

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

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 PhD

KÖRNYEZETBARÁT TAVI INTENZÍV HARCSANEVELÉS
TECHNOLÓGIÁJÁT MEGALAPOZÓ KUTATÁSOK

Készítette:
NAGY ZOLTÁN

KAPOSVÁR

2020.

1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉS

A világ népességének állati eredetű fehérjeellátásában jelentős, 17 %-os a halak aránya. Az akvakultúrás termelés az 1950-es évektől kezdve folyamatosan emelkedik. A világ halellátását (2016-ban 171 millió tonna) napjainkra már 53 %-ban az akvakultúra fedezi (FAO, 2018).

A fogyasztói piac, valamint a kereskedelem 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 carpio*) az elsődleges halfaj, jövedelmezőségének a 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. Húsa fehér, szálkátlan és ízletes, ami megfelel a fogyasztói igényeknek. Takarmányértékesítő képessége más ragadozó halfajokhoz hasonlóan rendkívül jó, a 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 akvakultúrás termelés is tovább növekedett, elsősorban intenzív akvakultúrás tavakban (Zhang és mtsai., 2020). 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 tengerek, óceánok túlhalászatának következtében a halliszt termelés az 1994-es évtől ingadozó, de összességében csökkenő tendenciát mutat. 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 már sikeresen csökkentették a halliszt mennyiségét, pl. a csatornaharcsa (*Ictalurus punctatus*) (Twibell és Wilson, 2004) és a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) (Gibson Gaylord és mtsai., 2007) esetében.

Kutatómunkám során az alábbi célkitűzések megvalósítására törekedtem:

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, a tavak vízminőségére és az üledék kémiai összetételére.
3. Célom volt annak meghatározása, hogy a különböző kezelések, úgy mint 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.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Jelen dolgozatban négy kísérlet kerül ismertetésre. Az 1. kísérletben harsát 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 (Ko), keverés (KE), Na-perkarbonát (Na), baktérium készítmény (B), 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 harsát takarmányoztam a hallisztet eltérő mértékben kiváltó szójalisztet és feldolgozott állati fehérjét tartalmazó takarmányokkal. A kísérletek fontosabb adatait az 1. táblázatban foglaltam össze.

1. 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 paramétere
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 paramétere
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 paramétere
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

2.1. 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.

2.2. Kísérleti beállítások

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

A 97 napos 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 % fehérjetartalmú, de különböző fehérjeforrású takarmányt etettem háromszoros ismétlésben. A kísérleti tápokot véletlenszerűen kiválasztott limnokorallokban etettem. 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 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 az üledék felső 10 cm-ből történt.

2.2.2. 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 kísérletben a halakat 4-4 db két különböző méretű (350 m², 700 m²) tavakba helyeztem el. A monokultúras kezelésnél a tavakba harcsát telepítettem. Az intenzív-extenzív kezelésnél a harcsák 2 db 3x3x2 m-es és 2 db 3x6x2 m-es ketrecekbe kerültek. A ketrecen kívüli víztérbe kétnyaras pontyokat helyeztem. 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±2,5 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 kapott. A vizsgálat során alkalmazott takarmány kémiai összetételét 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 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. A mintavétel az üledék felső 10 cm-ből történt.

2.2.3. Különböző tókezelési eljárások hatása az üledék- és vízminőségre

Az 57 napos vizsgálat során 27 db 5 literes befőttesüveget használtam. Az üvegekbe magas szőrazanyag-tartalmú üledéket helyeztem, üvegenként 600 g-ot. Az üledék a NAIK HAKI elfolyó vizét befogadó Bikazugi Holt-Körös nyugati ágából származott. 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.

2.2.4. Halliszt helyettesítése szőjaliszttal és feldolgozott állati fehérjével a harcsa takarmányozásában

A 80 napos kísérletben egy 1700 m²-es tóba, kezelésenként 3 db 3x3x3 m-es ketrebe 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 ettettem 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 ettettem. A vizsgálat során alkalmazott takarmányok összetételét a Mellékletek 3. táblázatában mutatom be.

