege $72,7 \pm 1,3$ g (átlag \pm szórás, $n=6$ /csoport) volt. A 95. napon, a kísérlet befejezésekor a csoportok átlagos testtömege $325,9 \pm 14,2$ g volt. A kísérlet végén a HA és a HU kezelésekhez tartozó halak átlagos testtömegei szignifikánsan nagyobbak ($p < 0,05$) voltak a B, BA és a BB kezelésekhez képest. Azonban a K kezelés egyik csoporttól sem különbözött szignifikánsan. A relatív testtömeg növekedés az egész vizsgálat során a HA és a HU kezeléseknél volt a legnagyobb. A legkisebb relatív növekedést a két enzimmel kezelt tápot fogyasztó halak csoportjainál (BA, BB) kaptam. A B és a K kezelések szignifikánsan ($p < 0,05$) különböztek a HA kezeléstől, viszont a HU kezeléstől nem. Az SGR értékek $1,43 \pm 0,06$ %/nap (BB) és $1,73 \pm 0,04$ %/nap (HA) között változtak. A növekedést vizsgálva megállapítható, hogy a BA és BB csoportok szignifikánsan alacsonyabb ($p < 0,05$) értékeket mutattak, mint a HA és a HU csoportok. Az állati fehérjét tartalmazó kezelések (HA és HU) nem különböztek szignifikánsan egymástól. A takarmányértékesítő-képesség (FCR) értéke a HA kezelésnél volt a legalacsonyabb ($1,13 \pm 0,06$ g/g), míg a legmagasabb értéket a BB ($1,61 \pm 0,11$ g/g) kezelésnél kaptam. A HU és K kezelések szignifikánsan nem különböztek a HA kezeléstől. A fehérjehasznosítás értéke, ahogy az előző paramétereknél is látható volt a HA kezelés esetében volt a legnagyobb ($2,57 \pm 0,08$ g/g), míg a legalacsonyabb értéket ($1,79 \pm 0,13$ g/g) a BB kezelésnél kaptam. A fehérjehasznosítás

vonatkozásában, szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) találtam a HA és az összes olyan kezelés között, mely nem tartalmazott állati fehérjét. A HU csoport nem különbözött szignifikánsan sem a HA, sem pedig a növényi fehérjét tartalmazó kezelésektől.

6. táblázat A harcsa növekedési paramétere (átlag±szórás)

Kezelések	Induló testtömeg (g)	Befejező testtömeg (g)	Relatív növekedés (%)	SGR ⁷ (%/nap)	FCR ⁸ (g/g)	PER ⁹ (g/g)
HA ¹	73,6±0,5	381,5±1,5 ^a	418,3±20,9 ^a	1,73±0,04 ^a	1,13±0,06 ^a	2,57±0,08 ^a
HU ²	71,6±1,1	353,1±1,1 ^a	391,7±34,8 ^{ab}	1,67±0,07 ^a	1,29±0,02 ^{ab}	2,17±0,02 ^{ab}
K ³	73,2±1,0	332,2±1,3 ^{ab}	348,9±22,5 ^{abc}	1,58±0,05 ^{ab}	1,45±0,06 ^{ab}	1,99±0,06 ^b
B ⁴	72,1±1,4	305,8±1,1 ^b	330,1±18,9 ^{bc}	1,53±0,04 ^{ab}	1,53±0,11 ^b	1,85±0,07 ^b
BA ⁵	73,6±1,5	297,5±1,0 ^b	303,1±25,6 ^c	1,47±0,06 ^b	1,55±0,12 ^b	1,84±0,10 ^b
BB ⁶	71,4±1,4	285,4±0,9 ^b	290,6±25,8 ^c	1,43±0,06 ^b	1,61±0,11 ^b	1,79±0,13 ^b

¹ halliszt; ² húsliszt; ³ kukorica; ⁴ búza; ⁵ búza+xilanáz; ⁶ búza+béta-glukanáz; ⁷ napi növekedési arány; ⁸ takarmányértékesítés; ⁹ fehérje hasznosulási arány

Mohsen és Lovell (1990) csatornaharcásával végzett vizsgálatukban szignifikáns különbséget tapasztaltak a növekedési paraméterekben, ha az alkalmazott takarmányokban a szója- (SM) és kukoricaliszt aránya meghaladta a 75 %-ot. Ezzel szemben Webster és mtsai. (1992b) szintén csatornaharcásával végzett vizsgálatukban nem találtak szignifikáns különbséget a növekedési paraméterekben 75 %-ot meghaladó SM és szárított gabonatörköly arány esetében. Cho és Lovell (2002) megállapították, hogy a kísérleti takarmányok azonos emészthető energiatartalma mellett a testtömeg növekedés és a PER szignifikánsan alacsonyabb volt az SM 60 %-os arányánál csatornaharcásával végzett vizsgálatukban. Li és Lovell (1992) hasonló eredményeket figyeltek meg már 30 % feletti SM arány esetén. Afrikai harcásával végzett vizsgálatoknál azt tapasztalták, hogy a takarmány 50 %-os SM részaránya esetén a termelési paraméterek csökkennek (Davies és Gouveia, 2008). Hasonló megállapításra jutottak van Weerd és mtsai. (1999), ugyanakkor a kísérletükben 70 %-os SM arányánál, legalább 350 NE/kg fitáz kiegészítést

alkalmazva a negatív hatások csökkentek. Kék harcsával végzett vizsgálatukban Webster és mtsai. (1992a) azt tapasztalták, hogy a hagyományos csatornaharcsa tápban a SM arányának a 7 %-os növelése már rontotta a termelési mutatókat. Ázsiai cápaharcsával (*Pangasianodon hypophthalmus*) etetett takarmányban a SM arányának a növekedésével a termelési mutatók rosszabbodtak (Phumee és mtsai., 2011). Hasonló eredményeket kaptak az ázsiai vörösfarkú harcsával (*Hemibagrus wyckioides*) végzett kísérletükben Zhang és mtsai. (2019). A SM arányának növelésével a termelési mutatók csökkentek. Ennek a csökkenésnek a hátterében a FM és a SM eltérő aminosav összetétele áll. A nem megfelelő aminosav tartalmú tápok etetésével a halak nem képesek a genetikájuknak megfelelő növekedést elérni.

Korábbi tanulmányok kimutatták, hogy a FM feldolgozott állati fehérjével történő helyettesítésének a nagysága nagyban függ attól, hogy milyen halfajnál alkalmazzák. Néhány szerző mérsékelte, 20-45 %-os FM helyettesítési szintet javasol pl. koreai lepényhal (*Paralichthys olivaseus*), szivárványos pisztráng, nagy sárga árnyékhal (*Pseudosciaena crocea*) vagy az aranydurbincs (Ai és mtsai., 2006; Bureau és mtsai., 2000; Lee és mtsai., 2012; Moutinho és mtsai., 2017; Robaina és mtsai., 1997) esetében. Egyes halfajoknál ennél nagyobb arányban (75-100 %) is helyettesíthető a FM, mint pl. az afrikai harcsa (Goda és mtsai., 2007) a nilusi tilápia (El-Sayed, 1998) vagy a sárga pettyes fűrészkes sügér (*Epinephelus coioides*) (Millamena, 2002).

5.1.2. A víz fizikai és kémiai paramétereire vonatkozó eredmények

A vizsgálat során a kísérleti vízterek oldott oxigénszintje (DO) $6,67 \pm 0,34$ mg/l volt. A kezelések átlagos DO szintje 6,2 mg/l és 7 mg/l között változott. A DO szint a kezelések között hasonlóan változott az egész kísérlet során. A pH viszonylag állandó értékeket mutatott a vizsgálat ideje alatt ($7,86 \pm 0,05$). A mért értékek 6,5 és 8,8 között változtak. A limnokorallokban a

víz hőmérséklete $23,23 \pm 3,27$ °C volt. A vizsgálat során a legmagasabb értéket (28,2 °C) augusztusban mértem. Ezt követően a hőmérséklet folyamatosan csökkent a kísérlet befejezéséig.

A vízminták mérési eredményeit a 7. táblázat tartalmazza. A vízminták maximum értékei a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 2. számú melléklete által meghatározott határértékeket nem lépték át. A kezelések adatai között a statisztikai vizsgálatokat követően szignifikáns különbségeket nem találtam. A vizsgálat ideje alatt az ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) szintjének a változását figyeltem meg, amely összefüggésben volt a kijuttatott takarmány mennyiségének a változásával. A kiinduló értékekhez képest az utolsó mintavételnél kapott eredmények az összes kezelésnél magasabbak voltak. A kezelések szabad ammónia tartalma 0,001-0,171 mg/l értékek között változott, amely a szakirodalmi adatok alapján toxikusnak tekintett tartományon kívül voltak. A nitrát-nitrogén ($\text{NO}_3\text{-N}$) értékek a $\text{NH}_4\text{-N}$ értékekhez hasonlóan változtak a vizsgálat során, többé-kevésbé ellentétesen a $\text{NH}_4\text{-N}$ -hoz képest, ami a $\text{NH}_4\text{-N}$ nitráttá való átalakulásával magyarázható. A teljes nitrogén (TN) szintje az etetés kezdetét követően mind a hat csoportnál megemelkedett a takarmánnyal bejuttatott nitrogén mennyiségének köszönhetően. A harmadik mintavételi időpontra lecsökkentek az értékek a kiindulási értékek közelébe. A negyedik mintavételtől kezdve folyamatos emelkedést tapasztaltam a kísérlet végéig. A változások mind a hat kezelésnél hasonlóak voltak. A víztestek TN koncentrációjának változása az üledékben felhalmozódó nitrogén tartalommal állhatott összefüggésben, vagyis a víztest TN tartalmának - elsősorban a formált nitrogén - kiülepedésével, üledékben való felhalmozódásával magyarázható. Az ortofoszfát ($\text{PO}_4\text{-P}$) értékek a vizsgálat első harmadában folyamatosan emelkedtek, majd a kísérlet végéig mind a hat kezelésnél folyamatos csökkenést tapasztaltam, amely jelenség ugyancsak az üledék és a víztest közötti interakciókkal magyarázható - az ortofoszfát időszakosan formált szerves foszforra alakul, amely kiülepedéssel, akár időlegesen, akár

tartósan az üledékrétegbe jut. A lebegőanyag (TSS) koncentrációjának a változása a NO₃-N-nél tapasztaltakhoz volt hasonló. A negyedik mintavételi időpontban a HA (47,2 mg/l), K (34,87 mg/l), HU (28,93 mg/l) és BB (35,87 mg/l) csoportoknál; a hatodik mintavételénél a HU (22,62 mg/l), BA (27,07 mg/l) és BB (20,52 mg/l) csoportoknál a koncentráció a duplájára emelkedett a többi csoport értékéhez képest. A klorofill-a (Chl-a) átlagos koncentrációja a kísérlet kezdetétől a negyedik mintavételi időpontig a csoportokat tekintve azonos volt. A HA és a K csoportoknál mind az ötödik (95,5 mg/l; 85,73 mg/l), mind pedig a hetedik (92,73 mg/l; 117,13 mg/l) mintavételi időpontban a többszörösére emelkedett a többi csoporthoz képest. Hasonló eltérést tapasztaltam a BA kezelés esetében a hatodik mintavételénél (140,1 mg/l).

7. táblázat A víz kémiai paraméterei (átlag±szórás)

	HA ¹	HU ²	K ³	B ⁴	BA ⁵	BB ⁶
NH ₄ -N ⁷ (mg/l)	0,23±0,2	0,21±,011	0,17±0,06	0,22±0,01	0,15±0,09	0,17±0,14
NO ₃ -N ⁸ (mg/l)	0,04±0,03	0,04±0,03	0,04±0,04	0,06±0,06	0,05±0,04	0,07±0,12
NO ₂ -N ⁹ (mg/l)	0,02±0,02	0,03±0,02	0,03±0,02	0,05±0,04	0,02±0,01	0,03±0,02
TN ¹⁰ (mg/l)	1,0±0,7	0,9±0,5	1,0±0,7	0,9±0,6	0,8±0,5	0,8±0,5
PO ₄ -P ¹¹ (mg/l)	0,06±0,03	0,07±0,04	0,07±0,03	0,08±0,05	0,08±0,04	0,06±0,03
TP ¹² (mg/l)	0,17±0,07	0,16±0,06	0,18±0,08	0,17±0,08	0,18±0,08	0,14±0,06
TSS ¹³ (mg/l)	18,8±16,1	13,1±11,5	14,6±10,9	6,9±7,9	10,1±9,6	12,8±15,4
Chl-a ¹⁴ (mg/l)	42,8±50,6	15,3±23,02	41,2±57,9	13,1±17,8	26,2±51,6	18,8±23,9

¹ halliszt; ² húsliszt; ³ kukorica; ⁴ búza; ⁵ búza+xilanáz; ⁶ búza+beta-glukanáz; ⁷ ammónium-nitrogén; ⁸ nitrát-nitrogén; ⁹ nitrit-nitrogén; ¹⁰ összes nitrogén; ¹¹ ortofoszfát-foszfor; ¹² összes foszfor; ¹³ összes lebegőanyag; ¹⁴ klorofill-a

Nílusi tilápiával végzett kísérletünkben Kabir és mtsai. (2019) megállapították, hogy az állománysűrűség befolyásolta a TAN, az NO₃ és az NO₂ koncentrációt, amely jelenség a kísérletünkben is megfigyelhető volt, mivel a haltömeg gyarodásával párhuzamosan növekedett a kijuttatott takarmány mennyisége is, ami hatással volt a vízminőségre. Pine és mtsai.

(2008) hibrid csíkos sügérrel (*Morone saxatilis* x *Morone chrysops*) végzett vizsgálatukban a baromfilisztet eltérő mértékben tartalmazó kezelések vízmintáinak TAN (0,04 mg/l) és NO₃-N (0,25 mg/l) értékei között nem találtak szignifikáns különbséget. Rawles és mtsai. (2018) szintén hibrid csíkos sügérrel végzett kísérletüknél eltérő fehérjetartalmú tápok hatását vizsgálták. A kezelések között a vízkémiai paraméterekben szignifikáns különbséget nem találtak. Green és mtsai. (2019) külső biofloc termelő rendszerben, hibrid tilápiával (*O. niloticus* x *O. aureus*) végzett kísérletükben azt tapasztalták, hogy a takarmányok emészthető energia-tartalmának a növelésével, a vízmintákban is megemelkedett a nitrogén összetevők mennyisége.

5.1.3 Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények

A limnokorallokból vett üledékminták elemzésének az adatai a 8. táblázatban láthatók. Az adatok vizsgálata során azt tapasztaltam, hogy mind a hat kezelés esetében az üledék szárazanyag-tartalma a kísérlet végére nagyobb lett. A kiinduló értékekhez képest a legnagyobb változást a K (10 m/m%) és a B (12,53 m/m%) kezeléseknél, míg a legkisebb mértékű növekedést a HU (1,64 m/m%) és a BA (1,57 m/m%) kezeléseknél tapasztaltam. A kezelések között nem volt szignifikáns különbség az üledék szárazanyag-tartalmában, ennek ellenére kismértékű eltérések megfigyelhetőek voltak, ami magyarázható a különböző takarmányok eltérő emészthetőségével. A Kjeldahl-N (KN) tartalom a vizsgálat ideje alatt a csoportok között eltérően változott. A K (46,67 mg/l) és a B (155 mg/l) kezeléseknél növekedett, míg a többi kezelés esetében az értékek csökkentek (HA: 33,33 mg/l; HU:107,66 mg/l; BA: 95,11 mg/l; BB: 220,33 mg/l). Az induló és befejező értékek közötti különbséget a HA és a HU kezelések esetében a takarmányok jobb emészthetősége magyarázhatja. A BA és a BB kezelések esetében a csökkenés hátterében az alkalmazott enzim kiegészítés

állhat. Az üledék foszfor tartalma mind a hat kezelésnél csökkent a szárazanyag tartalomban. A kísérlet 95. napján az üledék foszfor tartalmának vizsgálatakor a kezelések között szignifikáns különbséget nem találtam. A foszfor tartalom legkisebb mértékű csökkenését B (62,7 %) kezelésnél, míg a legnagyobbat a HA (78,1 %) és B (78,1 %) kezelésnél kaptam. A HU kezelésnél a csökkenés mértéke (74,9 %) nem sokkal maradt el a HA és a B kezelésekhöz képest. Az üledék nitrogén és foszfor tartalmának látszólagos csökkenése ellentmond annak a ténynek, hogy a kísérlet során a takarmánnyal jelentős mennyiségű N és P került be a limnokorallokba. Ennek a jelenségnek a magyarázata az lehet, hogy a halnépesítéssel és a levegőztetéssel az üledék felső rétegében található tápanyagok könnyen mobilizálhatóakká váltak, és részben a vízoszlopba kerültek át. Mivel a kísérlet helyszínéül szolgáló limnokorallok sekélynek tekinthetőek, így a fel nem használt szerves anyag (takarmány) részben akkumulálódott az üledékben.

8. táblázat Az üledék szárazanyag, Kjeldahl-N és foszfortartalma a kísérlet kezdetén és végén (átlag±szórás)

Kezelések		szárazanyag (m/m%)	Kjeldahl-N (mg/kg sz.a.)	Foszfor (mg/kg sz.a.)
HA ¹	1. nap	46,4±2,4	1490±230,6	2776,7±263,9
	95. nap	52,7±4,4	1456,7±225	608,7±81
HU ²	1. nap	55±1,2	1021,3±84,3	2060±87,2
	95. nap	56,7±3,3	913,7±83,4	517±72,7
K ³	1. nap	47,6±1,6	1300±34,6	2643,3±102,1

	95. nap	57,6±3	1346,7±281,5	579,7±41,1
B ⁴	1. nap	54,8±3,6	1138,3±211,7	2006,7±222,8
	95. nap	67,3±2,3	1293,3±135	748±135,5
BA ⁵	1. nap	63±6	920,3±324,7	1880±197
	95. nap	64,6±4,6	825±222,8	499,3±125,6
BB ⁶	1. nap	51,1±3,5	1320±255,3	2303,3±250,1
	95. nap	56,5±7,4	1099,7±416,3	539±58,6

¹ halliszt; ² húsliszt; ³ kukorica; ⁴ búza; ⁵ búza+xilanáz; ⁶ búza+béta-glükánáz

Több vizsgálat is kimutatta a pozitív összefüggést a halak növekvő mérete, a növekvő takarmány bevitel és az üledékképződés mértéke között (Ram és mtsai., 1982; Avnimelech és mtsai., 1999; Jiménez-Montealegre és mtsai., 2002). Ezzel szemben Kabir és mtsai. (2019) nilusi tilápiával végzett tavi kísérletükben azt állapították meg, hogy bár a tavakban a szervesanyag-tartalom nőtt a táplálékbevitel növekedésével, ettől eltekintve a táplálék, a telepítési sűrűség és az etetés mértéke nem befolyásolta a tápanyagok felhalmozódását sem a vízben, sem az üledékben.

5.2. Eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

5.2.1. A termelési paraméterekre vonatkozó eredmények

A kísérleti állomány növekedési paramétereit a 9. táblázatban láthatóak. A vizsgálat ideje alatt mind a harcsa (M: 9 db; I-E: 29 db), mind pedig a ponty (14 db) állományban észleltem elhullást. A kísérlet kezdetekor az M és az I-E

kezelésekhez tartozó csoportok átlagos testtömege $485,7 \pm 3,4$ g volt (átlag \pm szórás, $n=2$ csoport). A kísérlet befejezésekor, amely 153 napig tartott, a csoportok átlagos testtömege $1932,9 \pm 194,5$ g volt. Az I-E kezelésnél a kísérlet kezdetén, a ketrecekben kívüli víztérbe kihelyezett pontyok átlagos testtömege $333,5 \pm 3,71$ g, a kísérlet végén $2266,9 \pm 87,56$ g volt. A két csoport induló és befejező testtömegei között szignifikáns különbséget nem találtam. A kezelések záró mérését követően azt az eredményt kaptam, hogy azok a halak, amelyeket ketrecekben tartottam átlagosan 100 grammal nehezebbek voltak. Mind a két csoportnál a kihelyezett állomány a kísérlet végére a kihelyezéskori testtömegét megnégyszerezte (M: $3,92x$; I-E: $4,13x$). A további növekedési paraméterek vizsgálatánál a csoportok között szintén nem találtam szignifikáns különbséget. A speciális növekedési ráta (SGR) esetében a ragadozó halak esetében elvárható értékhez képest jelentősen gyengébb eredményeket ($0,9 \pm 0,1$ %) kaptam mind a két kezelésnél. Ezek a kevésbé jó eredmények összefüggésben állhatnak a ketrecekben tartott állományok nagyobb mértékű pazarlásával, valamint a monokultúrás kezeléskor az etetések számával. Az I-E kezeléskor a ketrecekben kívüli víztérbe kihelyezett pontyok külön takarmányt nem kaptak. Ennek következtében az SGR és FCR számítására nem volt mód. A 7. táblázat adataiból jól látszik, hogy annak ellenére, hogy a halak kiegészítő takarmányt nem kaptak, a kihelyezéskor átlagos testtömegüket a kísérlet végére majdnem meghétszereztek ($6,8x$). Ezek az eredmények azt mutatják, hogy bár a harcsa növekedési paraméterei elmaradnak a gyakorlatban várható értékektől (FCR: 1 g/g; SGR: 2 %/nap), azonban a kihelyezett pontyállomány hozama ezt részben kompenzálni tudja.

