

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**Eltérő összetételű horgászati etetőanyagok vízi
tápanyagforgalomra és halak szervezetére gyakorolt
hatásainak vizsgálata**

Fazekas Dorottya Lilla

Témavezetők:

Dr. Antal László egyetemi docens

Dr. Mozsár Attila tudományos főmunkatárs



DEBRECENI EGYETEM

Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen

2025

1. Bevezetés

A horgászat a turizmus és a szabadidős tevékenységek egyik legfontosabb és folyamatosan fejlődő ága, különösen a fejlett országokban (Hjalager 2010, Dokulil 2014, Imbert *et al.* 2022). Az iparosodott országok lakosságának mintegy 10%-a érdeklődik a horgászat iránt; számuk világviszonylatban több száz millió (Arlinghaus *et al.* 2015, Elmer *et al.* 2017, Embke *et al.* 2019), ami jelentős nyomást jelent a vízi ökoszisztémák számára.

A horgászok gyakorta használnak csalogató- és etetőanyagokat, hogy a halakat a meghorgászott területre csalogassák, helyben tartsák. Az európai édesvizekben a horgászok átlagosan 1 - 2 kg, míg a pontyra specializálódott horgászok 3 kg (Wolos *et al.* 1992, Arlinghaus & Mehner 2003, Boros *et al.* 2022) etetőanyagot juttatnak a vízbe horgásznaponként, ami országos léptékre nagyítva elérheti a több ezer tonnát is évente (Mehner *et al.* 2018). Egy hazai vizsgálat kimutatta, hogy a Balatonba évente több, mint 2000 tonna etetőanyag kerül (Boros *et al.* 2022). Látható tehát, hogy a horgászat népszerűségének növekedésével a horgászati etetőanyag-használat fokozott figyelmet érdemel.

A nagy mennyiségben vízbejuttatott etetőanyagok – magas nitrogén-, és foszfortartalmuk révén - tápanyagterhelést jelenthetnek az érintett víztesteknek (Wolos *et al.* 1992, Imbert *et al.* 2022). A hatás mértéke függ az etetőanyagok mennyiségétől és típusától (Boros *et al.* 2022), valamint a víztestek trofikus állapotától és mélységétől (Dokulil *et al.* 2014). Ily módon egy magas horgásznyomásnak kitett sekély, tápanyagszegény víztestet fokozottan ki van téve az eutrofizálódás kockázatának (Dokulil *et al.* 2014).

Horgászati szempontból intenzívebben hasznosított vizekben az etetőanyagok fontos táplálékforrást jelenthetnek a halak – elsősorban, de nem kizárólag pontyfélék – számára (pl.: Specziár *et al.* 1997). Mégis, nagyon keveset tudunk az etetőanyag-fogyasztás halak fiziológiájára gyakorolt hatásairól, melyek megismerése nagyon fontos, mind természetes vizeink halállományának védelme, mind pedig a mesterséges horgásztavak gazdasági fenntarthatósága érdekében.

Napjainkban számtalan etetőanyag-típus van forgalomban, amelyek összetevőikben és tápanyagtartalmukban jelentősen különbözhetnek egymástól (Imbert *et al.* 2022). Általánosságban elmondható, hogy lehetnek tisztán állati eredetű (pl. hal-, hús- és kagylóliszt) vagy növényi eredetű összetevőkből (pl. őrölt gabonafélék), illetve ezek keverékéből álló termékek (Wolos *et al.* 1992, Niesar *et al.* 2004, Boros *et al.* 2022). Mind a tápanyagterhelés, mind a halakra gyakorolt hatásuk szempontjából kulcsfontosságú az etetőanyagok összetétele. Ez alapján kiemelkedő jelentőségű a különböző összetételű és tápanyagtartalmú etetőanyagok hatásainak vizsgálata.

2. Célkitűzés

Munkám során a célkitűzéseim a következők voltak:

- (i) *Az etetőanyag-használat rövidtávú tápanyagterhelésének mértéke a vízoszlopra.* E témakörön belül a következő kérdésekre kerestem a választ: (a) mekkora mértékű a nitrogén és a foszfor felszabadulása az elfogyasztott és az el nem fogyasztott állati- és növényi alapú etetőanyagokból, (b) a hőmérséklet változása milyen hatást gyakorol a tápanyag felszabadulásának dinamikájára.

- (ii) *Az etetőanyag-fogyasztás hatása a halak növekedésére és egészségére.* Megválaszolandó kérdéseim: (a) az állati- és növényi alapú etetőanyagok eltérő hatással vannak-e a halak növekedésére, (b) tapasztalható-e zsírfelhalmozódás és gyulladás a halak szervezetében az eltérő összetételű etetőanyagok fogyasztásával összefüggésben.

3. Anyag és módszer

3.1. Az etetőanyagok vízre gyakorolt hatása

3.1.1. *A kísérletben használt etetőanyagok*

Az állati és növényi alapanyagok emészthetősége és – feltételezhetően – az oldhatósága jelentősen eltér, így a tápanyag-felszabadulásban a legfontosabb különbségeket az állati- és növényi alapú etetőanyagok között feltételeztük. Vizsgálatainkhoz ezért egy főként állati eredetű összetevőkből és egy döntően növényi alapú etetőanyagot választottunk ki. Az állati alapú etetőanyag egy 8 mm átmérőjű, henger alakú pellet volt, míg a növényi alapú etetőanyag egy 18 mm átmérőjű kerek bojlit. A hasonló méret biztosítása érdekében a növényi alapú bojlit nyolc darabra aprítottuk.

3.1.2. *Laboratóriumi kísérletek- az etetőanyagokból történő tápanyagoldódás*

A tisztán oldódásból származó nitrogén- és foszforfelszabadulást, és azok hőmérsékletfüggését laboratóriumi körülmények között vizsgáltuk. A kísérleteinkhez 25 literes üvegmedencéket használtunk, amelyeket 20 liter csapvízzel töltöttünk fel. A hőmérsékletfüggés vizsgálatához a kísérleteket 13°C és 23°C-on végeztük el. Kezelésenként (kétféle etetőanyag és két hőmérséklet) három-három ismétlést futtattunk. A nitrogén- és foszfor-mérésekhez közvetlenül az etetőanyagok hozzáadása előtt (0. óra), majd 24 órán keresztül minden hatodik órában vízmintát vettünk. Következő lépésként, hosszabb időtávban is vizsgáltuk az oldódási folyamatokat. Ehhez a 23°C-on végzett kísérletet megismételtük, de 24 óra helyett 5 napos időtartammal. Vízmintákat az etetőanyagok hozzáadása előtt és minden 24. órában vettünk 5 napon keresztül. A vízmintákból oldott nitrogén (ammónia, nitrit, nitrát) és foszfor (ortofoszfát) mérés automatikus elemzőegységgel történt. Az adott megfigyelési időszakban kioldódó nitrogén és foszformennyiséget az etetőanyaggal bevitt mennyiségük százalékában fejeztük ki. Az adatokat többszemponyos (kevert) varianciaanalízissel (ANOVA) értékeltük.

3.1.3. *Kültéri tartálykísérletek – etetőanyagokból történő tápanyag-felszabadulás halak jelenlétében és hiányában*

Pontyokkal (*Cyprinus carpio*) végzett szabadtéri tartálykísérletek segítségével vizsgáltuk, hogy az elfogyasztott, illetve az el nem fogyasztott etetőanyagok mekkora foszfor- és nitrogénterhelést jelentenek a vízoszlop számára. Tizenkét, hengeres, levegőztetett, szabadtéri, átfolyó rendszerű tartályt állítottunk fel oldalról nyitott, de az időjárás viszonyaitól felülről védett sátor alatt. A 60 cm magas, és 80 cm átmérőjű tartályokat 250 liter vízzel töltöttünk fel egy a Kákafoki-holtág (Körös-holtág) által táplált ülepítő tóból.