2.3. 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 mintavétel előtt a halakat szegfűszegolajjal elkábítottam, majd kíméletesen leöltem. A boncolást követően a mintákat minden hal esetében a májnak ugyanazon részéről vettem. Ketrecenként 2 mintát lefagyasztottam folyékony nitrogénben, és $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tároltuk az alanin aminoszferáz (ALT) és aszpartát aminoszferáz (AST) analízisig. A további két májmintát szintén $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -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 Haltakormányozástani laboratóriumában az AOAC (1995) módszerei szerint került meghatározásra. A minták szárazanyag-tartalma gravimetrikus úton, 4 órás, $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ -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 ($\text{N} \times 6,25$) 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, $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on történő égetés után került sor. A nyersrost-tartalom zsírtalanított takarmánymintából kénsavval ($0,51\text{ mol/l}$) és kálium-hidroxiddal ($0,89\text{ mol/l}$) végzett emésztés után került meghatározásra 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 vizsgálatok során a kísérleti víztérből vett víz- és üledékminták kémiai analízisét a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Öntözési és Vízgazdálkodási Kutatóintézet Környezetanalitikai Központ Vizsgáló Laboratóriumában (NAIK ÖVKI KAK) végezték.

2.4. Génexpresszió

2.4.1. RNS kivonás

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 méréssel ellenőriztük (>1,95).

2.4.2. cDNS szintézis

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.

2.4.3. 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.

2.4.4. Fehérje metabolizmus enzimek

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.

2.5. Statisztikai módszerek

A statisztikai értékelést az IBM SPSS for Windows 22.0 programcsomag (2013) segítségével végeztem el. A vizsgált változók normális eloszlásának vizsgálatához Kolmogorov-Szmirnov tesztet, míg a varianciák homogenitásának vizsgálatához 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 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 teszttel 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 Duncan's multiple range tesztet alkalmaztam.

Az egytényezős varianciaanalízis 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.

3. EREDMÉNYEK

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

3.1.1. A termelési paraméterekre vonatkozó eredmények

A kísérlet végén a HA és a HU kezelések átlagos testtömegei szignifikánsan magasabbak ($p < 0,05$) voltak a B, BA és a BB kezelésekhez képest (2. táblázat). Azonban a K kezelés egyik csoporttól sem különbözött szignifikánsan. A relatív testtömeg növekedés esetében a B és a K kezelések szignifikánsan ($p < 0,05$) különböztek a HA kezeléstől, viszont a HU kezeléstől nem. Az SGR értékeket vizsgálva megállapítható, hogy a két enzimmel kezelt csoport szignifikánsan alacsonyabb ($p < 0,05$) értékeket mutatott, mint a HA és a HU csoportok. Az állati fehérjét tartalmazó kezelések nem különböztek szignifikánsan egymástól. A takarmányértékesítő-képesség esetében a HU kezelés szignifikánsan nem különbözött a HA kezeléstől. A fehérjehasznosítás vonatkozásában, szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) találtam a HA és az összes olyan kezelés között, mely nem tartalmazott állati fehérjét.

2. táblázat A harsca növekedési paraméterei (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+xilánáz; ⁶ búza+beta-glükánáz; ⁷ napi növekedési arány; ⁸ takarmányértékesítés; ⁹ fehérje hasznosulási arány

3.1.2. A víz fizikai és kémiai paramétereire vonatkozó eredmények

A vizsgálat során a kísérleti vízterek oldott oxigénszintje (DO) 6,67±0,34 mg/l volt. A pH relatíve stabil értékeket mutatott a vizsgálat ideje alatt (7,86±0,05). 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 tudtam kimutatni (3. táblázat). A vizsgálat ideje alatt az ammónium-nitrogén (NH₄-N) szintjének a változását figyeltem meg, amely összefüggésben volt a kijuttatott takarmány mennyiségének a változásával. A nitrát-nitrogén (NO₃-N) értékek a NH₄-N értékekhez hasonlóan változtak a vizsgálat során, többé-kevésbé ellentétesen a NH₄-N-hoz képest, ami a NH₄-N nitráttá való átalakulásával magyarázható. A összes nitrogén (TN) szintje az etetés kezdetét követően mind a hat csoportnál megemelkedett a takarmánnyal bejuttatott nitrogén mennyiségének köszönhetően. 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. A vizsgálat első harmadától az ortofoszfát (PO₄-P) értékek folyamatosan 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.

3. táblázat A víz kémiai paramétere (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±0,011	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+béta-glükánáz; ⁷ ammónium-nitrogén; ⁸ nitrát-nitrogén; ⁹ nitrit-nitrogén; ¹⁰ összes nitrogén; ¹¹ ortofoszfát-foszfor; ¹² összes foszfor; ¹³ összes lebegőanyag; ¹⁴ klorofill-a

3.1.3 Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények

A limnokorallokból vett üledékminták elemzésének az adatai a 4. táblázatban láthatók. A kezelések között nem volt szignifikáns különbség az üledék szárazanyag-tartalmában, de kismértékű eltérések ennek ellenére megfigyelhetők voltak, ami magyarázható a különböző takarmányok eltérő emészthetőségével. A Kjeldahl-N (KN) tartalom a vizsgálat ideje alatt a csoportok között eltérően változott. A K és a B kezeléseknél növekedett, míg a többi kezelés esetében az értékek csökkentek. 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. A kísérlet zárását követően

az üledék foszfor tartalmának vizsgálatokor a kezelések között szignifikáns különbséget nem találtam. 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.