9. táblázat A harcsa és ponty növekedési paraméterei (átlag \pm szórás)

Kezelések	Induló testtömeg (g)	Befejező testtömeg (g)	Testtömeg gyarapodás (g)	Relatív növekedés (%)	SGR ³ (%/nap)	FCR ⁴ (g/g)
M ¹	$485,2 \pm 4,6$	$1903,3 \pm 238,3$	$1418,1 \pm 238,8$	$292,3 \pm 49,6$	$0,9 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,4$
I-E ²	$485,5 \pm 2,7$	$2002,9 \pm 170,3$	$1517,5 \pm 167,6$	$312,6 \pm 32,8$	$0,9 \pm 0,1$	$1,4 \pm 0,4$

Ponty	333,5±3,7	2266,9±87,6	1933,4±86,5	579,7±25,1		
-------	-----------	-------------	-------------	------------	--	--

¹ monokultúra; ² intenzív-extenzív; ³ napi növekedési arány; ⁴ takarmányértékesítés

Kibria és Haque (2018) ponttyal és zsákos harcsával (*Heteropneustes fossilis*) elvégzett kísérletükben a harcsa esetében az általam kapott eredményeknél jobb növekedési erélyt (1,57±0,03) érték el. Vizsgálatomban a takarmányértékesítés kiszámítását követően kapott eredmények szintén elmaradtak a gyakorlati értékekhez képest. Ludwig (1996) csatornaharcsával és tűzcsellével (*Pimephales promelas*) végzett kísérletében hasonló eredményt kapott a végső testtömeg tekintetében. Egy, Romániában egynyaras ponttyal elvégzett kísérletben az általam tapasztalt FCR értéket írtak le (Bucur és mtsai., 2016). Yi és mtsai. (2003) hibrid harcsával (*Clarias macrocephalus x C. gariepinus*) és nílusi tilápiával végzett kísérletükben a monokultúrás rendszerben jobb FCR értékeket tapasztaltak. Yi és Lin (2001) Dél-kelet Ázsiában, nílusi tilápiával végzett kísérletükben a tavakban növelték az ott elhelyezett ketrecek számát. Azt tapasztalták, hogy a ketrecek számának növekedésével a ketrecekben lévő állomány átlagos testtömege szignifikánsan csökkent, míg a tavakban elhelyezett állományoké szignifikánsan növekedett. Osztott tavi rendszerben, csatornaharcsával végzett vizsgálatukban Jescovitch és mtsai. (2017) a kontroll, valamint a levegőztetővel ellátott csoportok FCR értékei között nem találtak szignifikáns különbséget. Yi és mtsai. (1996) nílusi tilápiával végzett vizsgálatukban azt tapasztalták, hogy a ketrecekben a telepítési sűrűség növelése (>50 db/m³) negatív hatással volt a FCR értékekre.

5.2.2. A víz fizikai és kémiai paramétereire vonatkozó eredmények

A vizsgálat ideje alatt a tavak DO szintje az I-E kezelésnél 7,16±2,17 mg/l, a M kezelésnél 7,73±2,23 mg/l volt. A csoportok legmagasabb értékei 12,07 mg/l (I-E) és 13,18 mg/l (M) voltak. Az átlagos pH értékek 8,0±0,3 (I-E) és 8,09±0,36 (M) között alakultak. A mérési eredmények szerint a kísérlet

kezdetét követően a pH érték a 71. napig folyamatosan csökken, majd az adatokban növekedés figyelhető meg. Az átlagos víz hőmérséklet mérési értékei (I-E: $20,5 \pm 4,2$ °C; M: $20,3 \pm 4,2$ °C) között nem volt eltérés. A kísérlet kezdetén tapasztalt hideg időjárási körülmények miatt a víztér hőmérséklete az első két hétben 8 °C-ot csökkent.

A vizsgálat során vett vízminták mérési eredményeit a 10. táblázat tartalmazza. A különböző paraméterek statisztikai vizsgálata szignifikáns különbséget eredményezett a vizsgált nyolc paraméter közül négynél. A nitrát-nitrogén ($\text{NO}_3\text{-N}$), az ortofoszfát-foszfor ($\text{PO}_4\text{-P}$), az összes lebegő-anyag (TSS) és a klorofill-a (Chl-a) esetében a két kezelés adatai között szignifikáns eltérést tapasztaltam. A TSS és a Chl-a adatok a két kezelésnél ellentétes tendenciát mutattak. A TSS az intenzív-extenzív kezelésnél több mint kétszeres volt a monokultúras kezeléshez képest. Ez a jelentős különbség visszavezethető arra, hogy a ketreceken kívüli víztérbe a kísérlet elején kétnyaras pontyokat helyeztünk ki, melyek az aljzat folyamatos túrásával nagyobb mértékben keverték fel az üledéket, mint a harcsa. A monokultúras kezelésnél a minták Chl-a értékei az I-E kezelés értékeihez képest kétszeres eltérést mutattak. Ez a különbség szintén visszavezethető arra, hogy a kihelyezett pontyállomány az üledéket felkavarta, aminek következtében a víztér zavarosabb volt, ami miatt a víztestben csökkent a fény behatolásának mértéke, ami csökkentette a fitoplankton nagyobb mértékű elszaporodását. Az előző kísérletnél említett 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 2. számú mellékletében a 3. számú területi kategóriánál megállapított határértékeket a vizsgálatunknál az összes lebegőanyag a monokultúras kezelésnél 10,8 mg/l-rel, míg az I-E kezelésnél 88,7 mg/l-rel haladta meg, ami egyébként jellemző a tavi halgazdálkodásra (Gál és mtsai., 2016). A határérték jelentős túllépésének az oka a tavakba intenzíven kihelyezett harcsa, illetve pontyállomány volt. A halak számára toxikus szabad ammónia mennyisége 0,001-0,698 mg/l értékek között változott. Mind az M, mind pedig az I-E

kezelésnél a legnagyobb értékeket a kísérlet végén számoltam (M: 0,698 mg/l; I-E: 0,234 mg/l).

10. táblázat A víz kémiai paramétereit (átlag±szórás)

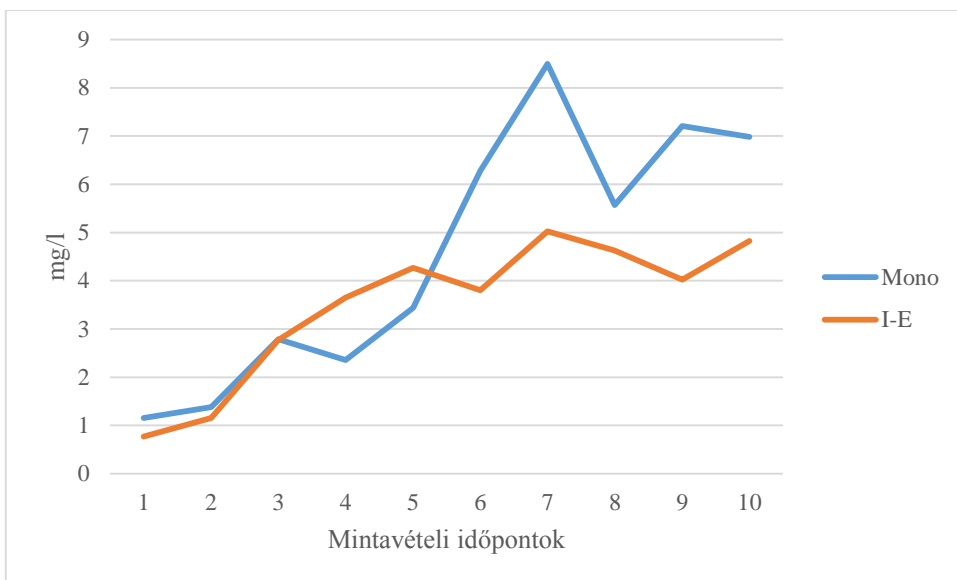
	Ammónium-nitrogén (mg/l)	Nitrát-nitrogén (mg/l)	Nitrit-nitrogén (mg/l)	Összes nitrogén (mg/l)
M ¹	0,948±0,79	0,356±0,43 ^a	0,142±0,19	4,565±3,11
I-E ²	0,781±0,54	1,004±0,79 ^b	0,188±0,12	3,491±1,75
	Ortofoszfát-fosfor (mg/l)	Összes fosfor (mg/l)	Összes lebegőanyag (mg/l)	Klorofill-a (mg/l)
M	0,181±0,12 ^a	0,537±0,42	60,839±42,92 ^a	220,855±256,78 ^a
I-E	0,072±0,02 ^b	0,329±0,16	138,689±87,74 ^b	110,067±120,37 ^b

¹ monokultúra; ² intenzív-extenzív

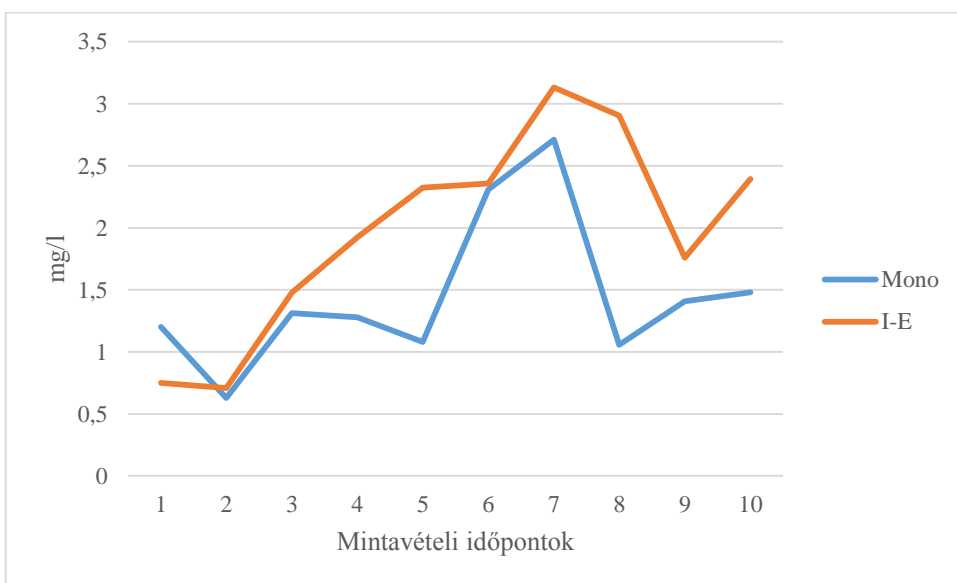
Bucur és mtsai. (2016) intenzív-extenzív tavi rendszerben végzett kísérletében a vízkémiai paraméterek hasonlóak voltak az általam tapasztaltakkal. Intenzív-extenzív tavi rendszerben, nílusi tilápiával és ponttyal végzett kísérletükben Diab és mtsai. (1992) a szerves nitrogén mutatók esetében hasonló eredményekről számoltak be. Yi és Lin (2001) kísérletükben a tavakban elhelyezett ketrecek számának növelésének a hatását vizsgálták. Azt tapasztalták, hogy az összes lebegőanyag mennyisége folyamatosan emelkedett a vizsgálat végéig, köszönhetően a halak üledékkavaró hatásának. Yi és mtsai. (2003) integrált rendszerű vizsgálatukban az összes N és összes P mennyiségében szignifikáns különbséget találtak a kezeléseik között. Osztott tavi rendszerben végzett vizsgálatukban Jescovitch és mtsai. (2017) szignifikáns különbséget találtak a kontroll és a kezelt csoportok (plusz levegőztetés) között a TAN, az összes N és az összes P mutatókban. Kwei Lin és Diana (1995) hibrid harcsával (*Clarias macrocephalus x C. gariepinus*) és nílusi tilápiával végzett ketreces tavi kísérletükben a TAN értékek a vizsgálat második felére jelentősen megemelkedtek minden csoportnál. Yi és mtsai.

(1996) tavi ketreces kísérletükben az általuk vizsgált vízkémiai mutatókban nem találtak különbségeket a kezelések között.

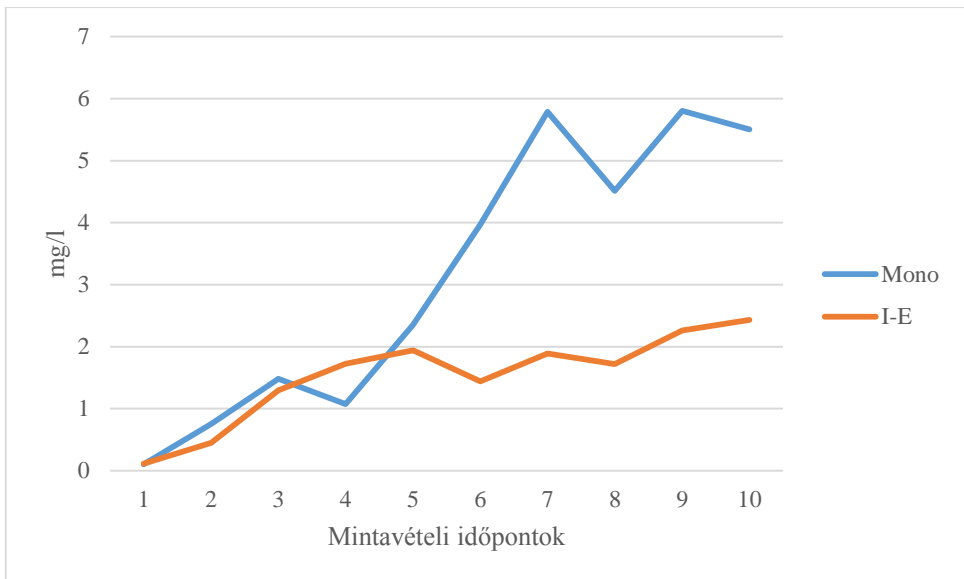
A 6., 7. és 8. ábra az összes nitrogén, az összes szerves nitrogén és az összes szerves nitrogén időbeli változását szemlélteti. Amint az ábrákon látható az intenzív-extenzív kezelésnél a nitrogén-tartalmú paraméterek változása közel egyenletes volt. Ezzel ellentétben a monokultúras kezelésnél az összes nitrogén és az összes szerves nitrogén értékei a kísérlet második felében nagymértékben eltértek az intenzív-extenzív kezelés értékeitől. A 6. ábrán látható, hogy a monokultúras kezelésnél a szerves nitrogén mennyisége az 5. mintavételtől kezdve nagymértékű növekedésnek indult. Ez összefüggésben áll a klorofill-a időbeli változásával, mely hasonló képet mutatott. Az ábrákon látható, hogy mind a három paraméter a 7. mintavétel időpontjában érte el a maximumát. Ez a monokultúras kezelésnél 8,49 mg/l, 2,71 mg/l, 5,78 mg/l, míg az intenzív-extenzív kezelésnél 5,02 mg/l, 3,13 mg/l, 1,89 mg/l. A kombinált népesítés esetén a víztest alacsonyabb összes N tartalma, az extenzív komponens szűrő hatásával magyarázható, amikor az extenzív egységben jelentős mennyiségű szerves nitrogén akkumulálódik a ponty járulékos tömeggyarapodásában. Mindez azt is eredményezi, hogy a kombinált rendszerben a haltermelés tápanyag-transzformációs hatásfoka a járulékos extenzív halhozammal együtt meghaladja a monokultúras tavakét.



6. ábra A vizsgált vízterek összes nitrogén értékei

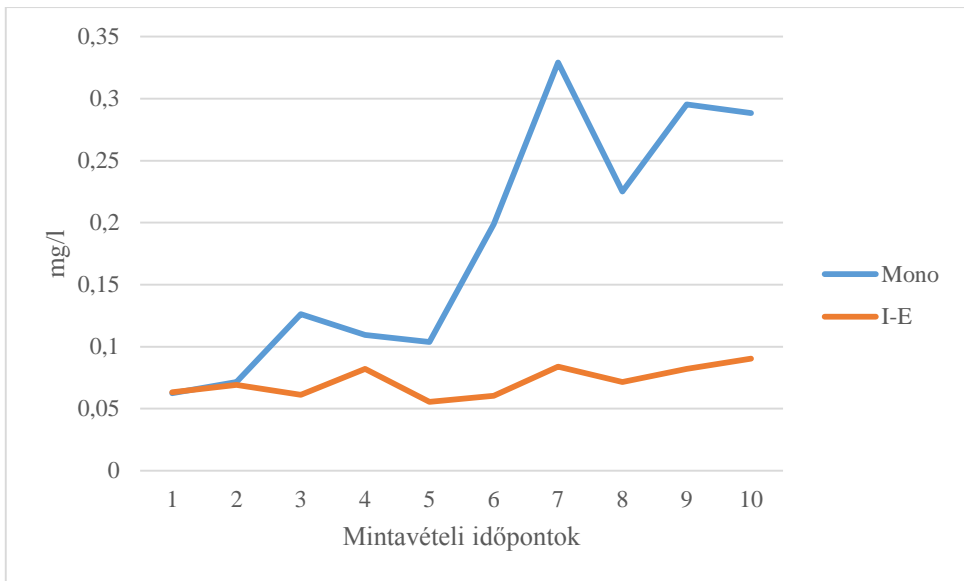


7 ábra A vizsgált vízterek összes szervesetlen nitrogén értékei



8. ábra A vizsgált vizek összes szerves nitrogén értékei

A 9. ábra az ortofoszfát-foszfor időbeli változását mutatja be a vizsgálat ideje alatt. Hasonlóan a nitrogén-tartalmú paraméterekhez a két kezelés értékei között a kísérlet második felére nagymértékű különbség alakult ki. A maximális értékeket szintén a 7. mintavétel időpontjában kaptam. Ez a monokultúrás kezelésnél 0,33 mg/l, az intenzív-extenzív kezelésnél 0,084 mg/l volt. Ez a különbség ugyancsak a kombinált rendszer extenzív tápanyag kivonó képességével magyarázható. Az extenzív rész kiegészítő ponty népesítésével jelentősen megnőtt a szerves anyag – beleértve a szerves formált foszfort is – eltávolítás mértéke.



9. ábra A vizsgált vizek ortofoszfát-foszfor értékei

5.2.3. Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények

A vizsgálat kezdetén és a befejezést követően a tavakból vett üledékminták elemzésének az adatait a 11. táblázat tartalmazza. A táblázat adataiból látható, hogy mind a két kezelésnél a minták szárazanyag-tartalma a kísérlet végére csökkent. A csökkenés mértéke a kezeléseknél 30 % (M) és 15 % (I-E) volt. A további két vizsgált paraméternél (KN és a P) – hasonlóan a vízminták TSS és Chl-a adataihoz – a kapott értékek a két kezelés között ellentétes irányban változtak. A KN értékek a monokultúras kezelésnél 78 %-kal emelkedtek, míg ezzel szemben az intenzív-extenzív kezelésnél ez 26 %-kal csökkent. Hasonló tendenciát figyeltem meg a foszfor esetében is. Azon tavak esetében, ahol a víztérbe csak harcra került kihelyezésre, az üledékmintákban a foszfor-tartalom 57 %-kal növekedett a kísérlet végére, míg az intenzív-extenzív kezelésnél a mintákban a foszfor-tartalom 35 %-kal csökkent. Mindez arra enged következtetni, hogy a kombinált rendszerben a haltermelés tápanyag transzformációja meghaladta a monokultúráét. Az extenzív tó jelentős mennyiségű szerves N és P vegyületet vont ki és

akkumulált a kiegészítő pontyhozamban. Hasonló jelenség volt megfigyelhető a víztest N és P tartalmában is. Hibrid harcsával (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) és nílusi tilápiával végzett vizsgálatokban Yi és mtsai. (2003) az összes N és összes P mennyiségében minimális növekedést figyeltek meg a 87 napig tartó vizsgálatuk során a kezelések között.

11. táblázat Az üledék szárazanyag, Kjeldahl-N, foszfortartalma a kísérlet kezdetén és végén (átlag±szórás)

		szárazanyag (m/m %)	Kjeldahl-N (mg/kg szá.a.)	Foszfor (mg/kg szá.a.)
M ¹	Induló	61,5±11,3	1630,8±1515,9	1133,6±751,8
	Befejező	43,3±10,6	2901,5±1661,8	1778,8±1654,1
I-E ²	Induló	69,2±6,4	1622,5±1826,5	2001,5±2023,4
	Befejező	60,4±7,7	1200,8±859,0	1299,9±1318,4

¹ monokultúra; ² intenzív-extenzív

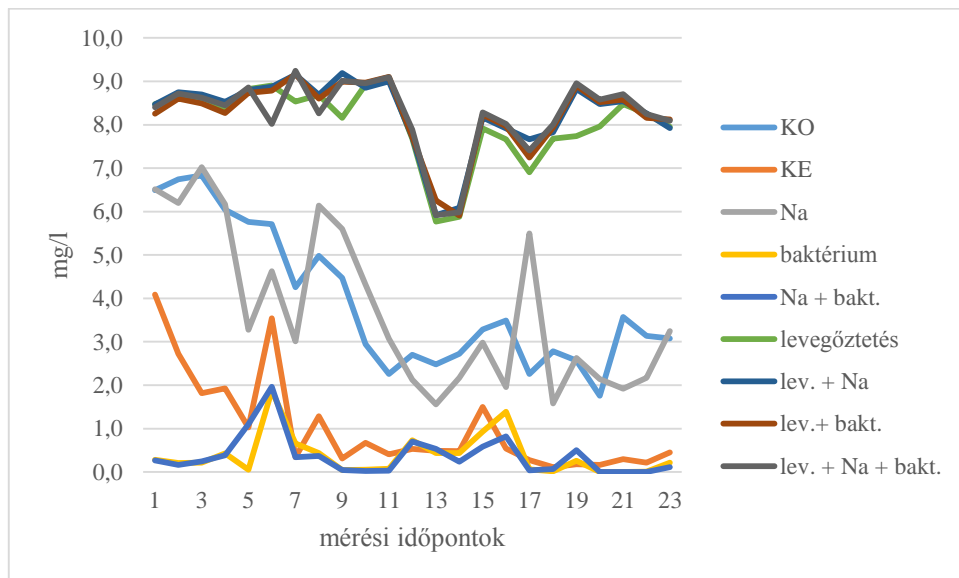
5.3. Különböző tókezelési eljárások hatása a víz és az üledék kémiai paramétereire

5.3.1. A víz kémiai paramétereire vonatkozó eredmények

A kísérlet ideje alatt a kezelések oldott oxigén szintjét a 10. ábra mutatja. Látható, hogy az egyes kezelésekhez tartozó görbék három különböző csoportot alkotnak. Az első csoportba azok a kezelések kerültek, amelyekben levegőztetést alkalmaztunk. Ezeknél a kezeléseknél az átlagos DO szint $8,2 \pm 0,84$ mg/l volt, ami a vizsgálat befejezéséig közel állandó szinten mozgott. Az ábra középső részén a kontroll és a Na-perkarbonát kezelés látható. A kezdeti 6,5 mg/l DO tartalom a kísérlet során folyamatosan csökkent, a kísérlet végére 3 mg/l volt, annak ellenére, hogy a Na-perkarbonát csoportnál a két pótlást követően a kezelések DO szintje megemelkedett. A közepes oxigénszintet egyrészt a levegőztetés, másrészt a heterotróf mikrobiális aktivitást növelő kezelések elmaradása okozhatta. Az ábra alsó részén

találhatóak azok a kezelések, ahol az üledék felszínét manuálisan kevertük, baktérium készítményt kapott, illetve a baktérium készítmény mellett Na-perkabonátot. Ezeknél a csoportoknál az átlagos DO szintek néhány mintavételi időponttól eltekintve 1 mg/l alatt voltak. Az alacsony DO szint oka a levegőztetés hiányán túl a kiegészítő baktérium készítmény, illetve a mechanikus keverés hatására emelkedett heterotróf aktivitás miatti megnövekedett oxigénigény áll.