A kísérleteket a laboratóriumi vizsgálatban használt kétféle etetőanyaggal végeztük, melyek közül a növényi alapú bojlit ugyanúgy feldarabolva kínáltuk. Az etetőanyagok típusa (állati- és növényi alapú etetőanyag) és a halak jelenléte/hiánya alapján összesen ötféle kezelést alkalmaztunk: (1) állati alapú etetőanyag × halmentes és a (2) növényi alapú etetőanyag × halmentes az el nem fogyasztott etetőanyagok hatását

modellezte; az (3) állati alapú etetőanyag × hal, és a (4) növényi alapú etetőanyag × hal az elfogyasztott etetőanyagok hatását modellezte; illetve az (5) etetőanyag mentes × hal az alapvető endogén (azaz nem a táplálkozással összefüggő) tápanyag-kiválasztást jellemzésére.

Tartályonként 3 db (300-500 g tömegű) egyéves pontyot telepítettünk, melyek össztelege tartályonként 1133 ± 143 g volt. Egy egyhetes akklimatizációs idő után a kísérletsorozatot május 16. és június 11. között végeztük 14°C , 17°C , 20°C , 22°C és 26°C növekvő átlagos víz hőmérséklet mellett. A kísérletek időtartama 24 óra volt, melyek előtt a víz átfolyását megszüntettük, vízmintát vettünk minden tartályból (0. időpont), majd az etetőanyagokat a tartályokba helyeztük. Az etetőanyagokból a halak nedves testtömegének 2%-ával megegyező mennyiséget kínáltunk fel, míg a hal nélküli medencékbe a halas tartályokba juttatott etetőanyagok mennyiségének átlagát helyeztük. A 24 óra letelte után újabb vízmintát vettünk, majd a vízátfolyást visszaállítottuk. Mind a kísérlet előtti akklimatizáció, mind a kísérletek közötti pihenőidőszakok alatt a halakat naponta kétszer akvakultúrában használt haltáppal (Aller master, 8 mm, származás: Dánia) etettük, de minden kísérlet előtt 1 napos táplálékmenyont alkalmazzunk.

Az etetőanyagok tápanyagtartalmának meghatározásához az örölt etetőanyag-mintákat 60°C -on tömegállandóságig szárítottuk, majd dörzsmozással homogenizáltuk. A nitrogéntartalom mérés Kjeldahl-módszerrel történt, míg a foszfortartalmat mikrohullámmal segített salétromsav-hidrogén-peroxidos feltárással és az azt követő ICP-OES méréssel határozták meg. A vízminták összes nitrogén (TN) és az összes foszfor (TP) tartalmának meghatározásához kálium-perszulfátos feltárási módszert alkalmaztak; a felszabadult nitrogén- és foszforformákat, valamint a vízminták oldott nitrogén- és foszfortartalmát automatikus elemzőegységgel (Ganimede-N és P, Hach Lange) mérték.

A statisztikai analízis során a tápanyag-felszabadulásra vonatkozó, kezeléssekkel kapcsolatos változásokat (azaz az etetőanyagok behelyezése előtti (0. óra) és a kísérlet végi (24. óra) mérések közötti különbséget – Δ értékek) a tartályvízben lévő nitrogén- és foszforformák (szervetlen, szerves és összes) koncentrációjában értékeltük. Az adatokat általános lineáris modellekkel (ANOVA, GLM) értékeltük ki, amelyek az egyes kísérleti köröket random faktorként, a kezelést pedig fix hatásként vették figyelembe.

3.2. Az etetőanyagok halakra gyakorolt hatása

A kísérletbe két döntően állati és két növényi összetevőkből álló etetőanyagot választottunk, mivel a növényi és állati eredetű összetevők aránya a halak növekedése és egészségi állapota szempontjából meghatározó. A kontroll táp a korábban használt akvakultúrák haltáppal (Aller master, 8mm).

Hathetes takarmányozási kísérletet végeztünk a MATE HAKI recirkulációs akvakultúra-rendszerében (RAS) tógazdasági akvakultúrából származó pontyokkal. A karanténidőszak lejártával a halakat 15 db, hálóval fedett, 1 m^3 -es tartályba helyeztük. Tartályonként 5 db halat telepítettünk, melyeket egyedi jelekkel (PIT) láttunk el. A halak kezdeti testtömege ($557\text{ g} \pm 155\text{ g}$) nem különbözött jelentősen a tartályok között (ANOVA, $F_{1,14}=0,49$, $p=0,675$). Az átlagos állománysűrűség tartályonként 2786 g/m^3 ($\pm 314\text{ g}$) volt a kísérlet elején, és 4382 g/m^3 ($\pm 633\text{ g}$) a kísérlet végén.

Az etetőanyagok alapján ötféle kezelést alkalmaztunk három ismétlésben. Az (1) és (2) kezeléseknél a halakat egy-egy állati eredetű etetőanyaggal etettük, amelyeknek fő

összetevője a halliszt. A (3) és (4) kezeléseknél egy-egy növényi alapú etetőanyagot kínáltunk a halaknak, míg az (5) kezelés kontrollként szolgált, ahol a halakat a korábban említett haltáppal (Aller master, 8 mm) etettük. Az alkalmazott takarmányozási arány a nedves testtömeg 2%-a volt, amelyet a nap folyamán két adagban kínáltunk fel. A testméretet (TL, standard hossz – SL, és W) kéthetente megmértük, és a takarmány mennyiségét ennek megfelelően módosítottuk. A kísérlet végén minden halat fenoxietanollal túlaltattunk, majd megmértük a test-, a zsiger- és a máj tömegét, a testhosszt (TL és SL), és májszövetmintát vettünk.

A mintaelemzések során az örölt etetőanyag-mintákat 60°C-on állandó tömegűre szárítottuk, dörzsmozsárral homogenizáltuk, majd meghatároztunk a nitrogén- és foszfortartalmat, nyers fehérjetartalmát (nyersfehérje = 6,25 × nitrogéntartalom), aminosavprofil, nyersrost-, nyerszsír- és keményítő- és energiatartalmat.

A halak növekedését az alábbi indexekkel jellemeztük: tömeggyarapodás: $WG = (W_{final} - W_{initial}) / W_{initial} \times 100$ és az abszolút növekedési arány: $AGR = (W_{final} - W_{initial}) / \text{időtartam}$ (nap), ahol W_{final} a halak testsúlya a kísérlet végén, $W_{initial}$ pedig a halak testsúlya a kísérlet kezdetén. A takarmányozási együtthatót a következőképpen számítottuk ki: $FCR = F / (W_{final} - W_{initial})$, ahol F a felvett takarmány teljes tömege. A fehérjehatékonysági arányt a $PER = (W_{final} - W_{initial}) / P$ mutatta ki, ahol P az elfogyasztott fehérje grammban kifejezve. Az energiahatékonysági arányt a következőképpen számítottuk ki: $EER = (W_{final} - W_{initial}) / GE$, ahol GE a kalorimetriás módszerrel meghatározott bruttó energiafogyasztás grammban. Meghatároztuk továbbá a Fulton-féle kondíció faktort: $K = W \times 100 / SL^3$, ahol a W a hal tömege, az SL pedig a standard testhossza. Az elzsírosodás értékeléséhez kiszámítottuk a hepatoszomatikus indexet $HSI = W_{máj} / W_{hal}$, és a viszkeroszomatikus indexet $VSI = W_{viscera} / W_{hal}$.

A génextpresszió elemzéséhez tartályonként két halból vettünk májmintát és a nem specifikus immunválaszban részt vevő gyulladási citokinek (tumor nekrozis faktor alfa (TNF- α), interleukin-1 béta (IL-1 β), interleukin-10 (IL-10) és transzformáló növekedési faktor béta (TGF- β)) génextpresszióját valós idejű kvantitatív PCR (qPCR) segítségével.

A máj szövettani vizsgálata során a májmintákat feldaraboltuk a máj energiatartalékainak (azaz a lipid és a glikogén) azonosítása céljából. A májmintákat mosás és krioprotektáltuk, Cryomatrixba ágyaztuk, majd periódusos savas-Schiff festéssel festettük, mikrofotóztuk. A felvételek alapján – adott látómezőben – megszámláltuk a cseppek számát, átlagos területét és az általuk lefedett teljes területet.