4. 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

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

3.2.1. A termelési paraméterekre vonatkozó eredmények

A kísérleti állomány növekedési paraméterei az 5. táblázatban láthatóak. 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 speciális növekedési ráta (SGR) esetében a ragadozó halak esetében elvárható értékhez képest jelentősen gyengébb eredményeket ($0,9\pm 0,1$ %) kaptam mind a két kezeléskor. Ezek a kevésbé jó eredmények összefüggésben állhatnak a ketrecekben tartott állományok nagyobb mértékű pazarlásával, valamint a monokultúras kezeléskor az etetések számával. A ketrecekben kívüli vízterbe kihelyezett pontyok 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.

5. táblázat A harcsa és ponty növekedési paraméterei (átlag±szórás)

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

3.2.2. A víz fizikai és kémiai paramétereire vonatkozó eredmények

A vizsgálat ideje alatt a tavak DO szintje az I-E kezeléskor $7,16\pm 2,17$ mg/l, a M kezeléskor $7,73\pm 2,23$ mg/l volt. Az átlagos pH értékek $8,0\pm 0,3$ (I-E) és $8,09\pm 0,36$ (M) voltak. A vizsgálat során vett vízminták adatait a 6. táblázat tartalmazza. A különböző paraméterek statisztikai vizsgálata szignifikáns különbséget eredményezett a vizsgált nyolc paraméter közül négyenél. A nitrát-nitrogén (NO₃-N), az ortofoszfát-foszfor (PO₄-P), az összes lebegő-anyag

(TSS) és a klorofill-a (Chl-a) esetében a két kezelés adatai között szignifikáns eltérést tapasztaltam. A TSS az intenzív-extenzív kezelésnél több mint kétszeres volt a monokultúras kezeléshez képest. Ez a jelentős különbség visszavezethető arra, hogy a ketteceken kívüli víztérbe a kísérlet elején kétnyaras pontyokat helyeztünk ki, melyek az aljzat folyamatos túsásával 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 a mértéke, ami csökkentette a fitoplankton nagyobb mértékű elszaporodását. A TSS értékek meghaladták a 28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 2. számú mellékletében a 3. számú területi kategóriánál megállapított határértékeket, ami egyébként jellemző a tavi halgazdálkodásra.

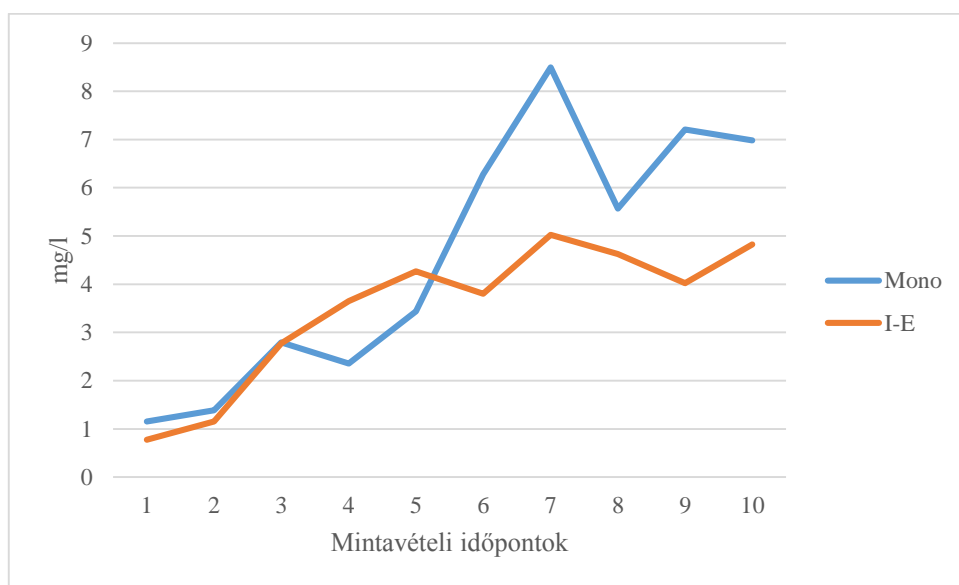
6. táblázat A víz kémiai paraméterei (átlag±szórás)

	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-foszfor (mg/l)	Összes foszfor (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