A pH értékek esetében a kezeléseket két csoportra osztottam. Az első csoportba azok a kezelések kerültek, amelyeknél nem alkalmaztam levegőztetést, míg a másik csoportba azok a kezelések kerültek, amelyeknél igen. A levegőztetés nélküli kezelések átlagos pH szintje $7,82 \pm 0,24$, míg a másik csoporté $8,57 \pm 0,1$ volt. A víz hőmérséklet adatait vizsgálva a kezeléseket ugyanarra a két csoportra lehetett osztani, mint a pH esetében. Az átlagos értékek $22,9 \pm 2,2$ °C és $22,4 \pm 2,2$ °C volt.



10. ábra A kísérleti vízterek oldott oxigéntartalmának időbeli alakulása

A kísérlet során, a kezelésekből vett vízminták eredményeit a 12. táblázat mutatja be. Az ammónium-N esetében a baktériumos (B) és a Na-

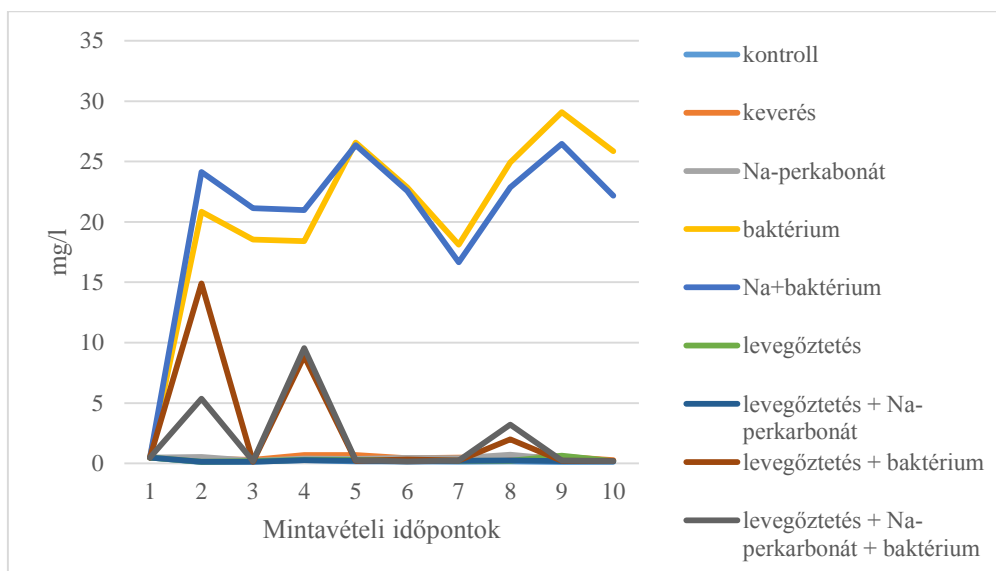
perkarbonát+baktérium (NaB) kezelések jelentősen eltértek a többi kezeléstől ($22,80 \pm 4,18$ mg/l; $22,59 \pm 3,28$ mg/l). A levegőztetés + baktérium (LB) és a levegőztetés + Na-perkarbonát + baktérium (LNaB) értékei szintén magasabbak voltak a másik öt kezeléshez képest ($3,02 \pm 5,44$ mg/l; $2,16 \pm 3,31$ mg/l). Hasonló tendenciákat figyeltem meg az összes szerves nitrogén (TON), az összes szerves nitrogén (TON), az összes nitrogén (TN) és az ortofoszfát-foszor (PO_4 -P) esetében. Mindez arra utal, hogy a baktérium készítmény adagolása jelentősen segítette az üledék szerves anyag tartalmának lebomlását, minek eredményeként emelkedett a szerves N és P tartalom a víztestben. Amikor a baktérium készítmény adagolást levegőztetéssel is kiegészítettem, akkor az ammónia oxidáció megnőtt, és az ammónium-N koncentráció csökkenésével párhuzamosan emelkedett a nitrit és nitrát tartalom. Az összes lebegőanyag adatait vizsgálva az látható, hogy azon kezeléseknél, amelyeknél levegőztetést alkalmaztunk az átlagos értékek meghaladták a 40 mg/l értéket. E paraméter esetében hasonló adatokat kaptam a keverés (K) kezelésnél, amely azzal magyarázható, hogy a keverés segítette a finom üledékszemcsék lebegését a víztestben.

12. táblázat A vízminták kémiai paramétereit (átlag±szórás)

Kezelések	Ammónium-N	Nitrát-N	Nitrit-N	Összes szervetlen N	Összes szerves N	Összes N	Ortofoszfát-P	Összes P	Összes lebegőanyag
	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³	mg/dm ³
KO ¹	0,15±0,05	1,1±0,3	0,1±0,2	1,4±0,4	0,5±0,2	1,9±0,5	0,05±0,04	0,06±0,05	7,5±7,9
KE ²	0,48±0,16	0,6±0,2	0,2±0,3	1,2±0,3	0,7±0,3	1,9±0,4	0,08±0,05	0,14±0,08	67,7±47,3
Na ³	0,41±0,22	0,9±0,5	0,2±0,2	1,5±0,3	0,4±0,2	1,9±0,3	0,08±0,08	0,12±0,11	6,2±5,9
B ⁴	22,80±4,18	0,1±0,1	0,2±0,3	23,02±4	4,2±2,7	27,2±3,7	1,48±0,58	2,00±0,65	25,2±24,2
NaB ⁵	22,59±3,28	0,1±0,3	0,4±0,7	23,1±2,7	3,9±2,3	27,1±3,2	1,71±0,62	2,17±0,64	23,3±21
L ⁶	0,27±0,24	1,6±0,8	0,03±0,02	1,9±0,9	0,6±0,4	2,5±0,9	0,09±0,03	0,11±0,03	13,2±13,5
LNa ⁷	0,19±0,06	1,6±0,9	0,2±0,3	2±0,9	0,6±0,3	2,6±0,9	0,09±0,03	0,13±0,07	43,6±65,8
LB ⁸	3,02±5,44	10,2±5,2	2±3,8	15,2±5,3	3,6±3,5	18,8±6,3	0,23±0,15	0,52±0,30	66,7±87,6
LNaB ⁹	2,16±3,31	8,8±4,8	2,4±4,5	13,4±4,4	3,4±2,6	16,8±5,7	0,29±0,14	0,54±0,16	58,2±90,1

¹ kontroll; ² keverés; ³ Na-perkarbonát; ⁴ baktérium; ⁵ Na-perkarbonát+baktérium; ⁶ levegőztetés; ⁷ levegőztetés+Na-perkarbonát; ⁸ levegőztetés+baktérium; ⁹ levegőztetés+Na-perkarbonát+baktérium

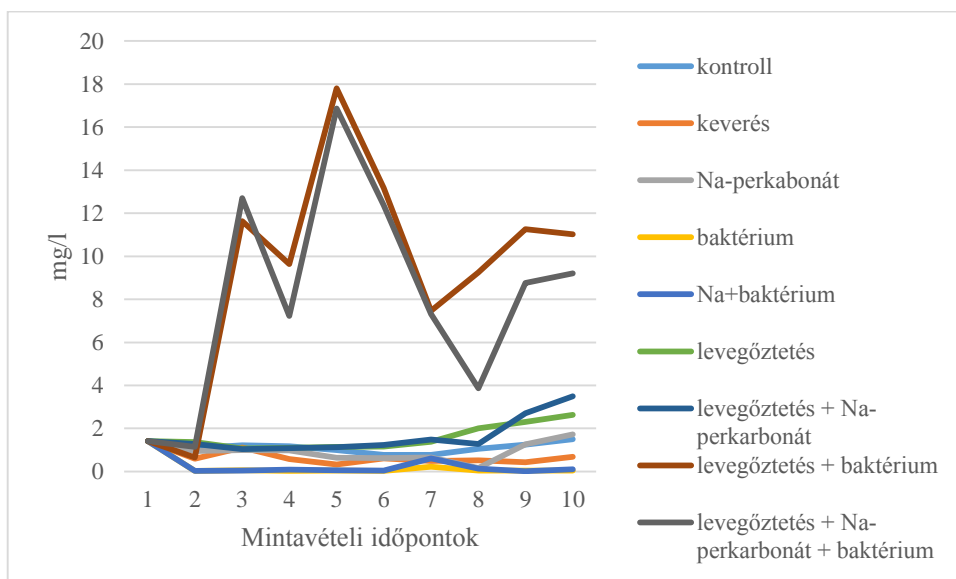
A 11. ábra az ammónium-nitrogén ($\text{NH}_4\text{-N}$) időbeli alakulását mutatja. Az ábrán jól látható, hogy a kísérlet beállítását követően a B (20,83 mg/l), NaB (24,13 mg/l), LB (14,89 mg/l) és LNaB (5,35 mg/l) kezeléseknél az értékek jelentősen megemelkedtek, ami a baktériumok szerves anyag bontásának a következménye. A 3. hétre az LB és az LNaB kezeléseknél az $\text{NH}_4\text{-N}$ visszatért 0,2 mg/l körüli értékekre. Ez összefüggésben van a levegőztetéssel, aminek következtében az $\text{NH}_4\text{-N}$ oxidálódott. Ezzel ellentétben a B és az NaB csoportoknál a vztérben az $\text{NH}_4\text{-N}$ értékek a kísérlet végéig magasán maradtak. A kísérlet során két alkalommal pótoltuk a baktérium készítményt és a Na-perkarbonátot. A pótlásokat követően a LB (8,88 mg/l; 2 mg/l) és az LNaB (9,55 mg/l; 3,21 mg/l) kezeléseknél az értékek újra megemelkedtek, majd visszatértek a kiindulási szintekre. A B és NaB kezeléseknél az értékek alakulása hasonló tendenciát mutatott.



11. ábra A kísérleti vztterek ammónium-nitrogén tartalmának időbeli alakulása

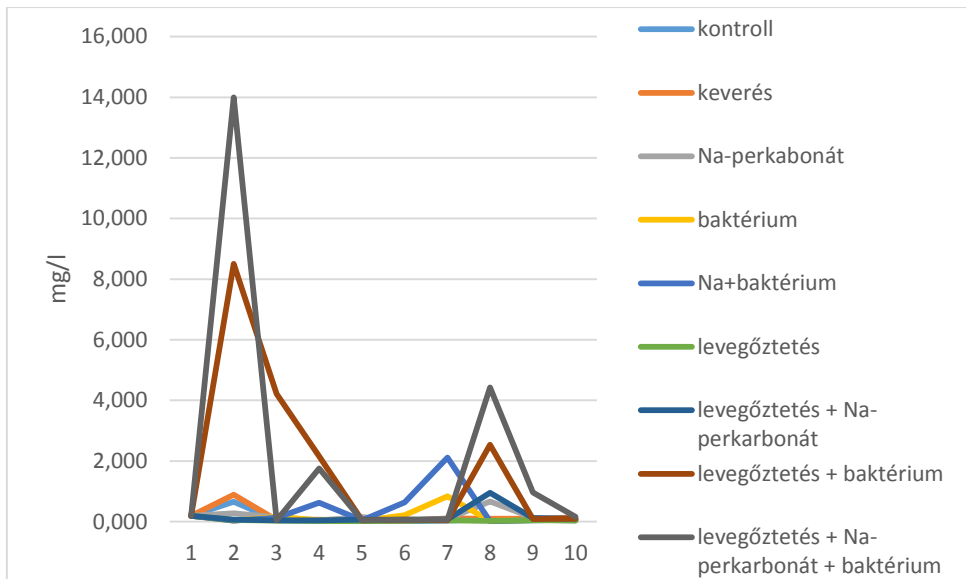
A 12. ábrán az $\text{NO}_3\text{-N}$ időbeli változása látható. Az LB és az LNaB csoportokat kivéve a $\text{NO}_3\text{-N}$ átlagos értékei a vizsgálat ideje alatt 2 mg/l alatt, illetve annak közelében maradtak. Az LB és LNaB kezeléseknél az értékek a

3. (11,6 mg/l; 12,7 mg/l), 5. (17,8 mg/l; 16,87 mg/l) és a 9. (11,25 mg/l; 8,76 mg/l) mintavételi időpontban emelkedtek meg. A 9. ábrán bemutatott TAN értékek időbeli változásához képest az NO₃-N értékei ennél a két kezelésnél egy hetes csúszással jelentkeztek, amelyek a TAN aerob körülmények közötti nitrifikációjából származtak.



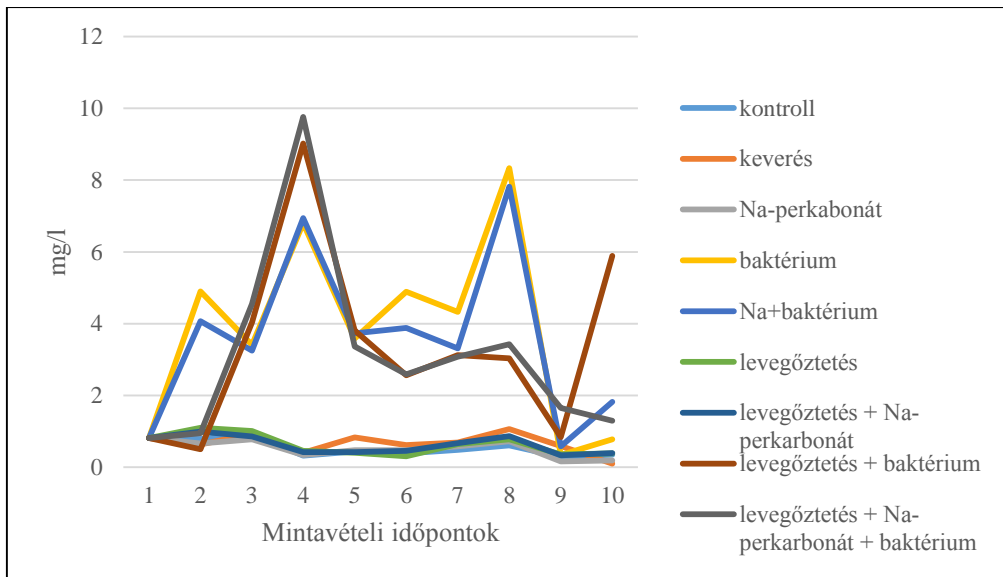
12. ábra A kísérleti vizek nitrát-nitrogén tartalmának időbeli alakulása

A 13. ábra a nitrit-nitrogén (NO₂-N) időbeli változásait mutatja be a kísérlet ideje alatt. A NO₂-N értékei a TAN paraméterhez hasonlóan az LB és az LNaB kezeléseknél mutattak jelentős időbeli változásokat. Az átlagos értékek a 2. (8,5 mg/l; 14 mg/l) és a 8. (2,54 mg/l; 4,43 mg/l) mintavételi időpontban voltak a legnagyobbak. Ezek a magas értékek összefüggésben állnak a víztérben történő ammónia fogyasztással. A többi kezelésnél szintén megfigyeltem az átlagos értékekben minimális ingadozást, azonban ezek az értékek néhány eset kivételével nem lépték át az 1 mg/l értéket.



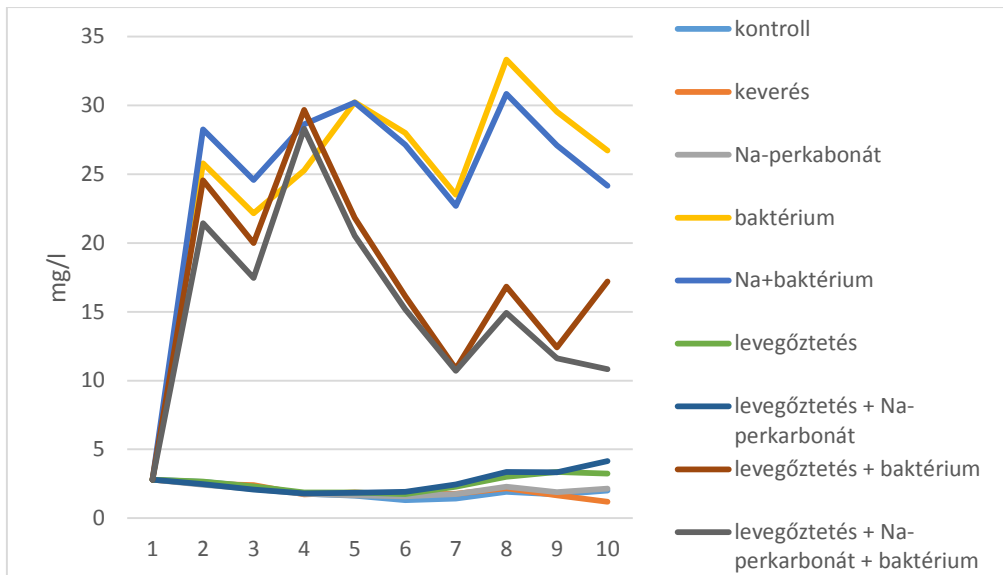
13. ábra A kísérleti vízterek nitrit-nitrogén tartalmának időbeli alakulása

A 14. ábra az összes szerves nitrogén (TON) időbeli alakulását mutatja. Látható, hogy a kezeléseket ennél a paraméternél is két eltérő csoportra lehet osztani (baktérium kiegészítés; baktériumok hiánya). A B és a NaB kezeléseknél a baktérium és Na-perkarbonát pótlást követő mintavételnél a TON értékei minden esetben megemelkedtek (4,9 mg/l, 4,07 mg/l; 6,8 mg/l, 6,94 mg/l; 8,33 mg/l, 7,82 mg/l), valószínűsíthetően a vízben megemelkedő baktérium tartalom miatt. Az LB és az LNaB kezeléseknél részben hasonló változásokat figyeltem meg. A 4. mintavételi időpontban a TON átlagos értékei meghaladták a 8 mg/l-t (9,02 mg/l; 9,72 mg/l). Az 5. mintavételi időponttól a 8. mintavételi időpontig az értékek közel állandó szinten mozogtak ($2,39 \pm 1,0$ mg/l; $2,69 \pm 0,78$ mg/l).



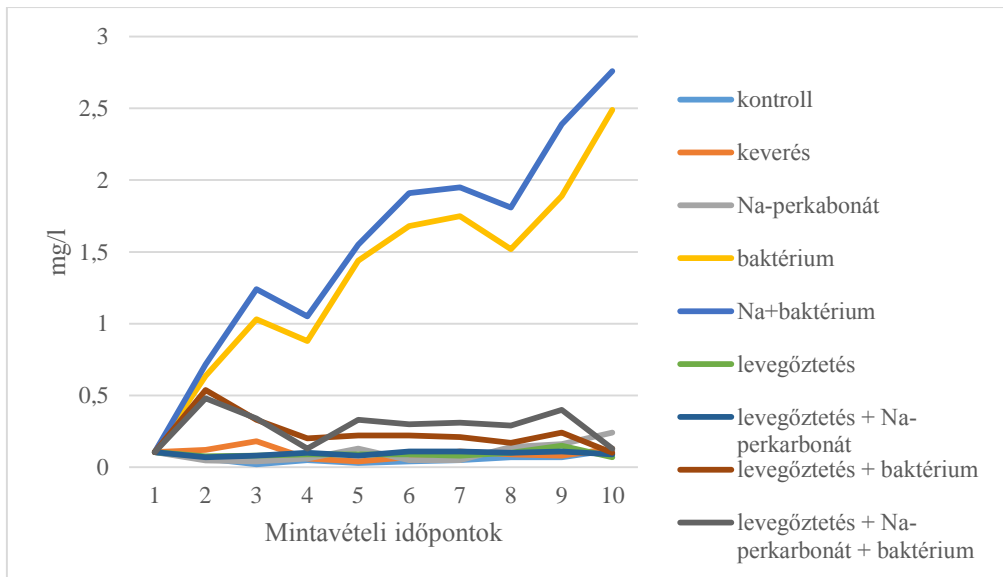
14. ábra A kísérleti vizek összes szerves nitrogén tartalmának időbeli alakulása

A 15. ábra az összes nitrogén (TN) időbeli változását mutatja. Ahogy az a korábbi ábrákon is látható volt, a B, NaB, LB és LNaB kezeléseknél a vízminták elemzését követően kapott adatok jelentősen eltértek a többi kezeléstől. Az átlagos értékek változása a baktérium-készítmény, illetve a Na-perkarbonát pótlását követően minden esetben megemelkedtek. A vizsgálat második felére a B, NaB és az LB és LNaB kezeléseknél az átlagos értékek eltértek egymástól. Ez összefüggésben lehet a kiegészítő készítmények alkalmazásának időpontjával, illetve a vizek levegőztetésével.



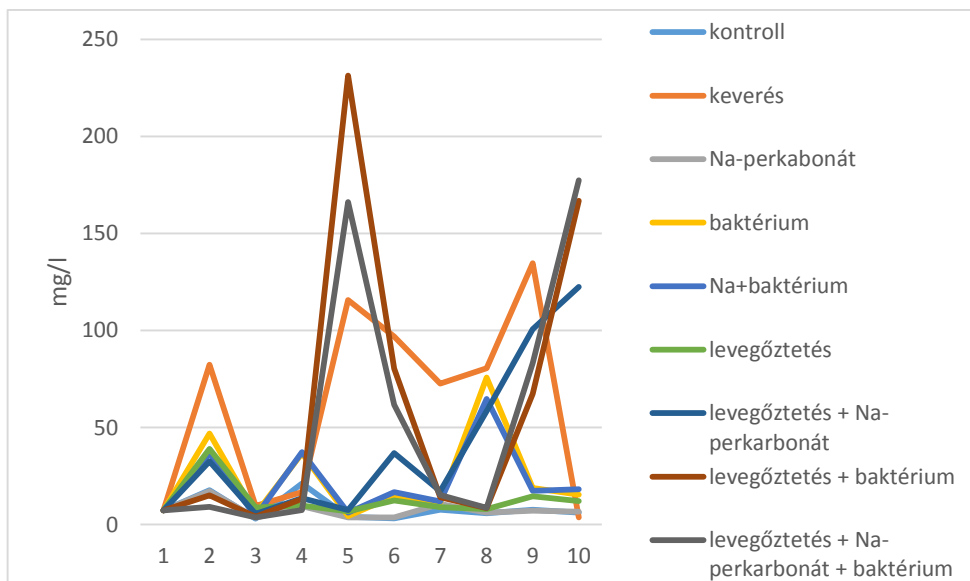
15. ábra A kísérleti vizek összes nitrogén tartalmának időbeli alakulása

A 16. ábra az ortofoszfát-foszfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) időbeli alakulását mutatja. A vizsgálat kezdetén a $\text{PO}_4\text{-P}$ a B, NaB, LB és LNaB kezeléseknél növekedni kezdett. Az LB és LNaB kezeléseknél a $\text{PO}_4\text{-P}$ értékek a 2. mintavételi időpontban érték el a maximumot (0,54 mg/l; 0,48 mg/l). A B és NaB kezeléseknél az $\text{PO}_4\text{-P}$ két kisebb visszaesést követően folyamatosan emelkedett. A két kezelésnél a maximális értéket a kísérlet végén kaptam (2,49 mg/l; 2,76 mg/l). A folyamatosan emelkedő $\text{PO}_4\text{-P}$ értékek összefüggésben lehetnek a vízterbe juttatott baktérium-készítmény szerves anyagot bontó hatásával, illetve a lebegő-anyag mennyiségével.