A statisztikai analízis során lineáris modelleket (LMM) alkalmaztunk a tartály azonosítójával - mint véletlen hatással - a végső súly, a végső hossz, a növekedési paraméterek (WG, ARG, TGR), a kondíció és a szomatikus indexek (K, HSI, VSI) közötti különbségek vizsgálatára a kezeléseknél. Az etetőanyagok hatásának értékeléséhez a gyulladási citokinek expressziójára és a végső biomassza, FCR, PER, EER, valamint a lipidcseppek sűrűsége és mérete közötti különbségekre a kezeléseknél egyutas varianciaanalízist (ANOVA) vagy Kruskal-Wallis H-tesztet.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Az etetőanyagok vízoszlopba gyakorolt hatása

4.1.1. El nem fogyasztott etetőanyag – oldódás

A laboratóriumi kísérletek során minden hőmérsékleten mindkét etetőanyag esetében gyors foszforoldódást figyeltünk meg. Az első 12-18 órában folyamatosan növekedett és a négy kezelésben (azaz hőmérséklet × etetőanyag-típus) 17 és 26% közötti maximumot ért el 18-24 órával az etetőanyagok hozzáadása után. Az öt napos kezelésben a foszfor-értékek oldódása az első naptól az ötödik napig mindkét etetőanyag-típusban 14-28%-os tartományban maradt. A gyors foszfor-felszabadulás vízben jól oldódó foszforformák jelenlétére utalt mind az állati eredetű, mind pedig a növényi alapú etetőanyagok esetében. A nitrogén-felszabaduláshoz nitrogénben gazdag szerves vegyületek lebomlása szükséges (Kong *et al.* 2020), ezért ez a folyamat a foszfor felszabadulásához képest késleltetett (Kibria *et al.* 1997, Akhan & Gedik 2017). A nitrogén kioldódása 13°C-on mindkét etetőanyagból nagyon csekély volt (<2%), és az idő függvényében csekély (állati eredetű etetőanyag esetében) vagy semmilyen (növényi alapú etetőanyag esetében) eltérés nem mutatkozott. A nitrogén kioldódása 23°C-on is alacsony volt (<2%) az állati eredetű etetőanyagból, de az idő múlásával kissé növekedett. Az állati eredetű etetőanyagok esetében a jelentős nitrogén-felszabadulás 3-4 nap után következett be, ami az állati eredetű, akvakultúrában használt takarmányok esetében is jellemző (vö. Kibria *et al.* 1997, Akhan & Gedik 2017). Ezzel szemben a növényi alapú etetőanyagok esetében az oldott nitrogén hirtelen csökkenése volt megfigyelhető. Bár csapvizet használtunk, az etetőanyag vektorként szolgálhatott a mikrobák számára. A szerves nitrogén immobilizációja feltehetően a mikrobiális nitrogén-felvétel eredménye lehet, ami a növényi törmelékek bomlásának kezdeti szakaszában gyakori (Berg & Staff 1981, Hefting *et al.* 2005). Feltehetően a mikrobiális bontás szerves nitrogénigényét a vízből fedezte, mivel a szükségleteihez képest az etetőanyag N:P moláris arány alacsony volt. A szerves nitrogénkoncentráció csökkenése magasabb hőmérsékleten hangsúlyosabb volt, ami megerősíti a mikrobiális aktivitás szerepét a nitrogén immobilizálásában.

Eredményeink alapján az el nem fogyasztott etetőanyagok jelentős ortofoszfátforrást jelenthet, amely közvetlenül elérhető foszforformát jelent az elsődleges termelők számára. Mivel az európai tavak többnyire foszforlimitáltak (Poikane 2022), az el nem fogyasztott etetőanyag közvetlenül hozzájárulhat az antropogén eutrofizációhoz. Az ortofoszfát hirtelen feloldódása és a növényi eredetű etetőanyagok oldott nitrogén-immobilizációja csökkentheti a vízoszlopban rendelkezésre álló tápanyagok N:P arányát, és potenciálisan kedvez a nitrogén-fixáló cianobaktériumoknak (vö. Hecky & Kilham 1988).

4.1.2. A halak által elfogyasztott etetőanyagok

Az állatok által kibocsátott tápanyagok lehetnek mind partikulát, mind oldott formájúak. Az elfogyasztott táplálék megemésztetlen vagy emészthetetlen részei partikulált formában távoznak (ezt nevezzük ürítésnek), míg az emészthető részt az állatok képesek asszimilálni. A növekedés során a viszonylag állandó testösszetétel fenntartása érdekében az állatok az asszimilált tápanyagokat testük tápanyag-összetételének megfelelő

arányban visszatartják (ökológiai sztöchiometria-elmélet, Sterner & Elser, 2002), a feleslegben lévő tápanyagok pedig oldott formában távoznak (ezt nevezzük kiválasztásnak). A tápanyagtartalom túl tehát a táplálék emészthetősége is döntő szerepet játszik a tápanyag-felszabadulásban (Moody *et al.* 2015).

A halas tartályrendszeres kísérletek során az állati eredetű etetőanyag esetében magasabb Δ nitrogén-értékeket mértünk, mint a növényi alapú etetőanyag és az etetőanyag nélküli kezeléseknél. A Δ összes nitrogén az állati eredetű etetőanyag és a növényi alapú etetőanyag teljes nitrogéntartalmának hasonló arányát tette ki, de az állati eredetű etetőanyag esetében elsősorban a szerves nitrogénformák domináltak, ami az állati eredetű etetőanyagok jobb emészthetőségére utalnak. Az etetőanyagokban (és a táplálékban általában) a nitrogén nagy része aminosavakban van megkötve, így a felszabaduló nitrogén mennyisége és formái a fehérjetartalom és azok emészthetőségének függvénye (Ballestrazzi *et al.* 1994). Az állati eredetű etetőanyagok magasabb nitrogén- és nyers fehérjetartalommal rendelkeznek, és jól emészthető állati eredetű fehérjeforrásokat (pl. halliszt, húsliszt; Drew *et al.* 2007) tartalmaznak. Ezzel szemben a növényi alapú etetőanyagok növényi fehérjéi kevésbé hozzáférhetők a halak számára. A növényi alapú etetőanyag-fogyasztás ezért kevesebb és főként partikulált nitrogén kibocsátását idézte elő a vízoszlopba (vö. Cheng *et al.* 2003).

Bár elméletben a táplálékkal felvett foszfor mennyisége szorosan összefügg a foszforkibocsátással (Moody *et al.* 2015), természetes körülmények között (azaz a táplálékforrások, azok foszfortartalma és a felvett táplálék mennyisége) a halak igénye általában meghaladja a táplálékban jelenlévő hasznosítható foszfor mennyiségét, ami ellentmondásos eredményekhez vezethet (azaz nem találnak összefüggést a felvett és az ürített/kiválasztott foszfor mennyisége között (pl. Glaholt & Vanni 2005, Evangelista *et al.* 2017). Az etetőanyagok teljes foszfortartalma (1,04% az állati eredetű etetőanyagokban, és 0,84% a növényi alapú etetőanyagokban) valamivel magasabb volt, mint a ponty szükséglete (0,6-0,7% vízben oldódó foszfor ad libitum etetve; Ogino & Takeda 1976), emészthetőségük azonban kétséges. A hal- és csontliszt nagy mennyiségű trikálcium-foszfátot tartalmaz (Jahan *et al.* 2002, Jahan *et al.* 2002), illetve számos növényi összetevő gazdag fitinsavban (Eeckhout & De Paepe 1994). A specifikus enzimek (Jahan *et al.* 2001) hiánya miatt ezen foszforformák emészthetetlenek az olyan monogasztrikus fajok számára, mint a ponty. Ezek a megemészthetetlen foszforformák hozzájárulhattak ahhoz, hogy a foszfor elsősorban ürítés útján, partikulált formában távozott a halakból, ahogy jelen vizsgálatainkban is tapasztaltuk. Mindkét etetőanyag esetében nagyobb arányban a szerves foszforformák szabadultak fel. A halak feltehetően visszatartották (asszimilálták) az etetőanyagok emészthető foszfortartalmát, és a kiválasztás közel maradt az alapvető, nem táplálkozással összefüggő tápanyag-kiválasztás mértékéhez (Rodehutscord *et al.* 2000), amelyet a nem etetett halakkal modelleztünk.