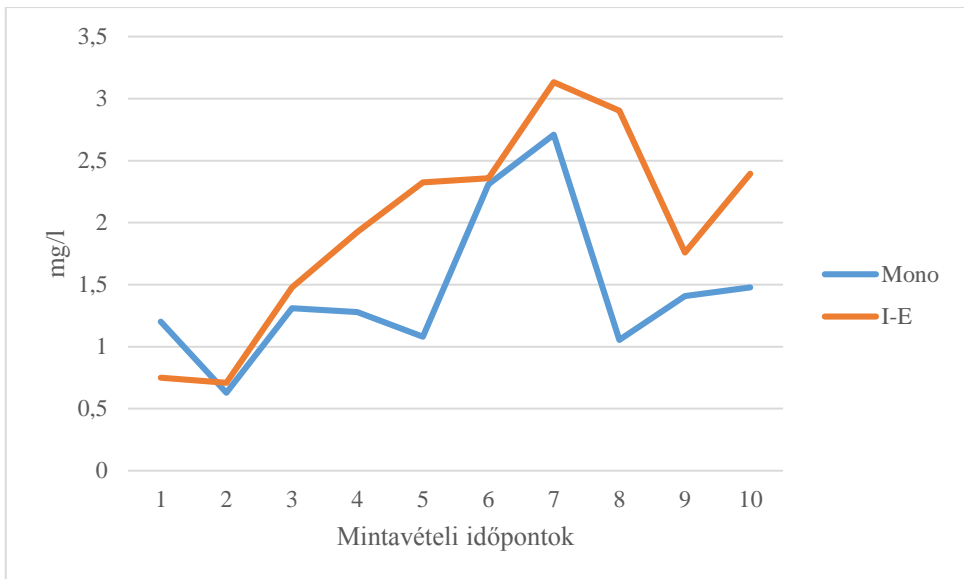
¹ monokultúra; ² intenzív-extenzív

Az 1., 2. és 3. ábra az összes nitrogén, az összes szerves nitrogén és az összes szerves nitrogén időbeli változását szemlélteti. Amint az ábrákon látható, az I-E kezelésnél a nitrogén-tartalmú paraméterek változása közel egyenes volt. Ezzel ellentétben az M kezelésnél az összes nitrogén és az összes szerves nitrogén értékei a kísérlet második felében nagymértékben

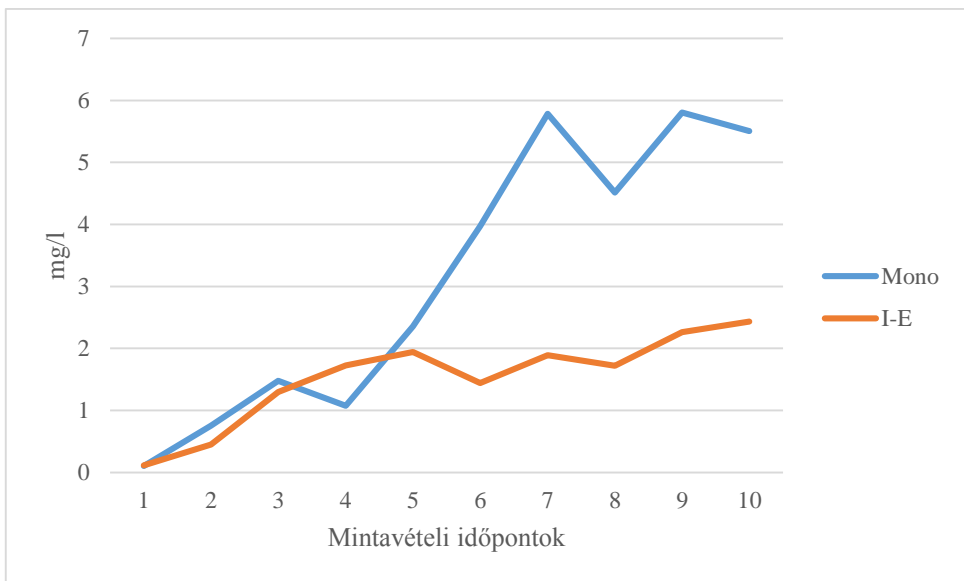
eltértek az I-E kezelés értékeitől. A 3. ábrán látható, hogy az M kezelésnél a szerves nitrogén mennyisége az 5. mintavételtől kezdve nagymértékű növekedésnek indult. Ez összefüggésben áll a klorofill-a időbeli változásával, mely hasonló képet mutatott. A kombinált népesítés esetén a víztest alacsonyabb 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 monokultúrás tavakét.