16. ábra A kísérleti vizek ortofoszfát-foszfor tartalmának időbeli alakulása

A 17. ábra a vizsgálat alatt az összes lebegő-anyag (TSS) változását mutatja. Az ábrán jól látható a TSS átlagos értékeinek a periódikus változásai. Az értékek nagyobb mértékű változásait azoknál a kezeléseknél tapasztaltam, amelyeknél baktérium-készítményes kiegészítést alkalmaztam.



17. ábra A kísérleti vizek összes lebegőanyag tartalmának időbeli alakulása

Torres-Beristain és mtsai. (2006) 49 %-os fehérje-tartalmú takarmányok bomlását vizsgálták különböző mértékű oxigénellátottság mellett. Azt tapasztalták, hogy a TAN és a NO₃-N értékek aerob körülmények között szignifikánsan magasabbak voltak, mind a reszuszpenziós, mind pedig az aerob-anaerob kezelések értékeinél. Avnimelech és mtsai. (1992) henger formájú PVC kádakban halastavakat szimulálva vizsgálták a nitrogén és a szerves anyagok átalakulását levegőztetés és keverés hatására. A szerves nitrogénformák tekintetében hasonló eredményeket írtak le, mint az általam tapasztaltak. Zhu és mtsai. (2020) az időszakos levschrader és egőztetés hatását vizsgálták a vízoszlopban és az üledékben, melynek során leírták, hogy a vízoszlopban a TAN értékek csökkenésével az NO₃-N értékek megnövekedtek. Seo és Boyd (2001) csatornaharcsa nevelő tavak aljzatának a kezelését követően vizsgálták a tavak vízminőségét és azt figyelték meg, hogy a kezelés nélküli tavakból származó vízkémiai paraméterek rosszabbak voltak, mint a kezelt tavak értékei.

5.3.2. Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények

A 13. táblázatban láthatóak a kísérlet kezdetén az üvegekbe helyezett üledék induló eredményei, melyhez a kísérlet befejezését követően megvizsgált üledékek eredményeit hasonlítottam. Az üledék szárazanyag-tartalmának adatai az induló minta adataihoz képest minden kezelésnél csökkentek. A legnagyobb arányú csökkenést (22 %) a LNaB kezelésnél tapasztaltam. A többi kezelés esetében a változás mértéke 12-18 % között volt. A KN adatokat vizsgálva azt figyeltem meg, hogy az üledékben a KN mennyisége növekedett. A KN mennyisége a B kezelésnél közel a duplájára nőtt (192 %). A levegőztetés (L), levegőztetés+Na-perkarbonát (LNa) és keverés (K) kezeléseknél ez a változás 139-156 % közötti volt. A B csoportnál, az üledékben a megnövekedett KN mennyisége a megemelkedett TAN

tartalommal és a heterotróf biomasszával állhat összefüggésben. Az üledék foszfor-tartalma, akár csak a szárazanyag-tartalom, a kísérletben szereplő összes csoportnál lecsökkent a kísérlet végére. A csökkenés mértékében (25-30 %) a csoportok között jelentős különbséget nem találtam.

13. táblázat Az üledék szárazanyag, Kjeldahl-N, foszfortartalma a kísérlet kezdetén és végén az egyes kezelésekre vonatkozóan (átlag±szórás)

	Szárazanyag	Kjeldahl-nitrogén	P ¹⁰
	m/m%	mg/kg sz.a.	mg/kg sz.a.
induló minta	52,2	1450	1480
KO ¹	46±1,4	2033,3±308,9	1030±20
KE ²	43,78±3,2	3710±246,4	1060±26,5
Na ³	45,9±1,1	3203,3±279,3	1026,7±20,8
B ⁴	44,4±1,8	4233,3±1333,2	1050±36,1
NaB ⁵	43,9±1,3	2953,3±1295,1	1083,3±51,3
L ⁶	43,8±1,6	3606,7±424,4	1030±10
LNa ⁷	42,9±1,1	3460±492,4	1026,7±15,3
LB ⁸	43,5±2,6	2923,3±447,4	1076,7±50,3
LNaB ⁹	40,9±4	2890±85,4	1110±50

¹ kontroll; ² keverés; ³ Na-perkarbonát; ⁴ baktérium; ⁵Na-perkarbonát+baktérium; ⁶ levegőztetés; ⁷ levegőztetés+Na-perkarbonát; ⁸ levegőztetés+baktérium; ⁹ levegőztetés+Na-perkarbonát+baktérium; ¹⁰ foszfor

Jescovitch és mtsai. (2017) a mechanikai levegőztetés hatását vizsgálták osztott tavi rendszeren, amely során vizsgálatomhoz hasonlóan azt tapasztalták, hogy foszfor tartalom csökkent az üledékben. Seo és Boyd (2001) csatornaharcsa nevelő tavak üledékét vizsgálva, azt figyelték meg, hogy az üledék P tartalma a kontroll és a Na-nitrát kiegészítésű kezelésnél csökkent, a csak tárcsázott kezeléssel szemben.

5.4. Halliszt helyettesítése szójaliszttel és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában

5.4.1. A teljes test kémiai összetétele

A kísérlet során felhasznált takarmányok eltérő SM és PAP szintjeinek a harcsa testösszetételére gyakorolt hatását a 14. táblázat mutatja be. A teljes test elemzése kimutatta, hogy akár szójaliszttel, akár feldolgozott állati fehérjével történő halliszt helyettesítés esetén az egész testben szignifikánsan ($p < 0,05$) megnövekedett a nedvességtartalom, míg szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkent a nyersfehérje-tartalom. Az SM30 és SM60 takarmánnyal etetett halak esetében a teljes test nedvesség- és nyersfehérje-tartalma magasabb ($p < 0,05$) volt, mint az SM100 takarmánnyal etetett halaknál. Hasonlóképpen a PAP30 és PAP60 takarmányokkal kezelt halak teljes testének nyersfehérje-tartalma magasabb ($p < 0,05$) volt, mint a PAP100 takarmányt fogyasztó halaknál. A halliszt szójaliszttel történő helyettesítése szignifikánsan csökkentette ($p < 0,05$) a teljes test nyerszsír-tartalmát, 60 %-os helyettesítési szintig. A nyerszsír-tartalom a 100 %-os helyettesítésnél szignifikánsan növekedett ($p < 0,05$) a kontroll csoporthoz képest. A teljes test nyerszsír-tartalma hasonló volt a kontroll csoport és a PAP60 kezelés esetében. Azonban ezek az értékek alacsonyabbak ($p < 0,05$) voltak, mint a PAP30 és a PAP100 kezelésnél. A teljes test hamutartalmában nem találtam szignifikáns különbséget a különböző kezelések között.

14. táblázat Teljes test kémiai összetétel (g/kg) (átlag±szórás)

Kezelések	Nedvesség	Nyers fehérje	Nyers zsír	Nyers hamu
FM (kontroll) ¹	729,3±0,1 ^c	157,8±1,5 ^a	53,4±3,6 ^b	23,7±0,4
SM30 ²	774,2±1,5 ^a	143,9±1,1 ^a	40,2±1,7 ^c	20,4±0,1
SM60 ³	782,7±1,8 ^a	142,5±5,1 ^a	32,9±2,0 ^c	23,1±0,4
SM100 ⁴	752,8±1,7 ^b	137,6±5,2 ^b	72,6±9,1 ^a	19,6±0,8
PAP30 ⁵	749,6±0,6 ^b	141,7±3,4 ^a	75,5±0,3 ^a	20,6±0,8
PAP60 ⁶	769,6±0,6 ^{ab}	147,7±3,2 ^a	55,8±0,5 ^b	22,1±0,3
PAP100 ⁷	764,3±0,7 ^{ab}	137,0±0,8 ^b	63,5±0,9 ^{ab}	20,9±0,2

¹ halliszt; ² szójaliszt 30%; ³ szójaliszt 60%; ⁴ szójaliszt 100%; ⁵ feldolgozott állati fehérje 30%; ⁶ feldolgozott állati fehérje 60%; ⁷ feldolgozott állati fehérje 100%

Psófakis és mtsai. (2020) aranydurbincsel végzett vizsgálataik során nem találtak szignifikáns különbséget a teljes test nyers fehérje tartalmában a halliszt 50 %-os helyettesítések, azonban a teljes kiváltás esetén a nyers fehérje tartalom jelentősen megnövekedett, ellentétben az általam tapasztaltakkal. Toko és mtsai. (2008), valamint Hoffman és mtsai. (1997) afrikai harcsával végzett vizsgálataik során a test nyers fehérje tartalmában nem találtak különbséget, míg a nyers zsír szignifikánsan csökkent a halliszt SM-mel történő 60 %-os helyettesítések. A halliszt hús- és csontliszttel (MBM) történő helyettesítések aranydurbincsnál, 75 %-os MBM aránynál a nyers fehérje tartalomban nem találtak különbséget, míg 50 %-os MBM arány felett a nyers zsirtartalom jelentősen lecsökkent (Moutinho és mtsai., 2017).

5.4.2. Növekedési teljesítmény és tápanyag felhasználás

Az etetési kísérlet során egyik kezelésben sem regisztráltunk elhullást. A kísérleti állomány kihelyezésekor az összes csoportnak megközelítőleg azonos volt a tömege, 350,94±5,24 g (átlag ± szórás, n=21 csoport). A csoportok kezdő tömegében nem volt szignifikáns különbség. A kísérletben az SM vagy a PAP szintje szignifikánsan ($p<0,05$) befolyásolta a növekedési teljesítményt a kontroll takarmányhoz képest. Nem találtam szignifikáns különbséget a testtömeg-növekedésben (%) és az MGR-ben azon csoportok között, ahol az FM-t 30 vagy 60 %-ban helyettesítettem SM-tel vagy PAP-pal

(13. táblázat). Azoknál a kezeléseknél, ahol a hallisztet 100 %-ban helyettesítettem szójaliszttal vagy feldolgozott állati fehérjével, a testtömeg-növekedés (%) és az MGR adatai hasonlóak voltak ($p > 0,05$) és szignifikánsan alacsonyabbak ($p < 0,05$), mint a többi kezelésnél.

A halliszt szójaliszttal vagy feldolgozott állati fehérjével történő teljes helyettesítésénél szignifikánsan magasabb ($p < 0,05$) takarmányértékesítést, valamint szignifikánsan alacsonyabb ($p < 0,05$) fehérje hatékonysági arányt figyeltem meg. Azonban szignifikáns különbséget nem tapasztaltam a halliszt 60 %-os helyettesítéséig. A helyettesítési szint emelkedésével a fehérje termelési érték csökkent ($p < 0,05$). A legalacsonyabb értékeket az SM100 és a PAP100 csoportoknál kaptam (15. táblázat).

Más kutatócsoportok is hasonló eredményeket kaptak néhány korábbi vizsgálat során. Lin és Luo (2011) úgy találta, hogy amikor a halliszt 100 %-át helyettesítette az SM, a testtömeg, a relatív tömegnövekedés aránya és az SGR alacsonyabb volt. Ugyanakkor a 75 %-os vagy ennél kisebb helyettesítési szintnél nem figyeltek meg különbségeket. Gallagher (1994) szintén azt találta, hogy a halliszt 75 %-át helyettesítheti az SM a hibrid csíkos sügér takarmányában. Hasonló eredményeket írtak le számos édesvízi halfaj esetében is, pl. ponty (Viola és mtsai., 1982), kék harcsa (Webster és mtsai, 1992a), nilusi tilápia (El-Saidy és Gaber, 2002). A halliszt feldolgozott állati fehérjével történő helyettesítésével kapcsolatban Nengas és mtsai. (1999) a halliszt által biztosított fehérje 50 %-át tudták kicserélni baromfi melléktermék liszttel (BPM) az aranydurbincs takarmányában a növekedési teljesítmény csökkenése nélkül; azonban a 75 %-os helyettesítési szintnél e paraméterekben csökkenést figyeltek meg. Szintén aranydurbinccsal végzett vizsgálatainál Psofaki és mtsai. (2020) már 50 %-os helyettesítési aránynál a növekedés csökkenését tapasztalták. Más halfajoknál is hasonló negatív hatásokat figyeltek meg, amikor a halliszt több, mint 50 %-át cserélték ki BPM-mel, pl. fekete tengeri rombuszhal (*Scophthalmus maeoticus*) (Yigit és mtsai., 2006),

európai angolna (Gallagher és Degani, 1988), királylazac (Fowler, 1991). Hatlen és mtsai. (2015) megállapították, hogy az állati melléktermékek a fehérje és a zsír 50 %-át fedezhetik az alkalmazott lazactápokban anélkül, hogy negatív hatást gyakorolnának a növekedésre.

15. táblázat A hallisztet különböző szinteken helyettesítő szójalisztet és feldolgozott állati fehérjét tartalmazó takarmányokkal etetett harcsa növekedési teljesítménye (átlag ± szórás)

Kezelések	Induló testtömeg (g)	Befejező testtömeg (g)	Testtömeg gyarapodás (g)	Testtömeg növekedés (%)	MGR ⁸	FCR (g/g) ⁹	PER (g/g) ¹⁰	PPV (%) ¹¹
FM (kontroll) ¹	351,03±0,09	935,12±7,10 ^a	584,08±7,10 ^a	166,39±2,02 ^a	6,50±0,10 ^a	1,31±0,04 ^b	1,78±0,05 ^a	30,02±1,88 ^a
SM30 ²	350,88±0,08	899,83±10,88 ^a	548,93±10,93 ^a	156,44±3,14 ^a	5,98±0,15 ^a	1,32±0,10 ^b	1,77±0,11 ^a	25,99±2,46 ^a
SM60 ³	351,31±0,05	903,68±18,61 ^a	552,37±18,61 ^a	157,23±8,14 ^a	6,04±0,21 ^a	1,32±0,11 ^b	1,75±0,12 ^a	25,20±2,31 ^a
SM100 ⁴	351,24±0,09	757,07±9,65 ^c	405,83±9,66 ^c	115,54±2,75 ^c	4,03±0,12 ^c	1,77±0,07 ^a	1,32±0,10 ^b	17,88±1,41 ^b
PAP30 ⁵	350,97±0,11	882,64±4,17 ^a	531,66±4,17 ^a	151,48±1,19 ^a	5,73±0,06 ^a	1,36±0,05 ^b	1,72±0,06 ^a	24,55±1,35 ^a
PAP60 ⁶	350,82±0,09	862,71±15,26 ^{ab}	511,89±15,69 ^{ab}	145,91±7,29 ^{ab}	5,46±0,16 ^{ab}	1,39±0,09 ^b	1,61±0,14 ^a	24,64±2,19 ^a
PAP100 ⁷	351,03±0,13	749,37±13,29 ^c	398,33±13,06 ^c	113,47±3,64 ^c	3,94±0,16 ^c	1,86±0,11 ^a	1,19±0,08 ^b	16,04±0,85 ^b

¹ halliszt; ² szójaliszt 30%; ³ szójaliszt 60%; ⁴ szójaliszt 100%; ⁵ feldolgozott állati fehérje 30%; ⁶ feldolgozott állati fehérje 60%; ⁷ feldolgozott állati fehérje 100%; ⁸ metabolikus növekedési sebesség; ⁹ takarmányértékesítés; ¹⁰ fehérje hasznosulási arány; ¹¹ fehérje termelési érték

A 16. táblázat a kísérleti takarmányok esszenciális aminosav (EAA) összetételét mutatja. Az EAA mennyiségének a csökkenése az alkalmazott takarmányokban az SM és a PAP 60 %-os részarányánál egyáltalán nem vagy alig következett be. Mind az SM, mind a PAP ennél magasabb arányban történő alkalmazásakor az EAA mennyisége jelentősen csökkent a kontroll takarmányhoz képest. A táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a lizin- és treonin-tartalom (Lys, Thr) csökkent a takarmányokban az SM és a PAP arányának a növekedésével. A metionin-tartalom (Met) csupán azokban a takarmányokban csökkent, amelyeknél az SM kiegészítést alkalmaztam. Ez arra utal, hogy a növekedés csökkenése összefüggésben van az esszenciális aminosav-hiánnyal, különösen a lizin és treonin esetében a 60 %-nál magasabb helyettesítési szintnél.

16. táblázat A kísérleti takarmányok esszenciális aminosav összetétele

	FM ¹	SM30 ²	SM60 ³	SM100 ⁴	PAP30 ⁵	PAP60 ⁶	PAP100 ⁷
Lizin	63,7	70,1	61,1	43,4	60,8	54,2	45,8
Metionin	19,4	16,3	18,5	14,0	18,9	25,0	20,8
Arginin	38,4	53,5	45,0	38,5	43,9	38,8	39,9
Hisztidin	51,3	40,6	36,9	36,4	56,1	65,3	50,9
Treonin	40,3	40,9	37,4	28,9	39,0	35,9	30,1
Valin	69,1	53,9	57,9	49,7	57,3	63,8	59,6
Leucin	77,5	77,3	89,1	74,4	67,3	76,9	70,2
Izoleucin	34,4	39,9	36,7	33,6	36,5	34,1	29,5
Fenilalanin	47,8	52,3	52,4	46,9	51,4	48,4	45,4
∑EAA ⁸	441,9	444,9	434,9	365,8	431,2	442,5	392,2

¹ halliszt; ² szójaliszt 30%; ³ szójaliszt 60%; ⁴ szójaliszt 100%; ⁵ feldolgozott állati fehérje 30%; ⁶ feldolgozott állati fehérje 60%; ⁷ feldolgozott állati fehérje 100%; ⁸ összes esszenciális aminosav mennyisége

Az általam kapott eredményekhez hasonlóan Gu és mtsai. (2016) azt figyelték meg nagy rombuszhallal végzett kísérletükben, hogy a kísérleti állomány növekedése egyre kisebb volt az SM részarányának növekedésével. Az általuk alkalmazott takarmányokban a Lys, Thr és Met-tartalom szintén csökkent az SM növekvő arányával. Kokou és mtsai. (2012) bár kísérletükben az aminosav-tartalmat nem vizsgálták, azt az eredményt kapták, hogy az

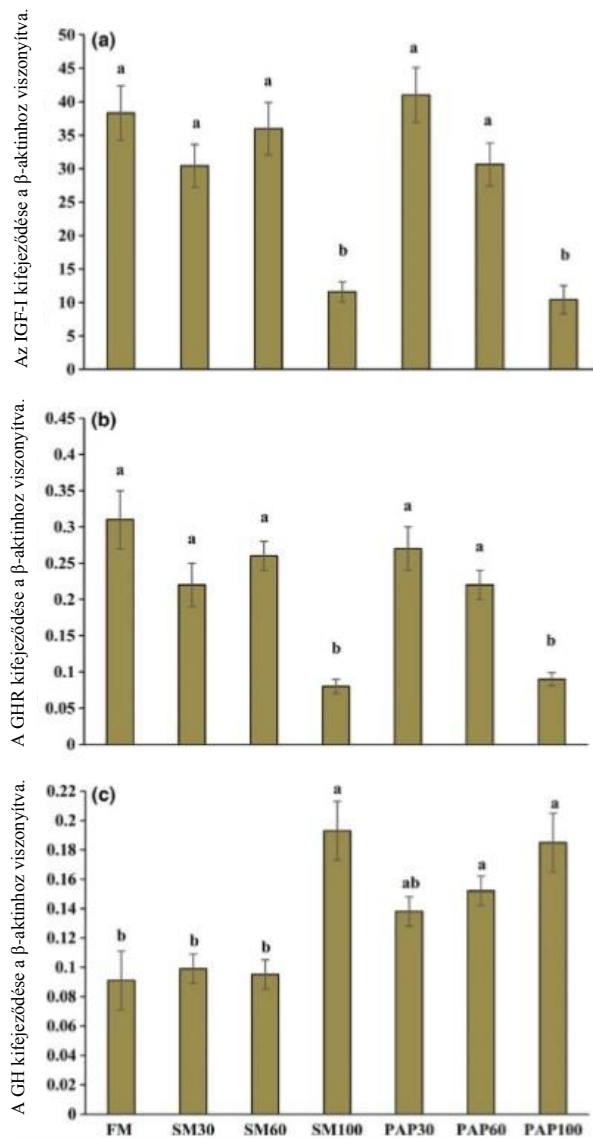
aranydurbincs növekedése az SM arányának növekedésével kisebb volt, feltételezhetően az EAA nem megfelelő mennyiségének következtében.

5.4.3. A növekedéssel kapcsolatos gének expressziója.

A máj IGF-I mRNS expressziós szintje szignifikánsan alulszabályozott volt az SM100 és PAP100 takarmányokkal etetett halak esetében összehasonlítva a kontroll és a többi kísérleti csoporttal (18a. ábra). A kontroll csoporthoz viszonyítva 3,31-szeres ($p < 0,05$) és 3,67-szeres ($p < 0,05$) csökkenést figyeltem meg az IGF-I átírási szintjében az SM100 és a PAP100 kezeléseknél.

A GHR mRNS szintjének szignifikáns csökkenését figyeltem meg az SM100 és a PAP100 kezeléseknél, 3,87-szer és 3,44-szer alacsonyabb expresszióval, mint a kontroll csoportnál (18b. ábra). A GHR átírási szintjének csökkenése szintén ebben a két csoportban (SM100 és PAP100) volt szignifikánsan alacsonyabb a többi kezeléshez képest. Hasonlóképpen, az SM30 és a PAP60 kezeléseknél a GHR expressziós szintje jelentősen alulszabályozott volt a kontrollhoz képest; mindazonáltal ezek a csökkenések szignifikánsan magasabbak maradtak mind az SM100, mind a PAP100 kezeléseketében.