A poikiloterm szervezetek anyagcseréje nagymértékben függ a hőmérséklettől (Brown *et al.* 2004), ami a tápanyag-kiválasztás (Vanni 2002) fokozódását eredményezi, különösen a nitrogén (Morgan *et al.* 2013) esetében, ami elsősorban a fehérjelebontással van kapcsolatban (Wood 2001). Az enzimek aktivitásának növelése révén a hőmérséklet általában kedvezően befolyásolja a táplálék emésztési hatékonyságát számos állati és növényi fehérje esetében (Kim *et al.* 1998, Watanabe *et al.* 1996). A szabadtéri kísérletünkben az oldott nitrogén négyszeres növekedése a vízben a hőmérsékleti gradiens mentén összhangban volt a korábbi tanulmányokkal: 10°C-os hőmérséklet-emelkedés 1,5-

4-szeres nitrogén-kiválasztás-növekedést okoz (Vanni 2002, Wood 2001). Ez a tendencia a nem etetett halaknál is megfigyelhető volt, mivel a nitrogén-kiválasztás endogén forrása - ellentétben az exogén komponenssel, amelyet a nitrogénbevitel vezérel - a hőmérséklet függvénye (Ballestrazzi *et al.* 1998). Bár az emésztés és a foszforasszimiláció hatékonysága a hőmérséklet növekedésével nő (Kim *et al.* 1998, Nakasima & Leggett 1980), az etetőanyagok rendelkezésre álló foszfortartalma és a pontyok foszforszükséglete közötti különbség a kiválasztás mértékét hőmérséklettől függetlenül egy minimális, az alapvető fiziológiai folyamatokkal együtt járó mennyiség közelében tarthatta.

4.2. Az etetőanyagok halak szervezetére gyakorolt hatása

A nyers zsír-, keményítő-, energia- és nem-fehérje energiatartalom és nem-fehérje energia:fehérje arány is jelentősen különbözött mind a négy etetőanyag között. A kontrolltakarmány, a két állati eredetű- és az egyik növényi eredetű etetőanyag foszfortartalma hasonló volt, míg a másik növényi alapú etetőanyag jóval kevesebb foszfort tartalmazott. Az etetőanyagok nitrogén- és nyers fehérjetartalma tükrözte az összetevők eredetét, vagyis a növényi alapú etetőanyagokban mindkettő alacsonyabb volt. Hasonlóképpen, az esszenciális aminosavtartalom is – különösen a metionin, az arginin és a lizin tekintetében – alacsonyabb volt a növényi eredetű etetőanyagokban, amelyeknél ezek az értékek a ponty szükségletei alatt voltak (a Nemzeti Kutatási Tanács ajánlásai alapján, NCR 2011).

Kísérleteink eredményei rávilágítanak az etetőanyagok összetételének és tápértékének jelentős különbségeire, amelyek elsősorban az összetevők eredetétől függenek. A növényi eredetű etetőanyagok kevésbé táplálók, és a kontrolltakarmányhoz képest kisebb növekedést eredményeztek, azonban az állati eredetű etetőanyagokhoz képest nagyobb egységnyi biomassza növekedést mutattak egységnyi nitrogénbevitelre vetítve. Ezzel szemben az állati eredetű etetőanyagokkal etetett halak ugyanolyan magas növekedési arányt mutattak, mint az intenzív nevelési célra kifejlesztett teljes értékű takarmánnyal etetett kontrollcsoport halai.

4.2.1. Az etetőanyagok halak növekedésére gyakorolt hatása

A növényi alapú etetőanyagokkal etetett csoportok növekedése (WG, AGR) jelentősen lemaradt az állati eredetű etetőanyagok és a kontroll takarmánnyal etetett csoportokétól. Az alacsonyabb növekedést okozhatta az alacsony fehérjetartalom, az esszenciális aminosavak hiánya, a növényi anyagokban található antinutritív anyagok, és az alacsony foszfortartalom (ami ráadásul általában fitát formájában van jelen) is. Habár e tényezők mindegyike már önmagában is magyarázhatná az alacsonyabb növekedési ütemet, de e hatások kombinációja sokkal valószínűbb (lásd: Francis *et al.* 2001). Mindkét vizsgált növényi alapú etetőanyag fehérjetartalma jóval alacsonyabb volt, mint a ponty szükséglete (az NRC 32% nyersfehérjét ajánl). Bár ezeknek az etetőanyagoknak a magas energiatartalma segíthet abban, hogy a hal a fehérjét a növekedésre fordítsa (pl. Shiau & Peng 1993), azonban a fehérje-takarékossági hatásnak (protein-sparing effect) is vannak korlátai. Továbbá a kiegyensúlyozatlan esszenciális aminosavprofil (különösen a lizinhiány) és az antinutritív anyagok jelenléte csökkenthette a fehérjék asszimilációját a növényi alapú etetőanyagok esetében (Robinson 1991, Francis *et al.* 2001). Kísérleteinkben

a növényi alapú etetőanyagok lizintartalma körülbelül a fele volt az ajánlott értékeknek (NCR 2011), ami szintén ronthatta a növekedési teljesítményt (Hu *et al.* 2021). Meg kell jegyezni, hogy a fehérje mennyiségének (azaz az etetőanyagok nyersfehérje-tartalmának) és eredetének (állati vs. növényi eredetű összetevők) a halak növekedésére gyakorolt hatásai nem elválaszthatók, mivel ezek a jellemzők a vizsgálatunkban egybeestek. A növényi alapú etetőanyagok magasabb PER-értékei azonban arra utalnak, hogy a lassabb növekedés háttérében az alacsony fehérjetartalom állt. Végül az alacsony és nem elérhető foszfortartalom is hozzájárulhat a növekedés csökkenéséhez (Daniel 2018). Az egyik vizsgált növényi alapú etetőanyag foszfortartalma nyilvánvalóan elmaradt a ponty igényétől (ami 0,6-0,7% vízben oldódó formában *ad libitum* etetve; Ogino & Takeda 1976). Bár a többi növényi alapú etetőanyag elméletileg elegendő foszfort tartalmazott, azonban nem lehetünk biztosak abban, hogy ez a foszfor teljes mértékben elérhető volt a halak számára. A növényi anyagok foszforban gazdag fitinsavat tartalmaznak (Eeckhout *et al.* 1994), de a ponty és más, fitáz enzimet nem kiválasztó halak számára elérhetetlen (Jahan *et al.* 2001). Meg kell jegyezni, hogy az állati eredetű etetőanyagok - és általában az akvakultúra haltakarmányok is - tartalmazhatnak nem elérhető foszforformákat is, mint a hallisztben előforduló trikálcium-foszfátot (Jahan *et al.* 2002a,b). A magas növekedési ütemek azonban arra utalnak, hogy az állati eredetű etetőanyagokban a foszfor a halak számára megfelelő arányban és formában áll rendelkezésre.