1. ábra A vizsgált vizek összes nitrogén értékei



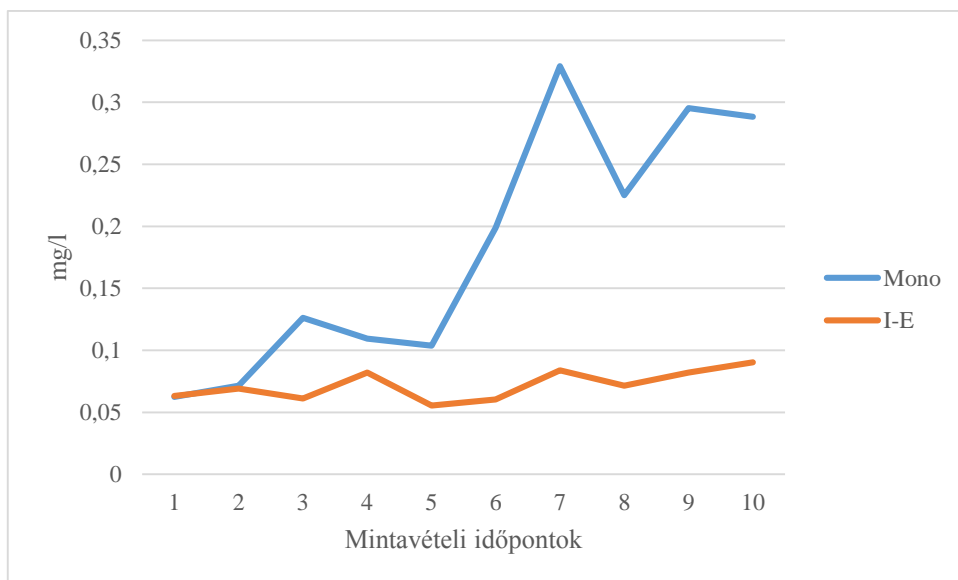
2. ábra A vizsgált vizek összes szervetlen nitrogén értékei



3. ábra A vizsgált vizek összes szerves nitrogén értékei

A 4. 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. 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.



4. ábra A vizsgált vizek ortofoszfát-foszfor értékei

3.2.3. Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények

Mind a két kezelésnél a minták szárazanyag-tartalma a kísérlet végére csökkent (7. táblázat). 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. 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.

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

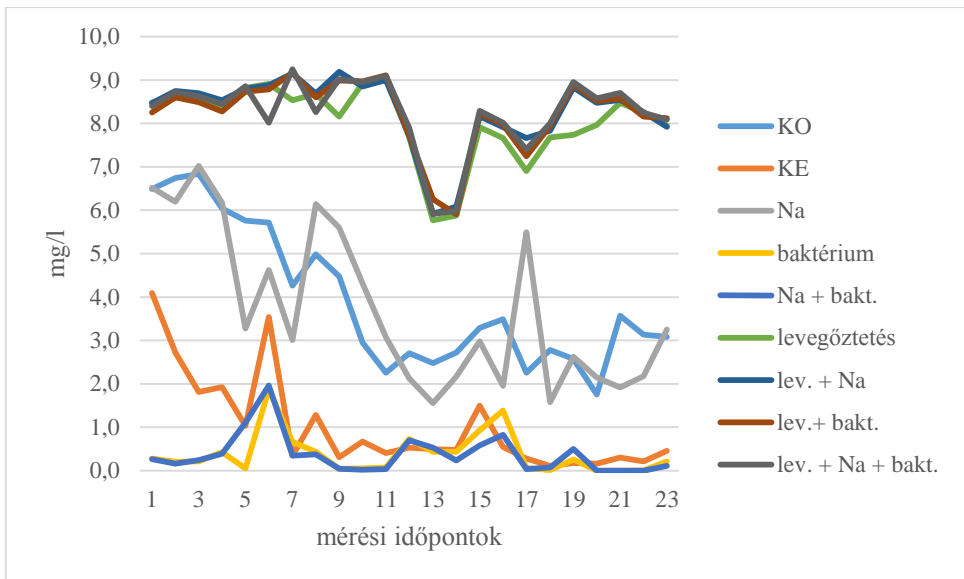
		szárazanyag (m/m %)	Kjeldahl-N (mg/kg szá.a.)	Foszfor (mg/kg szá.a.)
M ¹	Induló	61,5±11,3	1630,8±1515,9	1133,6±751,8
	Befejező	43,3±10,6	2901,5±1661,8	1778,8±1654,1
I-E ²	Induló	69,2±6,4	1622,5±1826,5	2001,5±2023,4
	Befejező	60,4±7,7	1200,8±859,0	1299,9±1318,4

¹ monokultúra; ² intenzív-extenzív

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

3.3.1. A víz kémiai paramétereire vonatkozó eredmények

A kísérlet ideje alatt a kezelések oldott oxigén szintjét az 5. ábra mutatja. Látható, hogy az egyes kezelések görbéi három különböző csoportot alkotnak. Az első csoportba azok a kezelések kerültek, amelyekben levegőztetést alkalmaztunk. Az ábra középső részén a kontroll és a Na-perkarbonát kezelés látható. 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-perkarbonátot. 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.