A kezeléseket vizsgálva a GH gén expressziós mintázata ellentétes volt az IGF-fel és a GHR-rel (18c. ábra). Az IGF-fel és a GHR-rel ellentétben az SM100 és a PAP100 kezeléseknél a GH mRNS átírási szintje szignifikánsan megemelkedett, és 2,12-szer, valamint 2,03-szor magasabb volt a kontroll csoporthoz képest. Ehhez a két kezeléshez hasonlóan a PAP60 kezelés esetében a GH átírási szintje szignifikánsan magasabb volt, mint a kontroll kezelése.



18. ábra Az IGF-I (a), GHR (b) és GH (c) gének kifejeződése a β -aktinhoz viszonyítva

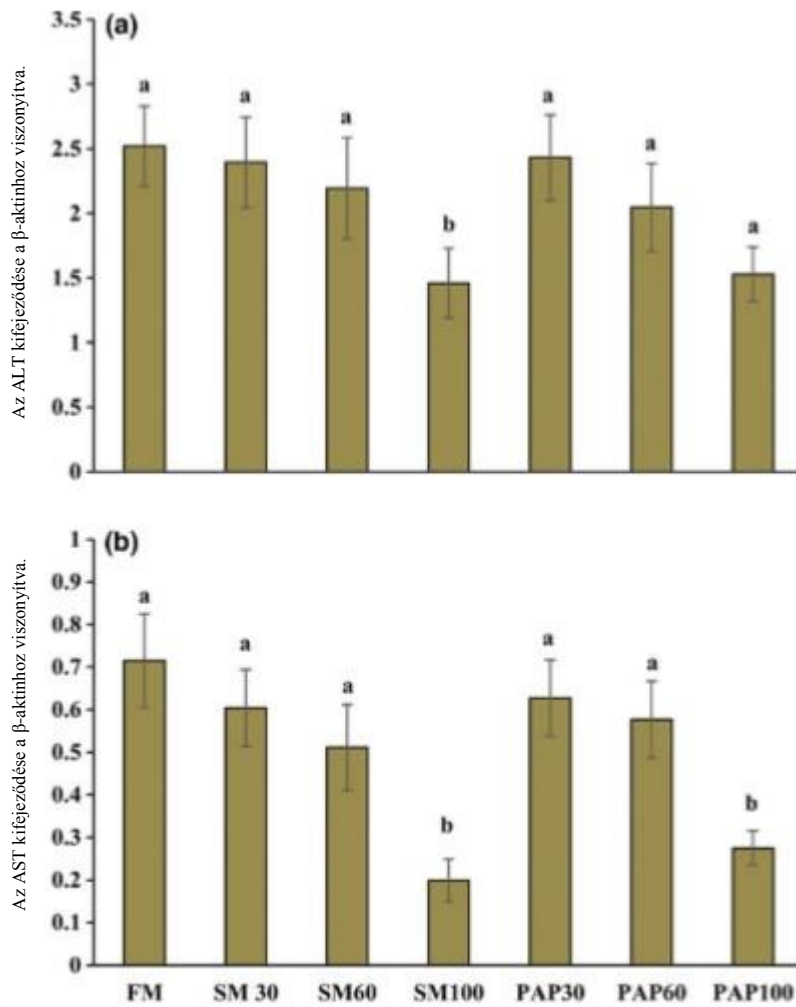
Jelen tanulmányban a GH és IGF-I mRNS-ek ellentétes reakciója megegyezik a nyúlhal-féléknél (*Siganus guttatus*), a fűrészes sügérnél és a pontynál tapasztaltakkal (Ayson és mtsai., 2007; Pedroso és mtsai., 2006; Sinha és mtsai., 2012). Espe és mtsai. (2016) megfigyelték az IGF-I csökkent gén expresszióját az alacsony metionin-tartalmú takarmányokkal etetett atlanti lazacban, ami arra enged következtetni, hogy a takarmányok megfelelő aminosav ellátása hatással van az IGF-I gén expressziójára.

5.4.4. A fehérje metabolizmushoz kapcsolódó gének kifejeződése.

Különböző kísérleti körülmények között az ALT és AST mRNS kifejeződési szintje ugyanazt a mintát követi, mint az IGF-I expressziós profil; a szint szignifikánsan csökkent az SM100-ban és a PAP100-ban az összes kezeléshez viszonyítva, beleértve a kontrollt is (19a. ábra). A kontroll szinthez viszonyítva az ALT kifejeződésének relatív csökkenése az SM100-ban és a PAP100-ban 1,73-szoros ($p < 0,01$) és 1,65-szeres ($p < 0,05$) volt. Hasonlóképpen, az SM100 és a PAP100 3,59-szeres ($p < 0,05$) és 2,60-szoros ($p < 0,05$) csökkenést mutatott az AST kifejeződésben, összehasonlítva a kontroll expressziós szinttel.

5.4.5. A fehérje metabolizmushoz kapcsolódó enzimek aktivitása.

Az ALT és AST enzimek esetében az aktivitási válaszok hasonlóak voltak az mRNS expressziós adatokhoz (19b. ábra). A harcsa májában az ALT és AST aktivitását az SM és a PAP szintje jelentősen megváltoztatta. Az SM és a PAP szintjének növelésével az enzimek aktivitása csökkent. A 30 %-os helyettesítési szintnél nem találtam szignifikáns különbséget a csoportok (SM30, PAP30) és a kontroll kezelés között. Legalább 60 %-os helyettesítési szintnél a két enzim aktivitása alacsonyabb ($p < 0,05$) volt, mint a kontroll csoportban.



19. ábra Az ALT (a) és AST (b) gének kifejeződése a β -aktinhoz viszonyítva

6. KÖVETKEZTETÉSEK

Az 1. kísérlet során a halakkal feletetett takarmányokban az eltérő fehérjeforrások hatással voltak a harcsa növekedési paramétereire. Azon tápok esetében, amelyek kizárólag növényi fehérjéket tartalmaztak a testtömeg-növekedés, az SGR, az FCR, valamint PER szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a többi csoportban. Ezzel szemben a hal- és húslisztet tartalmazó tápokkal etetett csoportok között a testtömeg-növekedés, az SGR, az FCR, valamint PER mutatókban nem találtam szignifikáns különbséget. Az eredmények azt mutatják, hogy a húsliszt, kiegészítve szójaliszttal és kukoricával alternatív fehérjeforrás lehet a harcsa takarmányozásában a növekedés jelentős csökkenése nélkül. A kezelések vízmintái között nem találtam szignifikáns különbséget. A vízkémiai paraméterek maximális értékei egyik kezelés esetében sem lépték át a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 2. számú melléklete által meghatározott határértékeket. Ebben nagy szerepe lehetett az egyes limnokorallokban kihelyezett alacsony telepítési sűrűségű ($0,12 \text{ kg/m}^3$) állományoknak. Az üledék vizsgálata során a minták szárazanyagtartalma minden csoport esetében emelkedett, amihez hozzájárult a kísérlet előrehaladtával kijuttatott takarmány növekvő mennyisége. A minták N-tartalma minimálisan változott, ezzel szemben a foszfor mennyisége jelentősen csökkent minden csoportnál.

Az eltérő tartástechnológiában (M; I-E) nevelt állományok növekedési paramétereiben nem találtam szignifikáns különbséget. A két csoport FCR és SGR értékei azonosak voltak. Mind a takarmányértékesítés, mind pedig a speciális növekedési arány értékei javíthatóak az M csoportnál a helyes etetési gyakoriság, valamint az etetés hosszának a megfelelő megválasztásával. Az I-E csoportnál a ketrecekben a telepítési sűrűség módosításával mérsékelhető a halak általi pazarlás. Az I-E kezeléskor a ketrecen kívüli víztérbe kihelyezett pontyállomány sikeresen felnevelhető kiegészítő takarmányozás nélkül,

kihasználva a ketrecben lévő halak által fel nem használt tápok hasznosítását. A tenyészidőszak végén a ponty, mint “melléktermék” plusz bevételi forrást jelenthet a gazdálkodók számára. A vízkémiai paraméterekben a két csoport között szignifikáns különbségeket találtam. Az összes lebegőanyag mind a két kezelés esetében meghaladta a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 2. számú melléklete által meghatározott határértékeket. A tavak kis mérete, a kihelyezett állományok nagy sűrűsége (harcsa 2857 kg/ha; ponty 714 kg/ha), illetve a lapátkerékes levegőztetés hozzájárult a vízminták magas lebegőanyag-koncentrációjához.

A különböző túkezelési eljárások közül azoknál a kezeléseknél, ahol nem alkalmaztunk levegőztetést a DO szint 3 mg/l, illetve 1 mg/l-nél kisebb volt, ami tartós esetben letális lehet a legtöbb gazdasági halfajnál. Ezeknek az alacsony szinteknek az oka feltételezhetően a természetes vizekben előforduló algapopuláció hiánya lehet. A kezeléseik hatására a vízkémiai paraméterekben jelentős különbségek alakultak ki. Az ammónium-N értékek a B és az NaB csoportoknál voltak kimagaslóak, amihez hozzájárult a vizsgálat során a víztérbe juttatott baktérium kultúra. Ezen értékek az LB és az LNaB kezeléseknél bár magasabbak voltak, az oxigéndús környezetben lejátszódó nitrifikációnak köszönhetően mégis jelentősen elmaradtak a B és NaB kezeléseik értékeitől. A nitrifikáció során végbemenő kémiai folyamatoknak köszönhetően az LB és LNaB kezeléseknél az $\text{NO}_3\text{-N}$ értékek emelkedtek ki. A $\text{PO}_4\text{-P}$ értékek szintén ennél a négy csoportnál voltak magasabbak, amely a bakteriális tevékenységnek volt köszönhető. A kezeléseik üledék mintáiban mind a szárazanyag-tartalom, mind pedig a foszfor-tartalom csökkent, ami az üledékben lévő élő szervezeteknek volt köszönhető. Ezzel szemben a KN értékek az összes kezelésnél növekedtek, ami a megemelkedett ammónium-N tartalommal és a heterotróf biomasszával állhat összefüggésben.

A takarmány SM és PAP szintje szignifikánsan befolyásolta a harcsa növekedését. A helyettesítés szintjének növekedésével a halak növekedése és

a tápanyag-felhasználás jelentősen csökkent. Az FM több, mint 60 %-át helyettesítve a testtömeg-növekedés, az FCR és a PER jelentősen alacsonyabb volt, mint a többi csoportban. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a halliszt 60 %-át helyettesítheti az SM és a PAP anélkül, hogy jelentősen csökkenne a növekedés és a tápanyag-felhasználás. Az esszenciális aminosav-hiány az egyik fő limitáló tényezője annak, hogy alternatív fehérjeforrásokat alkalmazzunk a halliszt kiváltása érdekében. A takarmányok aminosav összetételének vizsgálata kimutatta, hogy az összes esszenciális aminosav (Σ EAA) mennyisége csökken az SM és PAP szintjének a növekedésével, ami pozitívan korrelál a növekedéssel. A FM 100 %-os helyettesítése szignifikánsan csökkenti az Σ EAA mennyiségét az alkalmazott takarmányban. A takarmány lizin- és treonin-tartalma csökkent az SM és a PAP szintjének a növekedésével. A metionin-tartalom is csökkent, azonban csak azokban a tápokban, amelyeknél SM kiegészítést alkalmaztunk. Ez arra utal, hogy a növekedés lassulása összefüggésben van az esszenciális aminosav-hiánnyal, különösen a lizin és treonin esetében a 60 %-nál magasabb helyettesítési szintnél. A csökkent növekedésnek és tápanyag-felhasználásnak a másik oka az emészthetetlen rost magas aránya az SM₁₀₀ és PAP₁₀₀ takarmányban, amely csökkenti az emészthető energiát. Dolgozatomban a növekedést szabályozó hormonok és receptorok, például GH, IGF-I és GHR gén expressziós mintázatait is vizsgáltam. Az eredmények azt mutatják, hogy a GH-máj tengelyének a kifejeződésére hatással voltak a takarmányokban eszközölt változtatások. A takarmányok esszenciális aminosav egyensúly hiánya mellett az SM₁₀₀ és PAP₁₀₀ csoportoknál a növekedési sebesség leállása annak tulajdonítható, hogy a GH kötőképessége csökken a máj GH receptoraihoz a GHR mRNS szintjének csökkenésével együtt. Ez az IGF-I szintézis csökkenéséhez vezet, mivel a GHR-től csökkent jel érkezik. Következésképpen az IGF-I már nem képes elvégezni a GH kiválasztással kapcsolatos negatív visszacsatolást, ami kiváltja a GH-szint megemelkedését,

ami megfigyelhető volt az SM₁₀₀ és PAP₁₀₀ csoportoknál megemelkedett GH átírási szinttel. Úgy tűnik, hogy GH/IGF-I tengely génjeinek megemelkedett mRNS átírási szintje a kontroll csoportban felelős lehet a nagyobb növekedési sebességért. Az ALT és AST enzimek aktivitása szoros összefüggést mutat a fehérje hasznosítással, mRNS kifejeződési szintjük és aktivitásuk mind a SM, mind a PAP szintjének emelkedésével csökkent. A legkisebb aktivitást a 100 %-os helyettesítési szintnél tapasztaltam. Ez azt jelzi, hogy a takarmányfehérje hasznosítása csökkent és a máj bizonyos mértékben károsodott.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A harcsa termelési mutatóit a húsliszt alkalmazása a halliszt kiváltására nem befolyásolja hátrányosan. A halliszt növényi fehérjékkel történő helyettesítése a kukorica esetében eredményez hasonló értékeket, mint a húslisztes kezelés. A harcsa takarmányozásában használt tápok halliszt tartalmának akár 60 %-a is helyettesíthető szójalissztel vagy feldolgozott állati fehérjével a termelési mutatók jelentős romlása nélkül.
2. A vizsgált eltérő tartástechnológiák, úgymint monokultúra és intenzív-extenzív termelési rendszer a harcsa termelési mutatóit nem befolyásolja, a 2850 kg/ha telepítési sűrűség a víz és az üledék minőségére nincsen negatív hatással. Bár a termelési mutatókban nincs különbség az eltérő technológiák alkalmazása esetén, az I-E kezelésnél a tóban megtermelt ponty értékesítéséből többlet jövedelem származik. A kombinált rendszerben a haltermelés tápanyag-transzformációs hatásfoka a járulékos extenzív halhozammal együtt meghaladja a monokultúrás tavakét.
3. A baktérium kiegészítés levegőztetéssel való együttes alkalmazása jelentősen segíti az üledék szervesanyag-tartalmának lebomlását. A Kjeldahl-N mennyisége minden kezelés hatására nő (40,2-191,9 %), különös tekintettel a baktérium készítmény alkalmazása esetén (191,9 %). A Na-perkarbonát kiegészítés önmagában, vagy levegőztetéssel kombinálva nem gyakorol lényegi hatást a vízkémiai paraméterekre.
4. A lizin- és treonin-tartalom csökken a takarmányokban a szójaliszt és a feldolgozott állati fehérje arányának a növekedésével, míg a metionin-tartalom csak a szójaliszt kiegészítést tartalmazó takarmányokban csökken. A

60 %-os helyettesítés szójaliszt esetében kedvezőbb, a feldolgozott állati fehérje esetében a kontrollal megegyező nyerszsír-tartalmat eredményez.

5. A máj IGF-I és a GHR expressziós szintje szignifikánsan alacsonyabb a 100 %-os helyettesítési csoportokban, miközben a GH gén átírási szintje megemelkedik, valamint az ALT és AST mRNS kifejeződési szintje is szignifikánsan csökken. A harcsa májában az ALT és AST aktivitását a szójaliszt és a feldolgozott állati fehérje szintje jelentősen megváltoztatja, a szintek növelésével az enzimek aktivitása csökken. 60 %-os helyettesítési szintnél az enzimek aktivitása alacsonyabb, mint a kontroll csoportban.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Hazánkban az átlagos halfogyasztás 4,8 kg/fő/év, ami jelentősen elmarad az Európai Unió átlagától (25,1 kg). A fogyasztói piacot folyamatosan jó minőségű áruval ellátni intenzív technológiák alkalmazásával lehetséges. Az intenzív rendszerekben a magas költségek miatt olyan fajjal érdemes dolgozni, amelynek a piaci ára is magas, mint pl. a harcsa. Ez a faj teljes mértékben megfelel mind a technológiák, mind pedig a fogyasztói piacok által támasztott követelményeknek, mint pl. az ár, ízletesség és szálkasság. Annak ellenére, hogy az intenzív rendszerekben hatékonyan lehet élelmiszer-alapanyagot előállítani, ez súlyos környezeti problémákat okozhat egyrészt a halak által fel nem használt tápanyagok tavakban való felhalmozódásával, másrészt a halliszt iránti egyre növekvő igényével.

Kísérleteim elvégzésével célom volt megvizsgálni a harcsa faj takarmányozásában a halliszt kiváltásának a lehetőségét növényi és állati eredetű fehérjével, valamint ezeknek a fehérjeforrásoknak a hatását a termelésre, a víz és az üledék kémiai összetételére. Vizsgálni kívántam továbbá az eltérő tartástechnológiák hatását a faj termelésére, illetve különböző kezelések hatását a víz és az üledék minőségére.

8.1. Különböző fehérjeforrású takarmányok hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A 97 napos kísérlet során hatféle, közel azonos kémiai összetételű, de eltérő fehérjeforrású (állati, növényi) takarmányokat etettem harcsával. A legjobb eredményeket a hal- és húslisztet tartalmazó tápokkal értem el. A harcsa takarmányozásában a húsliszt megfelelő alternatíva lehet a halliszt kiváltására. A kezelések a víz és az üledék minőségét nem befolyásolták negatívan.

8.2. Eltérő típusú tartástechnológia (monokultúra (M) és intenzív-extenzív tavi rendszer (I-E)) hatása a harcsa termelési paramétereire, valamint a víz és az üledék minőségére

A 154 napos kísérlet során két eltérő tartástechnológia (monokultúra, intenzív-extenzív) hatását vizsgáltam a harcsa termelési paramétereire, valamint a tavak víz és üledék minőségére. A kétféle tartástechnológia nem befolyásolta a termelési paramétereket. Mind a két csoportnál az SGR és az FCR értékek elmaradtak a várt értékektől. Az optimális telepítési sűrűség, valamint a takarmányok kijuttatásának helyes megválasztásával ezek az értékek javíthatóak. Az I-E kezelésnél az extenzív térbe kihelyezett pontyok értékesítése extra bevételt jelenthet a termelő számára. A víz kémiai paraméterei közül a $\text{NO}_3\text{-N}$ és a $\text{PO}_4\text{-P}$ esetében tapasztaltam jelentős különbséget a kezelések között, azonban ezek az értékek nem toxikusak a halakra nézve. Az üledékminták vizsgálata azt mutatta, hogy az I-E kezelésnél nem történt tápanyag felhalmozódás a ponty üledéket felkavaró tevékenységének köszönhetően.

8.3. Különböző tókezelési eljárások hatása a víz és az üledék kémiai paramétereire

Az 57 napos vizsgálat során 27 db 5 literes üveget használtam. Az üvegekbe magas szervesanyag-tartalmú üledéket helyeztem, mindegyikbe 600 g-ot. Az üvegeket 3,3 liter tóvízzel töltöttem fel. A vízminták adatait elemezve, azon csoportoknál, amelyeknél biológiai kezelést alkalmaztam a TAN értékek jelentősen különböztek a többi csoporttól. Ahol a biológiai kezelést levegőztetéssel egészítettem ki, bár a TAN értékek magasabbak voltak a többi csoport adatainál, a halak számára kevésbé toxikus $\text{NO}_3\text{-N}$ értékek voltak

kimagaslóak, köszönhetően az oxigéndús környezetben lejátszódó nitrifikáció folyamatának. Az üledékmintákat vizsgálva kismértékű foszfor csökkenést tapasztaltam. Ezzel szemben a minták Kjeldahl-N tartalma a kontroll csoportot kivéve legalább a kétszeresére nőtt.

8.4. Halliszt helyettesítése szójaliszttal és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában

A 80 napos vizsgálat során hétféle kísérleti tápot ettettem harcsával. A tápok fehérje és energiatartalma azonos volt, azonban a halliszt tartalmát 30, 60 és 100 %-ban helyettesítettem SM és PAP felhasználásával. A teljes test nyersfehérje tartalma 60 %-os helyettesítési szintig nem tért el szignifikánsan a kontroll csoporttól. A növekedési teljesítményt vizsgálva megállapítható, hogy a különböző paraméterek, úgymint takarmányértékesítés, növekedési erély, testtömeggyarapodás, fehérje hasznosulási arány a kontroll csoporttól nem tér el szignifikánsan a halliszt 60 % helyettesítésekor. Mind az SM, mind a PAP ennél magasabb arányban történő alkalmazásakor az EAA mennyisége jelentősen csökkent a kontroll takarmányhoz képest. Ez arra utal, hogy a növekedés csökkenése összefüggésben van az esszenciális aminosav-hiánnyal, különösen a lizin és treonin esetében a 60 %-nál magasabb helyettesítési szintnél. A máj IGF-I mRNS expressziós szintje szignifikánsan alulszabályozott volt az SM100 és PAP100 kezeléseknél, összehasonlítva a kontroll és a többi csoporttal. A GHR mRNS szintjének szignifikáns csökkenését figyeltük meg az SM100 és a PAP100 kezeléseknél a kontroll csoporthoz képest. Az ALT és AST enzimek mRNS kifejeződési szintje hasonló a mintát követett, mint az IGF-I expressziós profil; a szint szignifikánsan csökkent az SM100-ban és a PAP100-ban az összes kezeléshez viszonyítva.

9. SUMMARY

Average fish consumption is 4.8 kg/capita/year in Hungary which is far below the European Union's average of 21,5 kg. Continuous supplementation of consumer market with high quality fish products is only possible with application of intensive technologies. Intensive systems are feasible for effective food production however they may cause serious environmental and ecological problems due to accumulation of not utilized feedstuff and excreted products in ponds as well as increasing the demand for fish meal. The main aims of my studies were to investigate the possibilities of fish meal replacement with plant and animal originated proteins in European catfish feeds and study the effects of these protein sources on the production traits and chemical composition of water and sediment. I also wanted to evaluate the effect of different rearing technologies on the production traits and influence of treatment methods on water quality and chemical composition of the sediment.

9.1. Effect of different protein sources in diets on production traits of European catfish and on water and sediment quality

European catfish were fed for 97 days with 6 diets formed to be isonitrogenous, but having different (plant or animal protein based) protein sources. Best results were achieved with fish- and meatmeal based diets. Meatmeal could be a good candidate to replace fishmeal in European catfish diets. None of the different treatments had negative effects on water and sediment quality.