4.2.2. Az etetőanyagok hatása a máj egészségére

A fehérje-, lipid- és szénhidrát-tartalom kiegyensúlyozatlansága és/vagy a csökkent emészthetőség miatt a növényi eredetű összetevőket magas arányban tartalmazó táplálékok gyakran idéznek elő zsír- és glikogénlerakódást a májban, valamint oxidatív stresszt és gyulladást (Chen *et al.* 2016, Yang *et al.* 2023), csökkentve a halak immunitását és ellenállóképességét (Montero *et al.*, 2010) - annak ellenére, hogy az amilázaktivitás magas a mindenevő halakban (pl. ponty) (Hidalgo *et al.* 1999). Jelen vizsgálatunkban azonban a növényi alapú etetőanyagok fogyasztása - energia-, zsír- és keményítőtartalmuktól függetlenül - a máj energiatartalékainak (lipid és glikogén) csökkenéséhez vezetett, megerősítve a növényi alapú etetőanyagokban lévő tápanyagok gyenge hozzáférhetőségét függetlenül az etetőanyagok energiatartalmától. A szénhidrátok (NFE-nitrogen free extracts) emészthetőségében - amely befolyásolja az emészthető energiát - különbségek fordulhatnak elő az etetőanyagok között (lásd: Arlinghaus & Niesar 2005), de az EER-értékek alapján az állati eredetű etetőanyagok és a növényi alapú etetőanyagok energiatartalmának elérhetőségé hasonló volt. Az energiaraktárak csökkenése azonban nem befolyásolta a máj tömegét (a kezelések között nem voltak különbségek a HSI értékeiben), ami arra utal, hogy az energiaraktárak komoly kimerülésről nem beszélhetünk. Míg a magas zsírtartalmú, magas szénhidrát-tartalmú és magas növényi fehérjetartalmú étrendnek a ponty májának egészségére gyakorolt hatását célzó korábbi vizsgálatok jelentős változásokat figyeltek meg a gyulladási citokinek expressziójában (pl. Xie *et al.* 2021, Yao *et al.* 2021), a mi vizsgálatunkban hasonló változásokat nem figyeltünk meg. A korábbi tanulmányokkal ellentétben, amelyek lárva és fiatal halakkal dolgoztak (a testtömeg 1 és 50 g között mozgott), mi sokkal idősebb, nagyobb halakkal (500g<) dolgoztunk. A növényi fehérjék takarmányba való beépítésének a halak egészségére gyakorolt hatásával kapcsolatos ellentmondásos eredmények összefüggésbe hozhatók a vizsgált halak fejlődési stádiumai

közötti különbségekkel (Hemre *et al.* 2018). Az antinutritív anyagokkal szembeni tolerancia a halak életkorának növekedésével nőhet (Couto *et al.* 2014, Couto *et al.* 2015). A gyulladás hiánya vizsgálatunkban arra utal, hogy a kifejlett pontyok jobban megbirkóznak a nehezebben emészthető, makrotápanyagban szegényebb étrenddel is.

5. Új tudományos eredmények összefoglalás

- A halak által el nem fogyasztott etetőanyag foszfortartalmának jelentős része (akár egyötöde) gyorsan (12 órán belül) kioldódik, míg jelentősebb mennyiségű nitrogén csak napok múlva oldódik a vízbe, így ebben az el nem fogyasztott etetőanyag a vízoszlop számára elsősorban foszforterhelést jelent.
- A halak által elfogyasztott etetőanyag nitrogéntartalmának nagy része (közel fele) – a hőmérséklet emelkedésével pozitív összefüggésben – már egy napon belül megjelenik a vízoszlopban. Ezen az úton felszabaduló foszfor mennyisége az el nem fogyasztott etetőanyagoknál tapasztalt értékekhez hasonló, de elsősorban partikulált formák dominálják.
- Az állati eredetű etetőanyagok magasabb nitrogéntartalma és vízben jól oldódó foszfortartalma miatt rövidtávon nagyobb tápanyagterhelést jelentenek a vízoszlopnak, mint a növényi eredetű etetőanyagok.
- A növényi alapú etetőanyagok esetében az egységnyi bevitt tápanyag nagyobb biomasszanövekedést eredményez, mint az állati eredetű etetőanyagoknál; így ezek kisebb tápanyagterhelést jelentenek. Eredményeink azt mutatják, hogy a növényi eredetű etetőanyagok hosszútávú fogyasztása – a kiegyensúlyozatlan makrotápanyagtartalomnak köszönhetően – a máj energiatartalékainak jelentős csökkenését, kiürülését okozhatja. A halak egészségére gyakorolt hatásukban (tápanyaghiánnyal összefüggő egészségkárosodás) különbséget nem tapasztaltunk az állati és növényi eredetű etetőanyagok között.



Nyilvántartási szám: DEENK/40/2025.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Fazekas Dorottya Lilla
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10073454

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

1. **Fazekas, D. L.**, Antal, L., Ardó, L., Halasi-Kovács, B., Jakabné Sándor, Z., Pirger, Z., Tóth, F., Vitál, Z., Specziár, A., Mozsár, A.: Effects of angler's groundbaits on fish physiology and growth.
Sci. Rep. 14 (1), 1-11, 2024. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-79880-4>
IF: 3.8 (2023)
2. **Fazekas, D. L.**, Antal, L., Halasi-Kovács, B., Kwiatkowski, M., Tóth, F., Specziár, A., Mozsár, A.: Acute effects of angler's groundbaits: nutrient flux to water column.
Sci. Rep. 13 (1), 1-12, 2023. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-44381-3>
IF: 3.8

További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

3. Varga, J., **Fazekas, D. L.**, Kosco, J., Mozsár, A.: A horgászat mint mintavételi módszer alkalmazhatóságának vizsgálata a fekete törpeharcsa (*Ameiurus melas*) esetében.
Pisces Hung. 14, 139-144, 2020. ISSN: 1789-1329.
4. **Fazekas, D. L.**, Sólyom, N., Nyeste, K. J., Antal, L.: Antropogén beavatkozások hatása az Öreg-Túr halfaunájára.
Pisces Hung. 10, 51-56, 2016. ISSN: 1789-1329.





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (6)

5. Lovas-Kiss, Á., Antal, L., Mozsár, A., Nyeste, K. J., Somogyi, D., Kiss, B., Tóth, R., Tóth, F., **Fazekas, D. L.**, Vítál, Z., Halasi-Kovács, B., Tóth, P. J., Szabó, N., Löki, V., Vincze, O., Lukács, B. A.: Bird-mediated endozoochory as a potential dispersal mechanism of bony fishes.
Ecography. 6, 1-4, 2024. ISSN: 0906-7590.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ecog.07124>
IF: 5.4 (2023)
6. Varga, J., **Fazekas, D. L.**, Halasi-Kovács, B., Józsa, V., Tóth, F., Nyeste, K. J., Mozsár, A.: Fecundity, growth and body condition of invasive black bullhead (*Ameiurus melas*) in eutrophic oxbow lakes of River-Körös (Hungary).
BioInvasions Records. 13 (2), 515-527, 2024. EISSN: 2242-1300.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2024.13.2.16>
IF: 1.5 (2023)
7. Sharma, P., Gyalog, G., Berzi-Nagy, L., Tóth, F., Nagy, Z., Halasi-Kovács, B., **Fazekas, D. L.**, Mezőszentgyörgyi, D., Csukas, B., Varga, M.: Reusability check-based refinement of a biophysical fishpond model.
Comput. Electron. Agric. 218, 1-17, 2024. ISSN: 0168-1699.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2024.108664>
IF: 7.7 (2023)
8. Fazekas, G., Müller, T., Stanivuk, J., **Fazekas, D. L.**, Káldy, J., Tóth, F., Bürgés, J., Colchen, T., Vass, N., Ljubobratović, U.: Evaluation of applying environmental enrichment to sterlets (*Acipenser ruthenus* L.) in early life stages.
Appl. Anim. Behav. Sci. 268, 1-9, 2023. ISSN: 0168-1591.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106090>
IF: 2.2
9. Vítál, Z., **Fazekas, D. L.**, Halasi-Kovács, B., Udvari, Z., Tóth, F., Mozsár, A.: Capture rate and distribution patterns of newly-stocked common carps (*Cyprinus carpio*) in a put and take lotic fishery: a multi-year case study.
Int Aquat Res. 14, 293-302, 2022. ISSN: 2008-4935.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22034/IAR.2022.1961028.1292>
IF: 1.3
10. Káldy, J., Mozsár, A., Fazekas, G., Farkas, M., **Fazekas, D. L.**, Fazekas, G., Goda, K., Gyöngy, Z., Kovács, B., Semmens, K., Bercsényi, M., Molnár, M., Patakiné Várkonyi, E.: Hybridization of Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt and Ratzeberg, 1833) and American Paddlefish (*Polyodon spathula*, Walbaum 1792) and Evaluation of Their Progeny.
Genes. 11 (7), 753-768, 2020. ISSN: 2073-4425.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/genes11070753>
IF: 4.096