5. ábra A kísérleti vizek oldott oxigéntartalmának időbeli alakulása

A kísérlet során, a kezelésekből vett vízminták eredményeit a 8. táblázat mutatja be. Az ammónium-N esetében a B és az NaB kezelések jelentősen eltértek a többi kezeléstől. Az LB és az LNaB értékei szintén magasabbak voltak a másik öt kezeléshez képest. Hasonló tendenciákat figyeltem meg az összes szerves nitrogén (TON), az összes szerves nitrogén (TON), a TN és a PO₄-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 ammónium oxidáció megnőtt, és az ammónium-N koncentráció csökkenésével párhuzamosan emelkedett a nitrit és nitrát tartalom.

8. 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

3.3.2. Az üledék paramétereire vonatkozó eredmények

A 9. 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 KN adatokat vizsgálva azt figyeltem meg, hogy az üledékben a KN mennyisége növekedett, a B kezelésnél közel a duplájára. 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.

9. 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

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

3.4.1. A teljes test kémiai összetétele

A kísérlet során felhasznált takarmányok eltérő SM és PAP szintjeinek a harcsa testösszetételére gyakorolt hatását a 10. táblázat mutatja be. A teljes test elemzése kimutatta, hogy akár szójaliszttal, 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. A halliszt szójaliszttal történő helyettesítése szignifikánsan csökkentette ($p < 0,05$) a teljes test nyerszsír-tartalmát, 60 %-os helyettesítési szintig. A teljes test hamutartalmában nem találtam szignifikáns különbséget a különböző kezelések között.

10. 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%

3.4.2. Növekedési teljesítmény és tápanyag felhasználás

A kísérletben az SM vagy a PAP szintje szignifikánsan ($p < 0,05$) befolyásolta a növekedési teljesítményt. 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 (11. táblázat). 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. A helyettesítési szint emelkedésével a fehérje-termelési érték csökkent ($p < 0,05$).

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

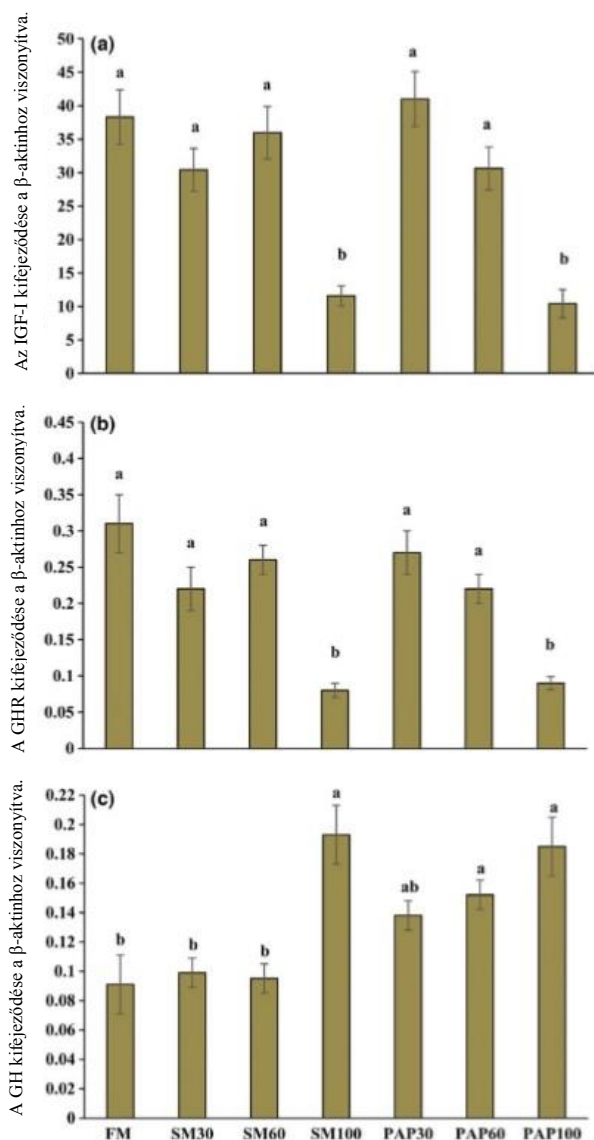
Kezelések	Induló testtömeg (g)	Befejező testtömeg (g)	Testtömeg gyarapodás (g)	Testtömeg növekedés (%)	MGR ⁸	FCR (g/g) ⁹	PER (g/g) ¹⁰	PPV (%) ¹¹
FM (kontroll) ¹	351,03±0,09	935,12±7,10 ^a	584,08±7,10 ^a	166,39±2,02 ^a	6,50±0,10 ^a	1,31±0,04 ^b	1,78±0,05 ^a	30,02±1,88 ^a
SM30 ²	350,88±0,08	899,83±10,88 ^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