9.2. Effect of different rearing technologies (monoculture and extensive-intensive combined system) on production traits of European catfish and on water and sediment quality

During a 154 days long trial effects of two different rearing technologies (monoculture and extensive-intensive combined system) were examined on production traits of European catfish and on water and sediment quality. Production traits were not affected by rearing technologies. SGR and FCR values were lower than expected in both groups. This results can be further improved by optimization of rearing density and feeding frequency. Common carp produced in extensive part of extensive-intensive combined system can result an extra income for fish farmers. In the case of water quality significant differences were found in $\text{NO}_3\text{-N}$ and $\text{PO}_4\text{-P}$ values, however their observed levels were not toxic for fish. Study of sediment samples proved that there was no nutrient accumulation in extensive-intensive combined system due to the bioturbation of common carp.

9.3 Effect of different pond treatment methods on water and sediment chemical traits

During the 57 days long experiment 27 jars of 5 l volume were used. In each jar 600 g of sediment with high dry matter content was placed. Jars were filled with 3.3 l pond water. In terms of water quality, TAN values significantly differed in biologically treated groups from the other treatments. However, in those treatments where biological treatment was complemented with aeration TAN values were higher than in other groups, less toxic $\text{NO}_3\text{-N}$ values were outstanding, due to the nitrification process in the oxygen rich environment. Analyzation of sediment showed slight decrease in phosphorus

content. The Kjeldahl-N content of samples increased two times higher, except of the control group.

9.4. Effect of fish meal replacement by different ratio of soybean meal and processed animal protein on the growth response and liver gene expression of European catfish

Seven different diets were fed during a 80 days long trial. Feeds were isonitrogenous and isoenergetic and were formulated by replacing 0 (control), 30%, 60% and 100% of FM with either SM or PAP. Crude protein content of the whole body was not significantly different from the control group up to 60% replacement level. Considering growth performance, it can be concluded that the different parameters such as feed conversion ratio, weight gain and protein efficiency ratio were not significantly different at or up to 60% substitution level. Substitution of 100% dietary FM with SM or PAP results in a significant decrease the sum of EAA in the diet. This suggests that the reduced growth was related to essential amino acids deficiencies, especially lysine and threonine at more than 60% substitution level. Liver IGF-I mRNA expression level was significantly downregulated in fish fed with SM100 and PAP100 compared to the control (FM) and to the other experimental groups. Significant reduction in GHR mRNA level was also seen in fish fed the diets with SM100 and PAP100 compared to the control group. The mRNA expression level of ALT and AST followed the pattern of the IGF-I expression profile; the level dropped significantly in SM100 and PAP100 relative to all treatments including the control.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet mondok **Dr. Hancz Csaba** professzor úrnak, aki, mint témavezetőm a PhD. képzés alatt irányította munkámat, hasznos tanácsaival segített disszertációm elkészítésében. Köszönettel tartozom **Dr. Gál Dénesnek**, aki, mint társ-témavezetőm a kísérletek tervezésében és azok kivitelezésében, továbbá a dolgozatom megírásában nyújtott segítséget.

Köszönöm **Dr. Kovács Melinda** akadémikus asszonynak és **Dr. Szabó András** professzor úrnak, hogy mint az általuk irányított Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola hallgatójának segítették munkámat.

Köszönetemet fejezem ki a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóintézet Környezetanalitikai Központ Vizsgáló Laboratórium munkatársainak, akik a kísérletekből származó víz- és üledékminták vizsgálatát elvégezték.

Hálával tartozom a NAIK Halászati Kutatóintézet munkatársainak, hogy biztosították a kísérletek elvégzéséhez a szükséges feltételeket. Köszönöm továbbá **családomnak és barátaimnak**, hogy mellettem álltak és nyugodt háttérrel biztosították munkám elvégzése során.

A vizsgálatokat a Gazdaságfejlesztési Operatív Program által támogatott „Minőségváltás a hagyományos halastavi struktúrákon történő haltenyésztésben; újszerű, komplex tenyésztési, takarmányozási és környezetkezelési technológia kifejlesztése” című projekt keretében végeztük (GOP-1.1.1-11-2011-0028). A dolgozat elkészültét a Doktorjelölti (Pre-Doktori) ösztöndíj támogatta (EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008).

11. IRODALOMJEGYZÉK

Ai, Q., Xie, X. (2005): Effects of dietary soybean protein levels on energy budget of the southern catfish, *Silurus meridionalis*. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 141:461-469 pp.

Ai, Q., Mai, K., Tan, B., Xu, W., Duan, Q., Ma, H., Zhang, L. (2006): Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea*. *Aquaculture*, 260:255-263 pp.

AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). (1995): Official methods of analysis of AOAC International, volume 1. Agriculture chemicals, contaminants, drugs, 16th editon. AOAC International, Arlington, Virginia.

Avnimelech, Y., Weber, B., Hefher, b., Milstein, A., Zorn, M. (1986): Studies in circulated fish ponds: organic matter recycling and nitrogen transformation. *Aquaculture and Fisheries Management*, 17:231-242 pp.

Avnimelech, Y., Mozes, N., Weber, B. (1992): Effects of Aeration and Mixing on Nitrogen and Organic Matter Transformations in Simulated Fish Ponds. *Aquacultural Engineering*, 11:157-169 pp.

Avnimelech, Y., Kochva, M., Hargreaves, J.A. (1999): Sedimentation and Resuspension in Earthen Fish Ponds. *Journal of the world Aquaculture Society*, 30(4):401-409 pp.

Axler, R., Larson, C., Tikanen, C., McDonald, M., Yokom, S., Aas, P. (1994): Water quality issues associated with aquaculture: A case study in Minnesota mine pit lakes. *Water Environment Research*, 68:995–1011 pp.

Ayson, F.G., de Jesus-Ayson, E.G.T., Takemura, A. (2007): mRNA expression patterns for GH, PRL, SL, IGF-I and IGF-II during altered feeding status in rabbit fish, *Siganus guttatus*. *General and Comparative Endocrinology*, 150:196–204 pp.

Belghit, I., Liland, N.S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Waagbø, R., Krogdahl, Å., Lock, E.J. (2019): Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 503:609-619 pp.

Benedito-Palos, L., Navarro, J.C., Sitjà-Bobadilla, A., Bell, J.G., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J. (2008): High levels of vegetable oils in plant protein-rich diets fed to gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.): growth performance, muscle fatty acid profiles and histological alterations of target tissues. *British journal of Nutrition*, 100:992-1003 pp.

Bernardez, R.G. (1995): Evaluation of an in-pond raceway system and its economic feasibility for fish production. M.S. Thesis, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama.

Békési, L. (1986): Az intenzív harcsanevelés állategészségügyi kérdései. *Halászat*, 2:46-48 pp.

Bouraoui, L., Sánchez-Gurmaches, J., Cruz-Garcia, L., Gutiérrez, J., Benedito-Palos, L., Pérez-Sánchez, J., Navarro, I. (2011): Effect of dietary fish meal and fish oil replacement on lipogenic and lipoprotein lipase activities and plasma insulin in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition*, 17(1):54-63 pp.

Boyd, C.E. (1985): Chemical budgets for channel catfish ponds. Transactions of the American Fisheries Society, 114:291-298 pp.

Brown, T.W., Chappell, J.A., Boyd, C.E. (2011): A commercial-scale, in-pond raceway system for *Ictalurid* catfish production. Aquacultural Engineering, 44:72-79 pp.

Brown, T.W., Boyd, C.E., Chappell, J.A. (2012): Approximate Water and Chemical Budgets for an Experimental, In-pond Raceway System. Journal of the World Aquaculture Society, 43(4):526-537 pp.

Brown, T.W., Tucker, C.S. (2013): Pumping performance of a slow-rotating paddlewheel for split-pond aquaculture systems. North American Journal of Aquaculture, 75(2):153–158 pp.

Brown, T.W., Tucker, C.S. (2014): Pumping Performance of a Modified Commercial Paddlewheel Aerator for Split- Pond Aquaculture Systems. North American Journal of Aquaculture, 76(1):72–78 pp.

Brown, T.W., Hanson, T.R., Chappell, J.A., Boyd, C.E. (2014): Economic Feasibility of an In-Pond Raceway System for Commercial Catfish Production in West Alabama. North American Journal of Aquaculture, 76:79-89 pp.

Brown, T.W., Tucker, C.S., Rutland, B.L. (2016): Performance Evaluation of Four Different Methods for Circulating Water in Commercial-Scale, Split-Pond Aquaculture Systems. Aquacultural Engineering, 70:33-41 pp.

Bucur, C., Costache, M., Radu, D., Marica, N., Costache, M., Nicolae, C.G. (2016): Fish rearing experiment in a Combined Intensive-Extensive System (I.E.S.) for complex recovery of the fishery potential from water basin. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10:238-243 pp.

Bureau, D.P., Harris, A.M., Cho, C.Y. (1999): Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 180:345-358 pp.

Bureau, D.P., Harris, A.M., Bevan, D.J., Simmons, L.A., Azevedo, P.A., Cho, C.Y. (2000): Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* diets. *Aquaculture*, 181:281-291 pp.

Burr, G.S., Wolters, W.R., Barrows, F.T., Hardy, R.W. (2012): Replacing fishmeal with blends of alternative proteins on growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), and early or late stage juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 334-337:110-116 pp.

Castro, C., Corraze, G., Panserat, S., Oliva-Teles, A. (2015): Effects of fish oil replacement by a vegetable oil blend on digestibility, postprandial serum metabolite profile, lipid and glucose metabolism of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 21(5):592-603 pp.

Cho, S.H., Lovell, R.T. (2002): Variable feed allowance with constant protein input for channel catfish (*Ictalurus punctatus*) cultured in ponds. *Aquaculture*, 204:101-112 pp.

Clarkson, M., Migaud, H., Metochis, C., Vera, L.M., Lemming, D., Tocher, D.R., Taylor, J.F. (2017): Early nutritional intervention can improve utilisation of vegetable-based diets in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *British Journal of Nutrition*, 118(1):17-29 pp.

Colautti, D.C., Garcia de Souza, J.R., Balboni, L., Baigún, C.R.M. (2010): Extensive cage culture of pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) in a shallow pampean lake in Argentina. *Aquaculture Research*, 41:376-384 pp.

Colt, J., Armstrong, D. (1979): Nitrogen toxicity to fish, crustaceans and molluscs. Department of Civil Engineering, University of California, Davis, CA, 30 pp.

Company, R., Astola, A., Pendón, C., Valdivia, M.M., Pérez-Sánchez, J. (2001): Somatotropic regulation of fish growth and adiposity: growth hormone (GH) and somatolactin (SL) relationship. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 130:435-445 pp.

Davies, S.J., Gouveia, A. (2008): Enhancing the nutritional value of pea seed meals (*Pisum sativum*) by thermal treatment or specific isogenic selection with comparison to soybean meal for African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquaculture*, 283(1-4):116-122 pp.

Davies, S.J., Gouveia, A., Laporte, J., Woodgate, S.L., Nates, S. (2009): Nutrient digestibility profile of premium (category III grade) animal protein by-products for temperate marine fish species (European sea bass, gilthead sea bream and turbot). *Aquaculture Research*, 40(15):1759-1769 pp.

Davies, S.J., Laporte, J., Gouveia, A., Salim, H.S., Woodgate, S.M., Hassan, M.S., El-Haorun, E.R. (2019): Validation of processed animal proteins (mono- PAPS) in experimental diets for juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) as primary fish meal replacers within a European perspective. *Aquaculture Nutrition*, 25(1):225-238 pp.

Delamare-Deboutteville, J., Batstone, D.J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salini, M., Tabrett, S., Smullen, R., Barnes, A.C., Hülsen, T. (2019): Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fishmeal replacement in aquaculture. *Water Research X*, 4.

Diab, S., Kochba, M., Mires, D., Avnimelech, Y. (1992): Combined intensive-extensive (CIE) pond system A: inorganic nitrogen transformations. *Aquaculture*, 101:33-39 pp.

Dionigi, C. P., Bett, K.L., Johnsen, P.B., McGillberry, J.H., Millie, D.F., Vinyard, B.T. (1998): Variation in Channel Catfish *Ictalurus punctatus* flavor quality and its quality control implications. *Journal of the World Aquaculture Society*, 29:140–154 pp.

Douglass, V.M., Lackey, R.T. (1974): Experimental cage culture of Channel catfish strains in Virginia. *Virginia Journal of Science*, 25(3):141-146 pp.

Drapcho, C.M., Brune, D.E. (2000): The partitioned aquaculture system: impact of design and environmental parameters on algal productivity and photosynthetic oxygen production. *Aquacultural Engineering*, 21:151-168 pp.

El-Husseiny, O.M., Hassan, M.I., El-Haroun, E.R., Suloma, A. (2018): Utilization of poultry by-product meal supplemented with L-lysine as fish meal

replacer in the diet of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822). *Journal of Applied Aquaculture*, 30(1):63-75 pp.

El-Saidy, D.M.S.D., Gaber, M.M.A. (2002): Complete replacement of fish meal by soybean meal with dietary l-lysine supplementation for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) fingerlings. *Journal of the World Aquaculture Society*, 33:297–306 pp.

El-Sayed, A.F.M. (1998): Total replacement of fish meal with animal protein sources in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), feeds. *Aquaculture Research*, 29:275-280 pp.

Enell, M. (1982): Changes in sediment dynamics caused by cage culture activities. In Proc. 10th Nordic Symp. Sediments, Trarminne, Finland, May 5-8, 1982. (I. Bergstromm, J. Kettunen & M. Stenmark, eds). 72-88 pp. Onanieni, Finland.

Espe, M., Veiseth-Kent, E., Zerrahn, J.-E., Rønnestad, I., Aksnes, A. (2016): Juvenile Atlantic salmon decrease white trunk muscle IGF-1 expression and reduce muscle and plasma free sulphur amino acids when methionine availability is low while liver sulphur metabolites mostly is unaffected by treatment. *Aquaculture Nutrition*, 22:801–812 pp.

Eversole, A.G., Stuart, K.R., Brune, D.E. (2008): Effect of temperature and phytoplankton concentration of Partitioned Aquaculture System water on freshwater mussel filtration. *Aquaculture Research*, 39:1691-1696 pp.

FAO (2018): *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome.

Fauconneau, B., Laroche, M. (1996): Characteristics of the flesh and quality of products of catfishes. *Aquatic Living Resources*, 9:165–179 pp.

Fawole, F.J., Adeoye, A.A., Tihamiyu, L.O., Ajala, K.I., Obadara, S.O., Ganiyu, I.O. (2020): Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker. *Aquaculture*, 518.

Fábián Gy., Molnár Gy., Tölg I. (1963): Comparative data and enzyme kinetic calculations on changes caused by temperature in the duration of gastric digestion of some predatory fishes. *Acta Biologica Hungarica - Academy of Science, Hungary*, 14:123-129 pp.

Felföldy, L. (1981): A vizek környezettana. Általános hidrobiológia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Fowler, L.G. (1991): Poultry by-product meal as a dietary protein source in fall Chinook salmon diets. *Aquaculture*, 99:309–321 pp.

Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K. (2001): Anti-nutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. In: Replacement of Fish Meal with Poultry By-Product Meal and Hydrolyzed Feather Meal in Feeds for Finfish (Yu, Yu ed.), 51-93 pp. In: Alternative protein sources in aquaculture diets (Lim, C., Webster, C.D., Lee, C.S. ed.). The Haworth Press, New York and London

Gál, D., Pekár, F., Kerepeczki, É. (2016): A survey on the environmental impact of pond aquaculture in Hungary. *Aquaculture International*, 24:1543-1554 pp.

Gallagher, M. L. (1994): The use of soybean meal as a replacement for fish meal in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* × *M. chrysops*). *Aquaculture*, 126:119–127 pp.

Gallagher, M.L., Degani, G. (1988): Poultry meal and poultry oil as source of protein and lipid in the diet of European eels (*Anguilla anguilla*). *Aquaculture*, 73:177–187 pp.

Gao, Y., Lu, S., Wu, M., Yao, W., Jin, Z., Wu, X. (2019): Effects of dietary protein levels on growth, feed utilization and expression of growth related genes of juvenile giant grouper (*Epinephelus lanceolatus*). *Aquaculture*, 504:369–374 pp.

Garcia, F., Romera, D.M., Sousa, N.S., Paiva-Ramos, I., Onaka, E.M. (2016): The potential of periphyton-based cage culture of Nile tilapia in a Brazilian reservoir. *Aquaculture*, 464:229-235 pp.

Garcia, F., Sabbag, O.J., Kimpara, J.M., Romera, D.M., Sousa, N.S., Onaka, E.M., Raiva-Ramos, I. (2017): Periphyton-based cage culture of Nile tilapia: An interesting model for small-scale farming. *Aquaculture*, 479:838-844 pp.

Garcia de Souza, J.R., Solimano, P.J., Maiztegui, T., Baigún, C.R.M., Colautti, D.C. (2015): Effects of stocking density and natural food availability on the extensive cage culture of pejerrey (*Odontesthes bonariensis*) in a shallow Pampean lake in Argentina. *Aquaculture Research*, 46(6):1332-1344 pp.

Garcia de Souza, J.R., Solimano, P.J., Maiztegui, T., Baigún, C.R.M., Claps, M.C., Colautti, D.C. (2017): Seasonality effect over the ecological aquaculture of the native zooplanktivorous fish from South America *Odontesthes bonariensis*. *Aquaculture*, 471:19-27 pp.

Gautier, D., Boyd, C.E., Lovell, R.T. (2002): Sampling Channel Catfish ponds for pre-harvest off-flavor detection. *Aquacultural Engineering*, 26:205–213 pp.

Gibson Gaylord, T., Barrows, F.T., Teague, A.M., Johansen, K.A., Overturf, K.E., Shepherd, B. (2007): Supplementation of taurine and methionine to all-plant protein diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 269:514-524 pp.

Goda, A.M., El-Haroun, E.R., Chowdhury, M.A.K. (2007): Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks. *Aquaculture Research*, 38:279-287 pp.

Golueke, C.G., Oswald, W.J., Gee, H.K. (1967): Effect of Nitrogen Additives on Algal Yield. *Journal Water Pollution Control Federation*, 39(5):823-834 pp.

Gómez-Requeni, P., Mingarro, M., Calduch-Giner, J.A., Médale, F., Martin, S.A.M., Houlihan, D.F., Kaushik, S., Pérez-Sánchez, J. (2004): Protein growth performance, amino acid utilization and somatotropic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture* 232: 493–510.

Gong, Y., Bandara, T., Huntley, M., Johnson, Z.I., Dias, J., Dahle, D., Sørensen, M., Kiron, V. (2019): Microalgae *Scenedesmus* sp. as a potential ingredient in low fishmeal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 501:455-464 pp.

Goode, T., Hammig, M., Brune, D. (2002): Profitability comparison of the partitioned aquaculture system with traditional catfish farms. *Aquaculture Economics and Management*, 6(1-2):19-38 pp.

Green, B.W., Rawles, S.D., Schrader, K.K., Gibson Gaylord, T., McEntire, M.E. (2019): Effects of dietary protein content on hybrid tilapia (*Oreochromis aureus* × *O. niloticus*) performance, common microbial off-flavor compounds, and water quality dynamics in an outdoor biofloc technology production system. *Aquaculture*, 503:571-582 pp.

Grimm, C. C., Lloyd, S.W., Zimba, P.V. (2004): Instrumental versus sensory detection of off-flavors in farm-raised Channel Catfish. *Aquaculture*, 236:309–319 pp.

Gross, A., Boyd, C.E., Wood, C.W. (2000): Nitrogen transformations and balance in channel catfish ponds. *Aquaculture Engineering*, 24:1–14 pp.

Gu, M., Bai, N., Zhang, Y., Krogdahl, Å. (2016): Soybean meal induces enteritis in turbot *Scophthalmus maximus* at high supplementation levels. *Aquaculture*, 464:286-295 pp.

HAKI KAK MU-62

Halver, J.E. (1976): The nutritional requirements of cultivated warm water and cold water fish species, 9 pp. Paper No. 31. FAO Technical Conference on Aquaculture, Kyoto, 26 May to 2 June 1976

Halwart, M., Soto, D., Arthur, J.R. (2007): Cage Aquaculture - Regional Reviews and Global Overview. FAO, Rome.

Hancz, Cs. szerk. (2007): Haltenyésztés. Digitális egyetemi jegyzet, Kaposvár

Harka Á., Sallai Z. (2004): Harcsa. In: Magyarország halfaunája, Nimfea Természetvédelmi Egyesület, Szarvas, 170-171 pp.

Hatlen, B., Jakobsen, J.-V., Crampton, V., Alm, M., Langmyhr, E., Espe, M., Hevrøy, E.M., Torstensen, B.E., Liland, N., Waagbø, R. (2015): Growth, feed utilization and endocrine responses in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets added poultry by-product meal and blood meal in combination with poultry oil. *Aquaculture Nutrition*, 21:714–725 pp.

Hilge, V (1985): The influence of temperature on the growth of the European catfish (*Silurus glanis* L.). *Journal of Applied Ichthyology*, 1(1):27-31 pp.

Hoffman, L.C., Pinsloo, J.F., Rukan, G. (1997): Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharptooth catfish (*Clarias sp.*). *Water S.A.*, 23:181-183 pp.

Horoszewicz L. (1971): *Sum. PWRiL*, Warszawa, 191 pp.

Horváth, L. szerk. (2000): Halbiológia és haltenyésztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest

Horváth, L., Urbányi, B., Horváth, Á. szerk. (2011): A Harcsa (*Silurus glanis*) biológiája és tenyésztése. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő

Howerton, R.D., Boyd, C.E., Watten, B.J. (1994): Design and performance of a horizontal, axialflow water circulator. *Journal of Applied Aquaculture*, 3:163-184 pp.

Huchette, S.M.H., Beveridge, M.C.M. (2003): Technical and economical evaluation of periphyton-based cage culture of tilapia (*Oreochromis niloticus*) in tropical freshwater cages. *Aquaculture*, 218:219-234 pp.

IBM SPSS Statistics for Windows, Version 22.0. Armonk, NY: IBM Corp.

Irm, M., Taj, S., Jin, M., Luo, J., Andriamialinirina, H.J.T., Zhou, Q. (2020): Effects of replacement of fish meal by poultry by-product meal on growth performance and gene expression involved in protein metabolism for juvenile black sea bream (*Acanthoparus schlegelii*). *Aquaculture*, 528:735544

Jescovitch, L.N., Boyd, C.E., Withis, G.N. (2017): Effects of mechanical aeration in the waste-treatment cells of split-pond aquaculture systems on water quality. *Aquaculture*, 480:32-41 pp.