Egyéb folyóiratközlemények (1)

11. Nyeste, K. J., **Fazekas, D. L.**, Sólyom, N., Antal, L.: Reofil fajok menedéke az Öreg-Túrban.
Halászat. 109 (4), 12, 2016. ISSN: 0133-1922.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

12. Káldy, J., Mozsár, A., Fazekas, G., Farkas, M., **Fazekas, D. L.**, Fazekas, G., Goda, K., Gyöngy, Z., Kovács, B., Semmens, K., Bercsényi, M., Molnár, M., Patakiné Várkonyi, E.: Az első sikeres hibridizáció a vágótok (*Acipenser Gueldenstaedtii*) és az amerikai lapátorrú tok (*Polyodon Spathula*) között, mely életképes utódokat eredményezett.
In: A XLIV. Halászati Tudományos Tanácskozás kiadványa (Szarvas, 2020. szeptember 23-24.) Proceedings of the 44th Scientific Conference on Fisheries & Aquaculture (23-24 September 2020, Szarvas, Hungary). Szerk.: Nagyné Biró Judit, NAIK HAKI, Szarvas, 36-40, 2020, (ISSN 1219-4816 ; 37) ISBN: 9789637120428

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 29,796

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 7,6

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

Debrecen, 2025.02.07.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**The effects of angling groundbaits with different
composition on nutrient cycling and fish**

by Dorottya Lilla Fazekas

Dissertation supervisors:

Dr. László Antal associate professor

Dr. Attila Mozsár senior research fellow



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Juhász-Nagy Pál Doctoral School

Debrecen

2025

1. Introduction

Angling is one of the most important and continuously developing sector of tourism and recreation, especially in developed countries (Hjalager 2010, Dokulil 2014, Imbert *et al.* 2022). Around 10% of the population in industrialised countries are interested in angling; hundreds of millions worldwide (Arlinghaus *et al.* 2015, Elmer *et al.* 2017, Embke *et al.* 2019), which puts significant pressure on aquatic ecosystems.

Anglers often use groundbait to lure fish to the fishing area and keep them there. In European freshwaters, anglers put on average 1-2 kg of bait into the water per fishing day, while anglers specialising in carp fishing put 3 kg (Wolos *et al.* 1992, Arlinghaus & Mehner 2003, Boros *et al.* 2022), which can reach thousands of tonnes per year on a national scale (Mehner *et al.* 2018). A recent study has shown that more than 2000 tonnes of groundbait is discharged into Lake Balaton every year (Boros *et al.* 2022). It highlights that the use of groundbait for fishing deserves increased attention.

High inputs of groundbaits, due to their high nitrogen and phosphorus content, can lead to nutrient loading in recipient water bodies (Wolos *et al.* 1992, Imbert *et al.* 2022). The extent of the impact depends on the amount and type of groundbait (Boros *et al.* 2022), and the trophic state and depth of water bodies (Dokulil *et al.* 2014). Thus, a shallow, nutrient-poor ecosystem exposed to high angling pressure is at increased risk of eutrophication (Dokulil *et al.* 2014).

In more intensively fished waters, groundbait can be an important food source for fish, mainly but not exclusively cyprinids (e.g. Specziár *et al.* 1997). Yet, very little is known about the effects of groundbait consumption on fish physiology, which is important to understand, both for the protection of fish stocks in our natural waters and for the economic sustainability of artificial fishing lakes.

Today, numerous types of groundbaits are on the market, which can differ substantially in their ingredients and nutrient content (Imbert *et al.* 2022). In general, they can be of pure animal origin (e.g. fish, meat, and shellfish meal) or made from plant-based ingredients (e.g. ground cereals) or a mixture of these products (Wolos *et al.* 1992, Niesar *et al.* 2004, Boros *et al.* 2022). The composition of the feed is key to both nutrient loading and their effect on fish. Therefore it is important to investigate the effects of feeds with different composition and nutrient content.

2. Objective

My objectives during my work were:

- (i) *Short-term nutrient loads from the use of groundbaits on the water column.* Within this topic, I aimed to answer the following questions: (a) the extent of nitrogen and phosphorus release from consumed and non-consumed animal and plant-based groundbaits, (b) the effect of temperature on the dynamics of nutrient release.
- (ii) *Effect of groundbait consumption on fish growth and health.* Questions to be answered: (a) whether animal- and plant-based groundbaits have different effects on fish growth, (b) whether fat accumulation and inflammation in fish are associated with the consumption of different groundbaits.

3. Material and methods

3.1. Effects of groundbaits on water

3.1.1. *Groundbaits used in the experiment*

The digestibility and, presumably, the solubility of animal and vegetable ingredients differ significantly, so the main differences in the nutrient release were assumed to be between animal- and vegetable-based groundbaits. For our studies, we therefore selected one predominantly animal-based groundbait and one predominantly plant-based groundbait. The animal-based groundbait was an 8 mm diameter cylindrical pellet, while the plant-based bait was an 18 mm diameter round bait. To ensure similar size, the plant-based bait was chopped into eight pieces.

3.1.2. *Laboratory experiments - nutrient release from groundbaits*

The nitrogen and phosphorus release from pure dissolution and their temperature dependence were investigated under laboratory conditions. For our experiments, we used 25 litre glass tanks filled with 20 litres of tap water. To study the temperature dependence, experiments were performed at 13°C and 23°C. Three replicates were run per treatment (two types of feed and two temperatures). For nitrogen and phosphorus measurements, water samples were taken before the addition of the feed (hour 0) and then every sixth hour for 24 hours. Next, we investigated the dissolution processes over a longer time scale. For this purpose, the experiment at 23°C was repeated, but it was 5 days long instead of 24 hours. Water samples were taken before the addition of bait and every 24th hour for 5 days. Dissolved nitrogen (ammonia, nitrite, nitrate) and phosphorus (orthophosphate) were measured from the water samples using an automatic analyser. The amount of nitrogen and phosphorus released during a given observation period was expressed as a percentage of the amount of nitrogen and phosphorus introduced by the groundbait. The data were evaluated by a multivariate (mixed) analysis of variance (ANOVA).

3.1.3. *Outdoor tank experiments - nutrient release from groundbaits in the presence and absence of fish*

Outdoor tank experiments with common carp (*Cyprinus carpio*) were used to investigate the phosphorus and nitrogen load of consumed and non-consumed groundbait to the water column. Twelve cylindrical, aerated, open-air, flow-through tanks were set up under a tent, open on the sides but protected from the weather from above. The tanks, 60 cm high and 80 cm in diameter, were filled with 250 litres of water from a sedimentation pond fed by the Kákafok (Körös) oxbow.

The experiments were carried out with the two types of groundbait used in the laboratory study, of which the plant-based groundbait was offered in the same cut-up form. A total of five treatments were used based on the type of bait (animal- and plant-based bait) and the presence/absence of fish: (1) animal-based bait × fish-free and (2) plant-based bait × fish-free to model the effect of non-consumed bait; (3) animal-based bait × fish and (4)

plant-based bait × fish were used to model the effects of ingested feed; and (5) no bait × fish to characterize basal endogenous (i.e., non-food-related) nutrient excretion.

We stocked 3 year-old common carp (300-500 g) per tank, with a total weight of 1133 ± 143 g per tank. After a one-week acclimation period, the experiments were conducted between 16 May and 11 June with increasing average water temperatures of 14°C, 17°C, 20°C, 22°C and 26°C. The experiments lasted 24 hours, before which the water flow was stopped, water samples were taken from each tank (time 0) and the baits were placed in the tanks. Groundbaits were offered at a rate equal to 2% of the fish's wet body weight, while the average of the amount of groundbaits fed to the fish tanks was used in the fish-free tanks. After 24 hours, another water sample was taken and the flow was restored. During both the pre-acclimation and the rest periods between experiments, the fish were fed twice daily with aquaculture fish feed (Aller master, 8 mm, origin: Denmark), but were deprived of food for 1 day before each experiment.