Az esszenciális aminosav (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 lizin- és treonin-tartalom csökkent a takarmányokban az SM és a PAP arányának a növekedésével. A metionin-tartalom csupán azokban a takarmányokban csökkent, amelyeknél az SM kiegészítést alkalmaztam.

3.4.3. A növekedéssel kapcsolatos gének expressziója.

A máj IGF-I mRNA expressziós szintje szignifikánsan alulszabályozott volt az SM100 és PAP100 takarmányokkal etetett halak esetében összehasonlítva a kontroll és a többi kísérleti csoporttal (6a. ábra). A GHR mRNA szintjének szignifikáns csökkenését figyeltem meg az SM100 és a PAP100 kezeléseknél a kontroll csoporthoz képest (6b. ábra).. A GHR átírási szintjének csökkenése szintén ebben a két csoportban (SM100 és PAP100) volt szignifikánsan alacsonyabb a többi kezeléshez képest. A kezeléseket vizsgálva a GH gén expressziós mintázata ellentétes volt az IGF-fel és a GHR-rel (6c. ábra). Az IGF-fel és a GHR-rel ellentétben az SM100 és a PAP100 kezeléseknél a GH mRNA átírási szintje szignifikánsan megemelkedett a kontroll csoporthoz képest.



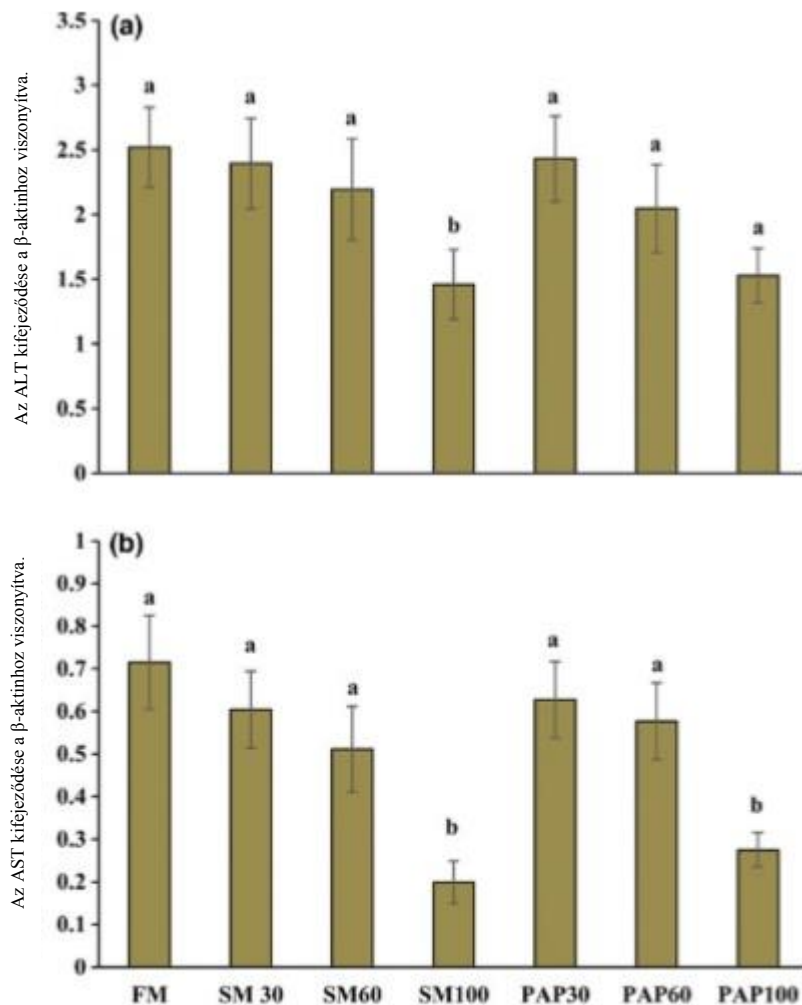
6. ábra Az IGF-I (a), GHR (b) és GH (c) gének kifejeződése a β -aktinhoz viszonyítva

3.4.4. 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 (7a. ábra).