Jiménez-Montealegre, R., Verdegem, M., Zamora, J.E., Verreth, J. (2002): Organic matter sedimentation and resuspension in tilapia (*Oreochromis niloticus*) ponds during a production cycle. *Aquacultural Engineering*, 26(1):1-12 pp.

Jungwirth, M. (1986): Temperatur- und Nahrungsansprüche verschiedener Altersstadien des Welses (*Silurus glanis*, L.) bei Intensivaufzucht. Österreichs Fischerei, 39:174-185 pp.

Kabir, K.A., Verdegem, M.C.J., Verreth, J.A.J., Philips, M.J., Schrama, J.W. (2019): Effect of dietary protein to energy ratio, stocking density and feeding level on performance of Nile tilapia in pond aquaculture. *Aquaculture*, 511.

Kader, M.A., Bulbul, M., Koshio, S., Ishikawa, M., Yokoyama, S., Nguyen, B.T., Komilus, C.F. (2012): Effect of complete replacement of fishmeal by dehulled soybean meal with crude attractants supplementation in diets for red sea bream, *Pagrus major*. *Aquaculture*, 350-353:109-116 pp.

Karapanagiotidis, I.T., Psafakis, P., Mente, E., Malandrakis, E., Golomazou, E. (2019): Effect of fishmeal replacement by poultry by-product meal on growth performance, proximate composition, digestive enzyme activity, haematological parameters and gene expression of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Nutrition*, 25:3-14 pp.

Kaushik, S.J., Cravedi, J.P., Lalles, J.P., Sumpter, J., Fauconneau, B., Laroche, M. (1995): Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 133:257-274 pp.

Keup, L.E. (1968): Phosphorus in flowing waters. *Water Research*, 2:373-386 pp.

Kibria, A.S.M., Haque, M.M. (2018): Potentials of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in freshwater ponds in Bangladesh. *Aquaculture Reports*, 11:8-16 pp.

Kim, L.H., Choi, E., Stenstrom, M.K. (2003): Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments. *Chemosphere* 50:53-61 pp.

Kim, T., Ren, X., Chae, K.J. (2018): High-rate algal pond coupled with a matrix of *Spirogyra sp.* for treatment of rural streams with nutrient pollution. *Journal of Environmental Management*, 213:297-308 pp.

Kiss, I., Horváth, L. (1978): Kísérletek harcsa kistavi környezetben történő előnevelésére. *Halászat* 6:167-171 pp.

Kissil, G.W., Lupatsch, I., Higgs, D.A., Hardy, R.W. (2000): Dietary substitution of soy and rapeseed protein concentrates for fish meal, and their effects on growth and nutrient utilization in gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquaculture Research*, 31:595-601 pp.

Kokou, F., Rigos, G., Henry, M., Kentouri, M., Alexis, M. (2012): Growth performance, feed utilization and non-specific immune response of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fed graded levels of a bioprocessed soybean meal. *Aquaculture*, 364-365:74-81 pp.

Kokou, F., Sarropoulou, E., Cotou, E., Rigos, G., Henry, M., Alexis, M., Kentouri, M. (2015): Effects of Fish Meal Replacement by a Soybean Protein on Growth, Histology, Selected Immune and Oxidative Status Markers of

Gilthead Sea Bream, *Sparus aurata*. Journal Of The World Aquaculture Society, 46(2):115-128 pp.

Kozák, B. (2009): Medencés amurlárva- és harcsanevelés tapasztalatai baktériumos víztisztítási eljárás alkalmazásával. Halászat 102(2):60-61 pp.

Krasznai, Z., Kovács Gy., Oláh, J. (1980): Technological basis of the intensive sheatfish (*Silurus glanis* L.) culture. Aquacultura Hungarica II.:147-153 pp.

Kumar, S., Sandor, Zs., Nagy, Z., Fazekas, Gy., Havasi, M., Sinha, A.K., de Boeck, G., Gál, D. (2017): Potential of processed animal protein versus soybean meal to replace fish meal in practical diets for European catfish (*Silurus glanis*): growth response and liver gene expression. Aquaculture Nutrition 23:1179–1189 pp.

Kumar, V., Khalil, W.K.B., Weiler, U., Becker, K. (2013): Influences of incorporating detoxified *Jatropha curcas* kernel meal in common carp (*Cyprinus carpio* L.) diet on the expression of growth hormone- and insulin-like growth factor-1-encoding genes. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 97(1):97-108 pp.

Kumar, V., Lee, S., Cleveland, B., Romano, N., Lalgudi, R.S., Benito, M.R., McGraw, B., Hardy, R.W. (2020): Comparative evaluation of processed soybean meal (EnzoMeal™) vs. regular soybean meal as a fishmeal replacement in diets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Effects on growth performance and growth-related genes. Aquaculture, 516.

Kwei Lin, C., Diana, J.S. (1995): Co-culture of catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) and tilapia (*Oreochromis niloticus*) in ponds. *Aquatic Living Resources*, 8:449-454 pp.

Latiff, K. (2013): Impact of fishmeal replacement with poultry meal on rainbow trout (*Oncorhynchus Mykiss*) nutrition, physiology and performance. PhD thesis, University of Tasmania.

Li, M., Lovell, R.T. (1992): Comparison of satiate feeding and restricted feeding of channel catfish with various concentrations of dietary protein in production ponds. *Aquaculture*, 103:165-175 pp.

Li, M., Wise, D.J., Manning, B.B., Robinson, E.H. (2003): Effect of dietary total protein and animal protein on growth and feed efficiency of juvenile Channel catfish (*Ictalurus punctatus*) and their response to *Edwardsiella ictaluri* challenge. *Journal of the World Aquaculture Society*, 34:223-228 pp.

Li, J., Guo, Y., Zhu, C., Ma, Z., Qin, J.G., Xie, X., Chen, S. (2019): Effects of a partitioned aquaculture system on water quality and growth of *Penaeus vannamei*. *Aquaculture Research*, 50(7):1942-1951 pp.

Liland, N.S., Hatlen, B., Takle, H., Venegas, C., Espe, M., Torstensen, B.E., Waagbø, R. (2015): Including processed poultry and porcine by-products in diets high in plant ingredients reduced liver TAG in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.. *Aquaculture Nutrition*, 21(5):655-669 pp.

Lin, S., Luo, L. (2011): Effects of different levels of soybean meal inclusion in replacement for fish meal on growth, digestive enzymes and transaminase

activities in practical diets for juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* x *O. aureus*. *Animal Feed Science and Technology*, 168:80–87 pp.

Linhart, O., Stech, L., Svarc, J., Rodina, M., Audebert, J.P., Grecu, J., Billard, R. (2002): The culture of the European catfish, *Silurus glanis*, in Czech Republic and in France. *Aquatic Living Resources*, 15:139 – 144 pp.

Liu, J., Pemberton, B., Lewis, J., Scales, P.J., Martin, G.J.O. (2019): Wastewater treatment using filamentous algae – A review. *Bioresource Technology*, 298.

Ludwig, G.M. (1996): Comparison of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, and fathead minnow, *Pimephales promelas*, production and water quality among a polyculture and two monoculture systems. *Aquaculture*, 144:177-187 pp.

Lunger, A.N., McLean, E., Craig, S.R. (2007): The effects of organic protein supplementation upon growth, feed conversion and texture quality parameters of juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 264(1-4):342-352 pp.

Martin, J.F., McCoy, C.P., Tucker, C.S., Bennett, L.W. (1988): 2-Methylisoborneol implicated as a cause of off-flavour in Channel Catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), from commercial culture ponds in Mississippi. *Aquaculture and Fisheries Management*, 19:151–157 pp.

Masser, M.P. (2012): Cage Culture in Freshwater and Protected Marine Areas, 119-134 pp. In: *Aquaculture Production Systems* (ed. James Tidwell), John Wiley and Sons, Inc.

Masser, M.P., Lazur, A. (1997): In-Pond Raceways. Southern Regional Aquaculture Centre, SRAC Publications, No. 170.

Millamena, O.M. (2002): Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides*. Aquaculture, 204:75-84 pp.

Mohsen, A.A., Lovell, R.T. (1990): Partial substitution of soybean meal with animal protein sources in diets for channel catfish. Aquaculture, 90:303-311 pp.

Moutinho, S., Martinez-Llorens, S., Tomás-Vidal, A., Jover-Cerdá, M., Oliva-Teles, A., Peres, H. (2017): Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency. Aquaculture, 468 Part 1:271-277 pp.

MSZ-08-0205:1978

MSZ 12750-20:1972 (visszavont szabvány)

MSZ 260-3:1973

MSZ EN 1189:1998 (visszavont szabvány)

MSZ EN ISO 11732:2005

MSZ EN ISO 11905-1:2000

MSZ EN ISO 13395:1999

MSZ EN ISO 13903:2005

MSZ EN ISO 15681-1:2005

MSZ EN ISO 5983-2:2005

MSZ ISO 10260:1993

Mueller, C.R., Eversole, A.G., Turker, H., Brune, D.E. (2004): Effect of Silver Carp *Hypophthalmichthys molitrix* and Freshwater Mussel *Elliptio complanata* Filtration on the Phytoplankton Community of Partitioned Aquaculture System Units. *Journal of the World Aquaculture Society*, 35(3):372-382 pp.

Mundheim, H., Aksnes, A., Hope, B. (2004): Growth, feed efficiency and digestibility in salmon (*Salmo salar* L.) fed different dietary proportions of vegetable protein sources in combination with two fish meal qualities. *Aquaculture*, 237:315-331 pp.

Mutch, D.M., Wahli, W., Williamson, G. (2005): Nutrigenomics and nutrigenetics: the emerging faces of nutrition. *The FASEB Journal*, 19(12):1602-1616 pp.

Nengas, I., Alexis, M.N., Davies, S.J. (1999): High inclusion levels of poultry meals and related by products in diets for gilthead seabream, *Sparus aurata* L. *Aquaculture*, 179:13–23 pp.

Nyina-wamwiza, L., Milla, S., Pierrard, M.A., Rurangwa, E., Mandiki, S.N.M., van Look, K.J.W., Kestemont, P. (2012): Partial and total fish meal replacement by agricultural products in the diets improve sperm quality in African catfish (*Clarias gariepinus*). *Theriogenology*, 77:184-194 pp.

Paerl, H. W., Tucker, C.S. (1995): Ecology of blue-green algae in aquaculture ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*, 26:109–131 pp.

Palachek, R.M., Tomaso, J.R. (1984): Toxicity of nitrite to channel catfish (*Ictalurus punctatus*), tilapia (*Tilapia aurea*) and largemouth bass

(*Micropterus salmoides*): evidence for nitrite exclusion mechanism. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 41:1739-1744 pp.

Panase, P., Uppapong, S., Tuncharoen, S., Tanitson, J., Soontornprasit, K., Intawicha, P. (2018): Partial replacement of commercial fish meal with Amazon sailfin catfish (*Pterygoplichthys pardalis*) meal in diets for juvenile Mekong giant catfish (*Pangasianodon gigas*). Aquaculture Reports, 12:25-29 pp.

Panini, R.L., Pinto, S.S., Nóbrega, R.O., Vieira, F.N., Fracalossi, D.M., Samuels, R.I., Prudêncio, E.S., Silva, C.P., Amboni, R.D.M.C. (2017): Effects of dietary replacement of fishmeal by mealworm meal on muscle quality of farmed shrimp *Litopenaeus vannamei*. Food Research International, 102:445-450 pp.

Park, J., Heikes, D., Recsetar, M., Roy, L.A. (2014): Performance evaluation and engineering considerations for a modular- and culvert-based paddlewheel circulator for split-pond systems. Aquacultural Engineering, 61:1-8 pp.

PCP (2018): Facts and figures on the common fisheries policy - Basic statistical data - 2018 Edition. Publication Office of the European Union, Luxembourg.

Pedroso, F.L., de Jesus-Ayson, E.G.T., Cortado, H.H., Hyodo, S., Ayson, F.G. (2006): Changes in mRNA expression of grouper (*Epinephelus coioides*) growth hormone and insulin-like growth factor I in response to nutritional status. General and Comparative Endocrinology, 145:237–246 pp.

Penczak, T., Galicka, W., Molinski, M., Kusto, E. Zalewski, M. (1982): The enrichment of a mesotrophic lake by carbon, phosphorus and nitrogen from the cage aquaculture of rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Journal applied Ecology*, 19:371-393 pp.

Perez-Velazquez, M., Gatlin, D.M., González-Félix, M.L., García-Ortega, A. (2018): Partial replacement of fish meal and fish oil by algal meals in diets of red drum *Sciaenops ocellatus*, *Aquaculture*, 487:41-50 pp.

Phillips, M.J., Beveridge, M.C.M., Ross, L.G. (1985): The environmental impact of salmonid cage culture on inland fisheries: present status and future trends. *Journal of Fish Biology*, 27(sa):123–137 pp.

Phumee, P., Wei, W.Y., Ramachandran, S., Hashim, R. (2011): Evaluation of soybean meal in the formulated diets for juvenile *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage, 1878). *Aquaculture Nutrition*, 17:214-222 pp.

Pine, H.J., Daniels, W.H., Davies, D.A., Jiang, M. (2008): Replacement of Fish Meal with Poultry By-product Meal as a Protein Source in Pond-raised Sunshine Bass, *Morone chrysops* x *M. saxatilis*, Diets. *Journal of the World Aquaculture Society*, 39(5):586-597 pp.

Pintér K. (2002): A harcsa. In: Magyarország halai, Akadémiai Kiadó, Budapest, 142-147 pp.

Psoufakis, P., Karapanagiotidis, I.T., Malandrakis, E.E., Golomazou, E., Exadactylos, A., Mente, E. (2020): Effect of fishmeal replacement by hydrolyzed feather meal on growth performance, proximate composition,

digestive enzyme activity, haematological parameters and growth-related gene expression of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 521.

Qian, Y., Liang, X., Chen, Y., Lou, L., Cui, X., Tang, J., Li, P., Cao, R. (2011): Significance of biological effects on phosphorus transformation processes at the water–sediment interface under different environmental conditions. *Ecological Engineering*, 37(6):816–825 pp.

Raat, A.J.P. (1990): Production, consumption and prey availability of Northern pike (*Esox lucius*), pikeperch (*Stizostedion lucioperca*) and European catfish (*Silurus glanis*): a bioenergetics approach. *Hydrobiologia* 200/201:497-509 pp.

Ram, N.M., Zur, O., Avnimelech, Y. (1982): Microbial changes occurring at the sediment-water interface in an intensively stocked and fed fish pond. *Aquaculture*, 27:63-72 pp.

Rawles, S.D., Green, B.W., McEntire, M.E., Gibson Gaylord, T., Barrows, F.T. (2018): Reducing dietary protein in pond production of hybrid striped bass (*Morone chrysops*×*M. saxatilis*): Effects on fish performance and water quality dynamics. *Aquaculture*, 490:217-227 pp.

Ribeiro, M.J.P., Vidotti, R.M., Ferreira, L.A., Gonçalves, G.S. (2016): Evaluation of Soy Protein Concentrate and Meat and Bone Meal as a Replacement for Fish Meal in the Diet of Nile Tilapia Fingerlings. *Journal Of The World Aquaculture Society*, 47(3):369-375 pp.

Robaina, L., Moyano, F.J., Izquierdo, M.S., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D. (1997): Corn gluten and meat and bone meals as protein sources

in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): Nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 157:347-359 pp.

Robinson, E.H., Li, M.H. (1994): Use of plant protein in catfish feeds: replacement of soybean meal with cottonseed meal and replacement of fish meal with soybean meal and cottonseed meal. *Journal of the World Aquaculture Society*, 25:271-276 pp.

Robinson, E.H., Li, M.H. (1999): Catfish Protein Nutrition. Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station, Bulletin 1-13.

Robinson, E.H., Li, M.H., Manning, B.B. (2001): A Practical Guide to Nutrition, Feeds, and Feeding of Catfish. Mississippi State University, Division of Agriculture, Forestry and Veterinary Medicine, Bulletin 1113

Sánchez, E., Colmenarejo, M.F., Vicente, J., Rubio, A., García, M.G., Travieso, L., Borja, R. (2007): Use of water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, 7:315-328 pp.

Schrader, K. K., Dennis, M.E. (2005): Cyanobacteria and earthy/musty compounds found in commercial catfish (*Ictalurus punctatus*) ponds in the Mississippi Delta and Mississippi–Alabama Blackland Prairie. *Water Research*, 39:2807–2814 pp.

Schrader, K.K., Tucker, C.S., Brown, T.W., Torrains, E.L., Withis, G.N. (2016): Comparison of Phytoplankton Communities in Catfish Split-Pond Aquaculture Systems with Conventional Ponds. *North American Journal of Aquaculture*, 78:384-395 pp.

Schrader, K.K., Tucker, C.S., Brown, T.W., Withis, G.N. (2018): Earthy and Musty Off-Flavor Episodes in Catfish Split-Pond Aquaculture Systems. *North American Journal of Aquaculture*, 80:26-41 pp.

Schroeter, J.C., Peterson, B.C., Bledsoe, J., Li, M., Small, B.C. (2018): Targeted gene expression panels and microbiota analysis provide insight into the effects of alternative production diet formulations on channel catfish nutritional physiology. *Aquaculture*, 489:46-55 pp.

Schwartz, M.F., Boyd, C.E. (1994): Effluent quality during draining of channel catfish from watershed ponds. *The Progressive Fish-Culturist*, 56:25-32 pp.

Seo, J., Boyd, C.E. (2001): Effects of bottom soil management practices on water quality improvement in channel catfish *Ictalurus punctatus* ponds. *Aquacultural Engineering*, 25:83-97 pp.

Seshappa, G. (1953): Phosphate content of mudbanks along the Malagar Coast. *Nature*, 171:526-527 pp.

Shilo, M. Rimon, A. (1982) Factors which affect the intensification of fish breeding in Israel. 2. Ammonia transformation in intensive fish ponds. *Bamidgeh*, 34(3):101-114 pp.

Simó-Mirabet, P., Felip, A., Estensoro, I., Martos-Sitcha, J.A., de las Heras, V., Calduch-Giner, J., Puyalto, M., Karalazos, V., Sitjà-Bobadilla, A., Pérez-Sánchez, J. (2018): Impact of low fish meal and fish oil diets on the performance, sex steroid profile and male-female sex reversal of gilthead sea

bream (*Sparus aurata*) over a three-year production cycle. *Aquaculture*, 490:64-74 pp.

Sinha, A.K., Diricx, M., Chan, L.P., Liew, H.J., Kumar, V., Blust, R., Boeck, G.D. (2012): Expression pattern of potential biomarker genes related to growth, ion regulation and stress in response to ammonia exposure, food deprivation and exercise in common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquatic Toxicology*, 122–123:93–105 pp.

Smith, D.W., Piedrahita, R.H. (1988): The relation between phytoplankton and dissolved oxygen in fish ponds. *Aquaculture*, 68:249-265 pp.

Søndergaard, M., Jensen, J.P., Jeppesen, E. (2003): Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506-509:135-145 pp.

Sun, W., Boyd, C.E. (2013): Phosphorus and nitrogen budgets for inland, saline water shrimp ponds in Alabama. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 4:1-5 pp.

Sutherland, J.C., Kramer, J.R., Nichols, L., Kurtz, T.D. (1966): Mineral-water equilibria, Great Lakes: Silica and phosphorus. Great Lakes Research Division Publ. No. 15:439:445 pp.

Tacon, A.G.J., Hardy, R.W. (2002): Use of rendered products of aquaculture. In: Replacement of Fish Meal with Poultry By-Product Meal and Hydrolyzed Feather Meal in Feeds for Finfish (Yu, Yu ed.), 51-93 pp. In: Alternative protein sources in aquaculture diets (Lim, C., Webster, C.D., Lee, C.S. ed.). The Haworth Press, New York and London

Tacon, A.G.J., Metian, M. (2008): Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285(1-4):146-158 pp.

Talpeş M., Patriche N., Tenciu M., Arsene F. (2009): Perspectives regarding the development of intensive rearing technology for *Silurus glanis* species in Romania. *Zootehnie și Biotehnologii*, 42:130-135 pp.

Toko, I.I., Fiogbe, E.D., Kestemont, P. (2008): Mineral status of African catfish (*Clarias gariepinus*) fed diets containing graded levels of soybean or cottonseed meals. *Aquaculture*, 275:298-305 pp.

Torres-Beristain, B., Verdegem, M., Kerepeczki, E., Verreth, J. (2006): Decomposition of high protein aquaculture feed under variable oxic conditions. *Water Research*, 40:1341-1350 pp.

Torstensen, B.E., Espe, M., Sanden, M., Stubhaug, I., Waagbø, R., Hemre, G.I., Fontanillas, R., Nordgarden, U., Hevrøy, E.M., Olsvik, P., Berntssen, M.H.G. (2008): Novel production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) protein based on combined replacement of fish meal and fish oil with plant meal and vegetable oil blends. *Aquaculture*, 285(1-4):193-200 pp.

Triantaphyllopoulos, K.A., Cartas, D., Miliou, H. (2019): Factors influencing *GH* and *IGF- I* gene expression on growth in teleost fish: how can aquaculture industry benefit? *Reviews in Aquaculture*, Early View

Tsutsumi, H. (1995): Impact of fish net-pen culture on the benthic environment of a cove on South Japan. *Estuaries*, 18:108–115 pp.

Tucholski, S., Wieclawski, F., Wojno, T. (1980): Studies on removal of wastes produced during cage rearing of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) in lakes. 2 chemical composition of water and bottom sediments. *Rocz. Nauk Roln.*, 82:17-30 pp.

Tucker, C.S., Kingsbury, S. (2010): High-density split-pond systems offer high output low maintenance. *Global Aquaculture Advocate* 13(2):64–65 pp.

Turker, H., Eversole, A.G., Brune, D.E. (2003a): Filtration of green algae and cyanobacteria by Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, in the Partitioned Aquaculture System. *Aquaculture*, 215:93-101 pp.

Turker, H., Eversole, A.G., Brune, D.E. (2003b): Effect of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.), size on phytoplankton filtration rate. *Aquaculture Research*, 34:1087-1091 pp.

Turker, H., Eversole, A.G., Brune, D.E. (2003c): Comparative Nile tilapia and silver carp filtration rates of Partitioned Aquaculture System phytoplankton. *Aquaculture*, 220:449-457 pp.