To determine the nutrient content of the groundbaits, the samples were dried at 60°C to constant weight and homogenized with a mortar and pestle. Nitrogen content was measured using the Kjeldahl method, while phosphorus content was determined by microwave-assisted nitric acid-hydrogen peroxide digestion followed by ICP-OES measurement. Potassium persulphate digestion was used to determine the total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) content of the water samples; the released nitrogen and phosphorus forms and the dissolved nitrogen and phosphorus content of the water samples were measured using an automatic analyser (Ganimede-N and P, Hach Lange).

Statistical analysis was performed to evaluate treatment-related changes in nutrient release (i.e. the difference between the measurements taken before the introduction of the feed (hour 0) and at the end of the experiment (hour 24) - Δ values) in the concentrations of nitrogen and phosphorus forms (inorganic, organic and total) in the tank water. Data were evaluated using general linear models (ANOVA, GLM), which considered each experimental round as a random factor and the treatment as a fixed effect.

3.2. Effects of groundbaits on fish physiology

For the experiment, we chose two groundbaits with predominantly animal and two with plant ingredients, as the ratio of plant and animal ingredients is crucial for the growth and health of fish. The control feed is the aquaculture fish feed (Aller master, 8mm) used previously.

A six-week feeding experiment was conducted with common carp from pond aquaculture in the recirculating aquaculture system (RAS) of MATE HAKI. At the end of the quarantine period, the fish were placed in fifteen 1 m³ tanks covered with nets. We stocked 5 fish per tank, each with a unique tag (PIT). The initial body weight of the fish ($557 \text{ g} \pm 155 \text{ g}$) did not differ significantly between tanks (ANOVA, $F_{1,14}=0,49$, $p=0,675$). The average stocking density per tank was 2786 g/m³ ($\pm 314 \text{ g}$) at the beginning of the experiment and 4382 g/m³ ($\pm 633 \text{ g}$) at the end of the experiment.

Five treatments were applied in three replicates, based on the feed materials. In treatments (1) and (2), the fish were fed with animal-derived groundbaits. In treatments (3) and (4), fish were offered a plant-based groundbait, while treatment (5) served as a control, where fish were fed the aquaculture fish feed (Aller master, 8 mm) mentioned earlier. The feed rate used was 2% of wet body weight, which was offered in two portions during the

day. Body size (TL, standard length - SL, and W) was measured every two weeks and the amount of feed was adjusted accordingly. At the end of the experiment, all fish were anaesthetized with phenoxyethanol and body, visceral and liver weights, body length (TL and SL) and liver tissue samples were taken.

For sample analyses, the ground groundbaits samples were dried to constant weight at 60°C, homogenized with mortar and pestle, and then determined for nitrogen and phosphorus content, crude protein content (crude protein = 6.25 × nitrogen content), amino acid profile, crude fibre, crude fat and starch and energy content.

The growth of the fish was characterized by the following indices: weight gain: $WG = (W_{\text{final}} - W_{\text{initial}}) / W_{\text{initial}} \times 100$ and absolute growth rate: $AGR = (W_{\text{final}} - W_{\text{initial}}) / \text{duration (days)}$, where W_{final} is the weight of the fish at the end of the experiment and W_{initial} is the weight of the fish at the beginning of the experiment. The feed coefficient was calculated as $FCR = F / (W_{\text{final}} - W_{\text{initial}})$, where F is the total weight of feed intake. The protein efficiency ratio was expressed as $PER = (W_{\text{final}} - W_{\text{initial}}) / P$, where P is the protein consumed in grams. The energy efficiency ratio was calculated as $EER = (W_{\text{final}} - W_{\text{initial}}) / GE$, where GE is the gross energy consumption in grams, as determined by the calorimetric method. We also determined the Fulton condition factor: $K = W \times 100 / SL^3$, where W is the weight of the fish and SL is the standard length. To evaluate the adiposity, we calculated the hepatosomatic index $HSI = W_{\text{liver}} / W_{\text{fish}}$ and the viscosomatic index $VSI = W_{\text{viscera}} / W_{\text{fish}}$.

To analyse gene expression, liver samples were taken from two fish per tank and gene expression of inflammatory cytokines involved in non-specific immune responses (tumour necrosis factor alpha (TNF- α), interleukin-1 beta (IL-1 β), interleukin-10 (IL-10) and transforming growth factor beta (TGF- β)) was measured by real-time quantitative PCR (qPCR).

For histological examination of the liver, liver samples were dissected to identify the liver energy reserves (i.e. lipid and glycogen). The liver samples were washed and cryoprotected, embedded in Cryomatrix, stained with periodic acid-Schiff staining, photomicrography. Based on the images, the number of droplets, their average area and the total area covered by them were counted and measured in a given field of view.

Statistical analysis was performed using linear models (LMM) with tank ID as a random effect to examine differences in final weight, final length, growth parameters (WG, ARG, TGR), condition and somatic indices (K, HSI, VSI) between treatments. To assess the effect of the baits on the expression of inflammatory cytokines and differences in final biomass, FCR, PER, EER, and lipid droplet density and size between treatments, one-way analysis of variance (ANOVA) or Kruskal-Wallis H-test was used.

4. Results and discussion

4.1. Effects of groundbaits on water column

4.1.1. Unconsumed groundbaits – dissolution

In the laboratory experiments, rapid phosphorus dissolution was observed for both groundbaits at all temperatures. It increased steadily during the first 12-18 h and reached 17 to 26% in the four treatments (i.e. temperature × type of bait) 18-24 hours after the addition of the groundbait. In the five-day treatment, the dissolution of phosphorus levels remained in the range of 14-28% from day one to day five for both types of bait. The rapid release of phosphorus indicated the presence of phosphorus forms that were highly soluble in water for both animal and plant-based groundbaits. Nitrogen release requires the degradation of nitrogen-rich organic compounds (Kong *et al.* 2020) and is therefore delayed compared to phosphorus release (Kibria *et al.* 1997, Akhan & Gedik 2017). Nitrogen release from both groundbaits at 13°C was very low (<2%) and there was little (for animal-based groundbaits) or no (for plant-based groundbaits) variation with time. Nitrogen release from animal-based groundbait was also low (<2%) at 23°C, but increased slightly over time. Significant nitrogen release occurred after 3-4 days for animal-derived groundbait, which is also typical for animal-derived aquaculture feeds (cf. Kibria *et al.* 1997, Akhan & Gedik 2017). In contrast, a quick decrease in dissolved nitrogen was observed for plant-based groundbaits. Although tap water was used, the bait could have served as a vector for the microbes. The immobilization of inorganic nitrogen could presumably be the result of microbial nitrogen uptake, which is common during the initial stages of decomposition of plant debris (Berg & Staff 1981, Hefting *et al.* 2005). Presumably, the inorganic nitrogen demand of microbial decomposition was met by inorganic nutrient content of water, as the N:P molar ratio of the feed was low compared to the demand. The decrease in inorganic nitrogen concentration was more pronounced at higher temperatures, confirming the role of microbial activity in nitrogen immobilization.

Our results suggest that unconsumed groundbait could be a significant source of orthophosphate, a directly available phosphorus form for primary producers. As European lakes are mostly phosphorus limited (Poikane *et al.* 2022), unconsumed feed may directly contribute to anthropogenic eutrophication. The rapid dissolution of orthophosphate and the dissolved nitrogen immobilisation of plant-derived groundbait may reduce the N:P ratio in the water column and potentially favour nitrogen-fixing cyanobacteria (cf. Hecky & Kilham 1988).