3.4.5. A fehérje metabolizmushoz kapcsolódó enzimek aktivitása.

Az ALT és AST enzimek esetében az aktivitási válaszok hasonlóak voltak az mRNS expressziós adatokhoz (7b. ábra). Az SM és a PAP szintjének növelésével az enzimek aktivitása csökkent. Legalább 60 %-os helyettesítési szintnél a két enzim aktivitása alacsonyabb ($p < 0,05$) volt, mint a kontroll csoportban.



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

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az 1. kísérlet során a halakkal feletetett takarmányokban az eltérő fehérjeforrások hatással voltak a szürke 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 szürke 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. Az üledék vizsgálata során a minták szárazanyagtartalma minden csoport esetében emelkedett, amihez hozzájárult a kísérlet előrehaladtával kijuttatott takarmány növekvő mennyisége.

Az eltérő tartástechnológiában (M; I-E) nevelt állományok növekedési paramétereiben nem találtam szignifikáns különbséget. 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 kezelésnél a ketrecen kívüli víztérbe kihelyezett pontyállomány sikeresen felnevelhető kiegészítő takarmányozás nélkül. A tenyészidőszak végén a ponty, mint “melléktermék” plusz bevételi forrást jelenthet a gazdálkodók számára. Az összes lebegőanyag mind a két kezelés esetében meghaladta a

28/2004. (XII.25.) KvVM rendelet 2. számú melléklete által meghatározott határértékeket.

A különböző tókezelési 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 szintnek az oka feltételezhetően a természetes vizekben előforduló algapopuláció hiánya lehet. A kezelések hatására a vízkémiai paraméterekben jelentős különbségek alakultak ki. A TAN értékek a B és az NaB csoportoknál voltak kimagaslóak, amihez hozzájárult a vizsgálat során a víztérbe juttatott baktérium kultúra. A nitrifikáció során végbemenő kémiai folyamatoknak köszönhetően az LB és LNaB kezeléseknél az NO₃-N értékek emelkedtek ki. A PO₄-P értékek szintén ennél a négy csoportnál voltak magasabbak, amely a bakteriális tevékenységnek volt köszönhető. A kezelések 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 TAN tartalommal és a heterotróf biomasszával állhat összefüggésben.

A takarmány SM és PAP szintje szignifikánsan befolyásolta a szürke 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. A takarmányok aminosav elemzése 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. 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 csökkent növekedésnek és tápanyag-felhasználásnak a másik oka az emészthetetlen rost magas aránya az SM₁₀₀ és PAP₁₀₀ takarmányban, amely csökkenti az emészthető energiát. 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. 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.

5. ÚJ KUTATÁSI 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, különös tekintettel a baktériumos kezelésre. 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.

6. JAVASLATOK

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 a halliszt alternatívjaként javasolható a szürke harcsa takarmányozásában.

Az eltérő tartástechnológiák összehasonlításakor a kombinált népesítés a víztest alacsonyabb összes N tartalmát eredményezte, amely az extenzív komponens szűrő hatásával magyarázható. Ekkor 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 monokultúrás tavakét. A kedvezőbb vízminőségi mutatók és a járulékos pontyhozam miatt javaslom a kombinált rendszerek alkalmazását a szürke harcsa tenyésztésében.

A különböző tókezelési eljárások összehasonlításának eredményei alapján a baktérium kiegészítés levegőztetéssel való együttes alkalmazása jelentősen segíti az üledék szervesanyag-tartalmának lebomlását, ezért javaslom az intenzív tavak levegőztetését, különösen baktérium készítmény alkalmazása esetén.

A takarmány SM és PAP szintje szignifikánsan befolyásolta a szürke harcsa növekedését. Az FM több, mint 60 %-át helyettesítve a testtömeg-növekedés, az FCR és a PER romlik, ezért nem javaslom ezen összetevők ennél nagyobb arányban történő alkalmazását a szürke harcsa takarmányában.

7. 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.

8. MELLÉKLETEK

1. táblázat Az 1. kísérletben alkalmazott tápok összetevői és kémiai összetétele

	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 használt, kereskedelmi forgalomban kapható táp kémiai összetétele

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 takarmányszír, repce, repceolaj, szója, napraforgó fehérje koncentrátum, tritikálé, vitaminok, ásványi anyagok, búza

3. táblázat A 4. kísérletben használt tápok összetevői (g/kg) és kémiai összetétele (g/kg szá.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 szá.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