Turker, H., Eversole, A.G., Brune, D.E. (2003d): Effect of temperature and phytoplankton concentration on Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) filtration rate. *Aquaculture Research*, 34:453-459 pp.

Twibell, R.G., Wilson, R.P. (2004): Preliminary evidence that cholesterol improves growth and feed intake of soybean meal-based diets in aquaria studies with juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 236:539-546 pp.

Ulikowski D., Szczepkowski M., Szczepkowska B. (2003): Preliminary studies of intensive wels catfish (*Silurus glanis* L.) and sturgeon (*Acipenser* sp.) pond cultivation. Archives of Polish Fisheries, 11:295-300 pp.

Urbányi B., Kotrik L., Szentes K. (2011): A harcsa tenyésztése hazánkban és Európában. In: A harcsa (*Silurus glanis*) biológiája és tenyésztése, szerk.: Horváth L., Urbányi B., Horváth Á., Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 37-46 pp.

van der Ploeg, M., Tucker, C.S. (1994): Seasonal trends in flavor quality of Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*, from commercial ponds in Mississippi. Journal of Applied Aquaculture, 3:121–140 pp.

van der Ploeg, M., Tucker, C.S., Boyd, C.E. (1992): Geosmin and 2-methylisoborneol production by cyanobacteria in fish ponds in the southeastern United States. Water Science and Technology, 25:283– 290 pp.

van Weerd, J.H., Khalaf, KH.A., Aartsen, F.J., Tijssen, P.A.T. (1999): Balance trials with African catfish *Clarias gariepinus* fed phytase-treated soybean meal-based diets. Aquaculture Nutrition, 5:135-142 pp.

Vásárhelyi I. (1968): A harcsa. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 98 pp.

Viola, S., Mokady, U., Rappapor, U., Arieli, Y. (1982): Partial and complete replacement of fishmeal by soybean meal in feeds for intensive culture of carp. Aquaculture, 26:223–236 pp.

Wang, J., Chen, J., Yu, P., Yang, X., Zhang, L., Geng, Z., He, K. (2020): Oxygenation and synchronous control of nitrogen and phosphorus release at the sediment-water interface using oxygen nano-bubble modified material. *Science of The Total Environment*, 725, 138258.

Webster, C.D., Yancey, D.H., Tidwell, J.H. (1992a): Effect of partially or totally replacing fish meal with soybean meal on growth of blue catfish (*Ictalurus furcatus*). *Aquaculture*, 103:141-152 pp.

Webster, C.D., Tidwell, J.H., Goodgame, L.S., Yancey, D.H., Mackey, L. (1992b): Use of soybean meal and distillers grains with solubles as partial or total replacement of fish meal in diets for channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, 106:301-309 pp.

Weigelhofer, G., Ramião, J. P., Pitzl, B., Bondar-Kunze, E., O’Keeffe, J. (2018): Decoupled water-sediment interactions restrict the phosphorus buffer mechanism in agricultural streams. *Science of The Total Environment*, 628-629:44–52 pp.

Wilcox, M.D. (1998) Effects of an in-pond raceway on fish production performance and water quality. M.S. Thesis, Department of Fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, Alabama.

Wu, F., Zhang, X., Zhang, W., Huang, B., Liu, Z., Hu, C., Wang, D. (2009): Expression of three gonadotropin subunits in Southern catfish gonad and their possible roles during early gonadal development. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 153A, 44–48 pp.

- Yigit, M., Erdem, M., Koshio, S., Ergun, S., Turker, A., Karaali, B. (2006): Substituting fish meal with poultry by-product meal in diets for black Sea turbot *Psetta maeotica*. *Aquaculture Nutrition*, 12:340–347 pp.
- Yi, Y., Kwei Lin, C. (2001): Effects of biomass of caged Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and aeration on the growth and yields in an integrated cage-cum-pond system. *Aquaculture*, 195:253-267 pp.
- Yi, Y., Kwei Lin, C., Diana, J.S. (1996): Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stocking density in cages on their growth and yield in cages and in ponds containing the cages. *Aquaculture*, 146:205-215 pp.
- Yi, Y., Kwei Lin, C., Diana, J.S. (2003): Hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) culture in an integrated pen-cum-pond system: growth performance and nutrient budgets. *Aquaculture*, 217:395-408 pp.
- Yoo, K.H., Masser, M.P., Hawcroft, B.A. (1995): An In-pond Raceway System Incorporating Removal of Fish Wastes. *Aquacultural Engineering*, 14:175-187 pp.
- Ytrestøyl, T., Aas, S., Åsgård, T. (2015): Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture*, 448:365–374 pp.
- Yuan, J., Ni, M., Liu, M., Wang, H., Zhang, C., Mi, G., Gu, Z. (2019): Analysis of the growth performances, muscle quality, blood biochemistry and antioxidant status of *Micropterus Salmoides* farmed in in-pond raceway systems versus usual-pond systems. *Aquaculture*, 511.

Zaikov, A., Hubenova, T., Iliev, I. (2008): Prey selectivity in one-summer-old wels (*Silurus glanis* L.) fed with carp (*Cyprinus carpio*) and topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*). *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 14:238-243 pp.

Zhang, K., Tian, X.L., Dong, S.L., Feng, J., He, R.P. (2016): An experimental study on the budget of organic carbon in polyculture systems of swimming crab with white shrimp and short-necked clam. *Aquaculture*, 451:58–64 pp.

Zhang, K., Yu, D., Li, Z., Xie, J. (2020): Influence of eco-substrate addition on organic carbon, nitrogen and phosphorus budgets of intensive aquaculture ponds of the Pearl River, China. *Aquaculture*, 520.

Zhang, X.D., Zhang, J.W., Wang, H.Z., Lin, B.B., Chen, L.S., Li, G.B., Wang, Q.M., Deng, J.M. (2019): Evaluation of soybean meal as alternative to fish meal in diet for juvenile Asian red-tailed catfish (*Hemibagrus wyckioides*). *Aquaculture Nutrition*, 25(5):1036-1049 pp.

Zhou, Q.C., Tan, B.P., Mai, K.S., Liu, Y.J. (2004): Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, 241:441-451 pp.

Zhu, D., Cheng, X., Sample, D.J., Yazdi, M.N. (2020): Effect of intermittent aeration mode on nitrogen concentration in the water column and sediment pore water of aquaculture ponds. *Journal of Environmental Sciences*,

Zimmo, O.R., van der Steen, N.P., Gijzen, H.J. (2003): Comparison of ammonia volatilisation rates in algae and duckweed-based waste stabilization ponds treating domestic wastewater. *Water Research*, 37:4587-4594 pp.

www.ahrenhorster.de

www.indexmundi.com

12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBŐL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Közlemény idegen nyelvű referált folyóiratban:

Havasi, M., Kumar, S., **Nagy, Z.**, Beliczky, G., Nagy, S., Bercsényi, M., Gál, D. (2015): Effects of feeding regime on growth feed conversion and size variation of *Silurus glanis*. Croatian Journal of Fisheries/RIBARTSVO, 73(4):142-147 pp.

Havasi, M., Kumar, S., **Nagy, Z.**, Pál, L., Beliczky, G., Bercsényi, M., Gál, D. (2015): Effect of total fish meal replacement with vegetal protein alone or combined with rendered animal protein on growth performance and tissue composition of European catfish (*Silurus glanis*). Israeli Journal of Aquaculture-BAMIDGEH 67, Paper: 1236, 8 p.

Kumar, S., J. Sándor, Zs., **Nagy, Z.**, Fazekas, Gy., Havasi, M., Sinha, A.K., de Boeck, G., Gál, D. (2017): Potential of processed animal protein versus soybean meal to replace fish meal in practical diets for European catfish (*Silurus glanis*): growth response and liver gene expression. Aquaculture Nutrition, 23(5):1179-1189 pp.

Közlemény magyar nyelvű referált folyóiratban:

Nagy, Z., Gál, D., Hancz, Cs. (2017): Effects of different European catfish feeds on production parameters and water quality in limnocorrals. Acta Agraria Kaposváriensis, 21(1):15-27 pp.

Proceedings-ben teljes terjedelemben megjelent közlemények:

Havasi, M., Kumar, S., **Nagy, Z.**, Beliczky, G., Bercsényi, M., Gál, D. (2015): Preliminary study on replacement of fishmeal with rendered animal protein in the feeds of *Silurus glanis*. XXXIX. Halászati Tudományos Tanácskozás, HAKI. Szarvas, 2015. május 20-21., AQUAREDPOT

Kumar, S., J. Sándor, Zs., Fazekas, Gy., **Nagy, Z.**, Havasi, M., Gál, D. (2015): Potential of using processed animal protein (PAP) ingredients to replace fish meal in practical diets for European catfish (*Silurus glanis*). XXXIX. Halászati Tudományos Tanácskozás, HAKI. Szarvas, 2015. május 20-21., AQUAREDPOT

Proceedings-ben megjelent abstractok:

Nagy, Z., Gál, D. (2013): Tápos nevelés hatása a vízminőségre különböző népesítési sűrűségek alkalmazása esetén pontynál és szürke harcsánál. XXXVII. Halászati Tudományos Tanácskozás, HAKI. Szarvas, 2013. május 22-23., 38 pp.

Nagy, Z., Hancz, Cs., Havasi, M., Pál, L., Gál, D. (2014): A halliszt kiváltás lehetőségeinek vizsgálata szürke harcsa (*Silurus glanis*) tavi nevelése során. XXXVIII. Halászati Tudományos Tanácskozás, HAKI. Szarvas, 2014. május 28-29., 42-43 pp.

Nagy, Z., Hancz, Cs., Havasi, M., Pál, L., Gál, D. (2014): Replacement of fishmeal in feeds developed for European catfish (*Silurus glanis*). Aquaculture Europe 14, 405 pp.

Nagy, Z., Gál, D., Havasi, M., Hancz, Cs. (2015): Különböző intenzív harcsanevelési technológiák összehasonlító vizsgálata. XXXIX. Halászati Tudományos Tanácskozás, HAKI. Szarvas, 2015. május 20-21., 39-40 pp.

Nagy, Z., Gál, D., Havasi, M., Hancz, Cs. (2015): Comparative study of two different intensive pond rearing technologies of European catfish (*Silurus glanis*). Aquaculture Europe 15, 318 pp.

Nagy, Z., Gál, D., Hancz, Cs. (2016): Effect of stocking density on growth performance and water quality of European catfish (*Silurus glanis*). Aquaculture Europe 16, 366 pp.

13. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜLI PUBLIKÁCIÓK

Közlemény idegen nyelvű referált folyóiratban:

Szendrő, Zs., Metzger, Sz., Romvári, R., Szabó, A., Locsmándi, L., Petrási, Zs., Nagy, I., **Nagy, Z.**, Biróné Németh, E., Radnai, I., Matics, Zs., Horn, P. (2006): Effect of divergent selection based on CT measured hind leg muscles on productive and carcass traits as well as on meat quality of rabbits. *World Rabbit Science*, 14(4):267-268 pp.

Szendrő, Zs., Matics, Zs., Gyarmati, T., Theau-Clement, M., **Nagy, Z.**, Nagy, I., Princz, Z., Biróné Németh, E. (2006): Milk production of pseudopregnant does. *World Rabbit Science*, 14(4):271-272 pp.

Metzger, Sz., Szendrő, Zs., Romvári, R., Szabó, A., Petrási, Zs., **Nagy, Z.**, Biró-Németh, E., Radnai, I., Matics, Zs., Horn, P. (2006): Effect of divergent selection for the volume of thigh muscles based on computerised tomography on the carcass traits of rabbits. (Preliminary results) *Acta Agraria Kaposvariensis*, 10(2):309-314 pp.

Szendrő, Zs., Matics, Zs., Brecchia, G., Theau-Clément, M., **Nagy, Z.**, Princz, Z., Biró-Németh, E., Radnai, I., Nagy, I. (2010): Milk production of pseudopregnant multiparous does. *World Rabbit Science* 18(2):77-82 pp.

Közlemény magyar nyelvű referált folyóiratban:

Adorján, Á., J. Sándor, Zs., Feledi, T., Percze, V., **Nagy, Z.**, Ardó, L., Dankó, I., Csengeri, I., Rónyai, A. (2014): Növényi összetevőket tartalmazó utónevelő ponty táp tesztelése tavi termelésben. *Halászat*, 107(3):22-28 pp.

Hancz, Cs., **Nagy, Z.**, Gál, D., Varga, D. (2015): Issues of ecological and economical sustainability of fish culture in the southern hydrological basin of Lake Balaton. *Acta Agraria Kaposváriensis*, 19(1):25-29 pp.

Proceedings-ben megjelent abstractok:

Szendrő, Zs., Matics, Zs., Gyarmati, T., Theau-Clément, M., **Nagy, Z.**, Nagy, I., Princz, Z., Biróné Németh, E. (2006): Álvemhes anyanyulak tejtermelése. 18. Nyúltenyésztési Tudományos Nap, Kaposvár, 127-132 pp.

Szendrő, Zs., Metzger, Sz., Romvári, R., Szabó, A., Locsmáncsi, L., Petrás, Zs., Nagy, I., **Nagy, Z.**, Biróné Németh, E., Radnai, I., Matics, Zs., Horn, P. (2006): A CT-vel becsült combizom-tömegre folytatott kétirányú szelekció hatása a növendéknyulak termelési és vágási tulajdonságaira. 18. Nyúltenyésztési Tudományos Nap, Kaposvár, 205-209 pp.

Szendrő, Zs., Metzger, Sz., Romvári, R., Szabó, A., Locsmáncsi, L., Petrás, Zs., Nagy, I., **Nagy, Z.**, Biróné Németh, E., Radnai, I., Matics, Zs., Horn, P. (2008): Effect of divergent selection based on CT measured hind leg muscle volume on productive and carcass traits in rabbits. 9th World Rabbit Congress, Verona, 249-253 pp.

Berzi-Nagy, L., Adorján, Á., J. Sándor, Zs., **Nagy, Z.**, Tóth, F., Kumar, S., Gál, D., Kerepeczki, É. (2015): Növényi eredetű takarmányösszetevők hatása a halastavak üledékére. XXXIX. Halászati Tudományos Tanácskozás, HAKI. Szarvas, 2015. május 20-21., 43 pp.

Tóth, F., **Nagy, Z.**, Berzi-Nagy, L., Gál, D., Kerepeczki, É. (2015): Lebegőanyagok eltávolítási hatékonysága létesített vizes élőhelyeken. XXXIX. Halászati Tudományos Tanácskozás, HAKI. Szarvas, 2015. május 20-21., 71 pp.

Tóth, F., **Nagy, Z.**, Berzi-Nagy, L., Gál, D., Kerepeczki, É. (2015): Effluent treatment of a flow-through fish production system by constructed wetlands in Hungary. Fresh Blood for Fresh Water (FBFW) meeting 2015, 33 pp.

Tóth, F., **Nagy, Z.**, Berzi-Nagy, L., Gál, D., Kerepeczki, É. (2015): Effects of plant-based fish diets on the water quality in a pond experiment. Fresh Blood for Fresh Water (FBFW) meeting 2015, 34 pp.

Berzi-Nagy, L., Adorján, Á., Tóth, F., J. Sándor, Zs., **Nagy, Z.**, Gál, D., Kerepeczki, É. (2015): Effects of different fish diet compositions on water and sediment quality in a pond experiment. Aquaculture Europe 15, 172 pp.

14. SZAKMAI ÖNÉLETRAJZ

1982. szeptember 01-én születtem Tatabányán. Általános iskolai tanulmányaimat a tatabányai Dózsa György Általános Iskolában (1989-1995) és a Kodály Zoltán Ének-Zene Tagozatos Általános Iskolában végeztem (1995-1997). Középiskolás éveimet a tatai Jávorka Sándor Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Szakközépiskola és Szakiskolában töltöttem 1997-2001 között, ahol 2001-ben sikeres érettségi vizsgát tettem. 2001-ben felvételt nyertem a Kaposvári Egyetem Állattudományi Karára, agrármérnök szakra. 2006 nyarán okleveles agrármérnöki diplomát szereztem Állattenyésztés szakirányon. 2007-ben okleveles agrár mérnök-tanári diplomát szereztem. Egyetemi tanulmányaim alatt 4 hónapos svájci farmgyakorlaton vettem részt. 2005-ben német nyelvből középfokú, „C” típusú, mezőgazdasági szaknyelvi, majd 2016-ban angol nyelvből alapfokú (B1), „C” típusú nyelvvizsgát tettem. 2013-ban felvételt nyertem a Kaposvári Egyetem Állattenyésztési Tudományok Doktori iskolájába, ahol 2013-2016. között PhD tanulmányaimat folytattam. 2007 szeptemberétől 2012 szeptemberéig a ceglédi Török János Mezőgazdasági és Egészségügyi Szakgimnázium és Szakközépiskolában dolgoztam, mint szaktanár. 2008 szeptemberétől 2012 szeptemberéig a ceglédi Dózsa György Kollégiumban dolgoztam, mint nevelőtanár. 2012 óta a NAIK Halászati Kutatóintézetben dolgozom tudományos segédmunkatársi, majd 2020 januárjától tógazdasági csoportvezető beosztásban.

15. MELLÉKLETEK

1. táblázat Az 1. kísérletben etetett takarmányok kémiai összetétele és összetevői

	HA ¹	HU ²	K ³	B ⁴	BA ⁵	BB ⁶
Kémiai összetétel, %						
Szárazanyag	89,40	90,70	88,90	89,50	89,50	89,50
Nyers fehérje	34,55	35,60	34,65	35,50	35,50	35,50
Nyers zsír	5,05	5,15	4,39	4,49	4,49	4,49
Nyers rost	0,44	1,52	3,62	3,19	3,19	3,19
Nitrogénmentes kivonható anyagok	42,26	42,53	40,64	40,62	40,62	40,62
Nyers hamu	7,10	5,90	5,60	5,70	5,70	5,70
Összetevők, %						
Szójaliszt	30,30	25,05	40,00	49,74	49,74	49,74
Halliszt	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Húsliszt	0,0	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kukorica	26,50	27,14	16,48	0,00	0,00	0,00
Kukorica glutén	12,20	18,80	19,10	15,44	15,44	15,44
Búza	10,00	10,0	10,00	30,00	30,00	30,00
Repceliszt	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00	0,00
Mono-kalcium foszfát	0,00	0,00	1,30	1,30	1,30	1,30
Napraforgó olaj	1,50	0,87	2,20	2,60	2,60	2,60
DL-metionin	0,00	0,10	0,00	0,07	0,07	0,07
L-lizin	0,00	0,54	0,42	0,35	0,35	0,35
Vitamin és ásványi premix*	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

¹ halliszt; ² húsliszt; ³ kukorica; ⁴ búza; ⁵ búza+xilanáz; ⁶ búza+béta-glükánáz

* Vitamin A: 400 000 IU/kg, Vitamin D3: 200 000 IU/kg, Vitamin E: 6000 mg/kg, Vitamin K3: 918 mg/kg, Vitamin B1: 500 mg/kg, Vitamin B2: 1200 mg/kg, Vitamin B6: 1000 mg/kg, pantoténsav: 3000 mg/kg, folsav: 500 mg/kg, Vitamin C: 10 000 mg/kg, Ca: 22.8 g/100g, Fe: 6000 mg/kg, Zn: 40 324 mg/kg, Mn: 5022 mg/kg, Cu: 1000 mg/kg, Se: 22.5 mg/kg, I: 496 mg/kg, antioxidáns: 2000 mg/kg

2. táblázat A 2. kísérletben etetett haltáp* kémiai összetétele, foszfor és energiatartalma

Nyers fehérje (%)	Nyers zsír (%)	Nyers hamu (%)	Nyers rost (%)	P (%)	BE (MJ)	DE (MJ)
45	15	6,5	3,2	1,1	21,2	17,6

* Összetevők: toll-liszt, halliszt, hemoglobin, baromfiliszt, baromfi takarmányzsír, repce, repceolaj, szója, napraforgó fehérje koncentrátum, tritikálé, vitaminok, ásványi anyagok, búza

3. táblázat A 4. kísérletben etetett haltápok összetevői (g/kg), kémiai összetétele (g/kg sz.a.) és energiatartalma (MJ/kg sz.a.)

	Kezelések						
	FM (kontroll) ¹	SM ₃₀ ²	SM ₆₀ ³	SM ₁₀₀ ⁴	PAP ₃₀ ⁵	PAP ₆₀ ⁶	PAP ₁₀₀ ⁷
Összetevők (g/kg)							
Halliszt	490	350	200	0	350	200	0
Extrahált szójadara	0	200	300	400	0	0	0
PAP-55	0	0	0	0	150	300	450
Búza	280	200	180	160	280	270	285
Kukorica	58	68	48	33	60	62	43
Kukorica glutén	0	0	80	200	0	20	80
Vérliszt	50	50	50	50	50	50	50
Lenolaj	40	40	40	40	28	16	10
Halolaj	5	15	25	40	5	5	5
Élesztő	50	50	50	50	50	50	50
Vit-Min mix*	20	20	20	20	20	20	20
Lignin foszfát	7	7	7	7	7	7	7
Kémiai összetétel (g/kg sz.a.)							
Száranyag	922,5	913,1	909,8	903,5	924,9	918,6	901,2
Nyers fehérje	427,0	428,2	433,4	428,7	427,9	448,4	451,5
Nyers zsír	110,1	110,8	107,0	110,9	98,1	87,1	80,9
Nyers rost	17,7	25,3	27,5	29,5	23,6	27,5	31,5
Nyers hamu	135,0	113,7	91,3	51,5	130,4	121,4	105,2
Nitrogénmentes kivonható anyag	232,7	235,1	250,6	282,9	244,9	234,2	232,1
Bruttó energia (MJ/kg)	16,49	16,73	16,99	17,71	16,23	16,08	16,15

¹ halliszt; ² szójaliszt 30%; ³ szójaliszt 60%; ⁴ szójaliszt 100%; ⁵ feldolgozott állati fehérje 30%;
⁶ feldolgozott állati fehérje 60%; ⁷ feldolgozott állati fehérje 100%

* Vit-Min mix (Cargill Takarmány Zrt.) (bekeverési arány/kg): vitamin A: 1,000,000 IU;
vitamin D3: 80,000 IU; vitamin E: 5000 mg; vitamin K3: 334 mg; vitamin B6: 200 mg; vitamin
C: 11,300 mg; Ca: 114 g; P: 78 g; Na: 1 g; Fe: 670 mg; Zn: 1070 mg; Mn: 160 mg; Cu
(CuSO₄*5H₂O): 200 mg; Se: 20 mg; lizin: 70 g; metionin: 198 g