4.1.2. Groundbaits consumed by fish

Nutrients released by animals can be in both particulate and dissolved forms. The undigested or indigestible parts of the ingested food are egested in particulate form, while the digestible part can be assimilated by the animals. During growth, to maintain a relatively constant body composition, animals retain assimilated nutrients in proportion to the nutrient composition of their body (ecological stoichiometry theory, Sterner & Elser 2002), and excess nutrients are released in soluble form (excretion). In addition to nutrient content, the digestibility of the diet therefore plays a crucial role in nutrient release (Moody *et al.* 2015).

In the fish tank system experiments, higher Δ nitrogen values were measured for the animal-based groundbait compared to the plant-based groundbait and no-feed treatments. Δ total nitrogen was a similar proportion of the nitrogen content of animal-based and plant-based groundbaits, but inorganic forms of nitrogen dominated in animal-based bait, indicating better digestibility of animal-based groundbait. Most of the nitrogen in groundbaits (and in food in general) is bound in amino acids, so the amount and forms of nitrogen released are a function of protein content and digestibility (Ballestrazzi *et al.* 1994). Animal-based groundbaits have higher nitrogen and crude protein content and contain easily digestible animal protein sources (e.g. fishmeal, meat meal; Drew *et al.* 2007). In contrast, plant proteins in plant-based groundbaits are less available to fish. Plant-based groundbaits consumption therefore resulted in less and mainly particulate nitrogen release into the water column (cf. Cheng *et al.* 2003).

Although in theory the amount of dietary phosphorus intake is closely related to phosphorus excretion (Moody *et al.* 2015), under natural conditions (i.e. food sources, their phosphorus content and the amount of food ingested), the demand of fish generally exceeds the amount of available phosphorus present in the diet, which can lead to conflicting results (i.e. no correlation between the amount of phosphorus ingested and the amount excreted/egested (e.g. Glaholt & Vanni 2005, Evangelista *et al.* 2017). The total phosphorus content of the groundbaits (1.04% in animal-based baits and 0.84% in plant-based baits) was slightly higher than the common carp requirement (0.6-0.7% water-soluble phosphorus fed ad libitum; Ogino & Takeda 1976), but their digestibility is questionable. Fish and bone meal contain high levels of tricalcium phosphate (Jahan *et al.* 2002, Jahan *et al.* 2002) and many plant components are rich in phytic acid (Eeckhout & De Paepe 1994). Due to the lack of specific enzymes (Jahan *et al.* 2001), these phosphorus forms are indigestible for monogastric species such as common carp. These indigestible phosphorus forms may have contributed that fish egested primarily particulate phosphorus forms, as was observed in our present studies. For both groundbaits, organic phosphorus forms were released in higher proportions. The fish presumably retained (assimilated) the digestible phosphorus content of the bait, and excretion remained close to the baseline non-food-related nutrient excretion (Rodehutsord *et al.* 2000) that was modelled with non-fed fish.

Metabolism in poikilotherm organisms is highly temperature dependent (Brown *et al.* 2004), resulting in increased nutrient excretion (Vanni 2002), especially nitrogen (Morgan & Hicks 2013), which is primarily associated with protein degradation (Wood, 2001). By increasing enzyme activity, digestive efficiency of wide range of animal and plant proteins generally increases with increasing temperature (Kim *et al.* 1998, Watanabe *et al.* 1996). In our outdoor experiment, the fourfold increase in dissolved nitrogen in water along the temperature gradient was consistent with previous studies: a 10°C temperature increase causes a 1.5-4-fold increase in nitrogen excretion (Vanni 2002, Wood 2001). This trend was also observed in non-fed fish, as the endogenous source of nitrogen excretion – in contrast to the exogenous component, which is driven by nitrogen input – is a function of temperature (Ballestrazzi *et al.* 1998). Although the efficiency of digestion and phosphorus assimilation increases with increasing temperature (Kim *et al.* 1998, Nakasima & Leggett 1980), the difference between the available phosphorus content of the groundbait and the phosphorus requirements of the common carp could keep the excretion rate close to inevitable loss – which is associated with basic physiological processes, regardless of temperature.

4.2. Effects of groundbaits on fish physiology

The crude fat, starch, energy and non-protein energy contents and non-protein energy:protein ratios differed significantly between the four groundbaits. The phosphorus content of the control feed, the two animal-based baits and one of the plant-based groundbaits were similar, while the other plant-based bait contained much less phosphorus. The nitrogen and crude protein content of the feeds reflected the origin of the ingredients, i.e. both were lower in the plant-based groundbaits. Likewise, essential amino acid content, particularly methionine, arginine, and lysine, was lower in plant-based groundbaits, where these values were below the needs of common carp (based on recommendations of the National Research Council, NCR 2011).

The results of our experiments highlight significant differences in the composition and nutritional value of groundbaits, which depend mainly on the origin of the ingredients. The plant-derived groundbaits are less nutritious and resulted in lower growth compared to the control feed, but showed a higher unit biomass increase per unit nitrogen input compared to the animal-derived groundbaits. In contrast, fish fed with animal-derived groundbaits showed the same high growth rate as the control group fed with aquaculture feed.

4.2.1. Effects of groundbaits on fish growth

The growth of the groups fed with plant-based groundbaits (WG, AGR) was significantly lower than that of the groups fed with animal-based baits and control feed. The lower growth could be due to low protein content, lack of essential amino acids, antinutrients in the plant material, and low phosphorus content (which is usually in the form of phytate). Although each of these factors per se could explain the lower growth rate, a combination of these effects is more likely (see Francis *et al.* 2001). The protein content of both plant-based groundbaits tested was below the common carp requirement (NRC recommends 32% crude protein). Although the high energy content of these groundbaits can help fish to use protein for growth (e.g. Shiau & Peng 1993), there are also limitations to the protein-sparing effect. Furthermore, imbalanced essential amino acid profiles (especially lysine deficiency) and the presence of antinutrients may have reduced protein assimilation in plant-based groundbaits (Robinson 1991, Francis *et al.* 2001). In our experiments, the lysine content of plant-based baits was about half of the recommended values (NCR 2011), which could also impair growth performance (Hu *et al.* 2021). It should be noted that the effects of protein quantity (i.e. crude protein content of feeds) and origin (animal vs. plant ingredients) on fish growth cannot be separated, as these characteristics coincided in our study. However, the higher PER values of the plant-based groundbaits suggest that the slower growth was due to low protein content. Finally, low and unavailable phosphorus content may also contribute to reduced growth (Daniel 2018). The phosphorus content of one of the plant-based baits tested was apparently below the requirement of common carp (which is 0.6-0.7% in water-soluble form when fed *ad libitum*; Ogino & Takeda 1976). Although the other plant-based baits theoretically contained sufficient phosphorus, we cannot be sure that this phosphorus was fully available to the fish. Phosphorus in plant materials are usually present in phytic acid (Eeckhout *et al.* 1994), but it is unavailable to common carp and other fish that do not secrete phytase enzymes (Jahan *et al.* 2001). It should be noted that animal-derived groundbaits, and aquaculture fish feeds in general, may contain unavailable forms of phosphorus, such

as tricalcium phosphate in fishmeal (Jahan *et al.* 2002a,b). However, high growth rates suggest that phosphorus is available in animal-derived baits in the right proportion for fish.

4.2.2. *Effects of groundbaits on liver health*

Due to the imbalances in protein, lipid and carbohydrate content and/or reduced digestibility, diets containing high proportions of plant-derived ingredients often induce fat and glycogen deposition in the liver, as well as oxidative stress and inflammation (Chen *et al.* 2016, Yang *et al.* 2023), reducing the immunity of fish (Montero *et al.* 2010) - despite the fact that amylase activity is high in omnivorous fish (e.g. common carp) (Hidalgo *et al.* 1999). However, in our study, the consumption of plant-based groundbaits, regardless of their energy, fat and starch content, led to a decrease in liver energy reserves (lipid and glycogen), confirming the poor availability of nutrients in plant-based groundbaits, regardless of the energy content of the groundbaits. Differences in the digestibility of carbohydrates (NFE-nitrogen free extracts), which affects digestible energy, can occur between groundbaits (see Arlinghaus & Niesar 2005), but the EER values showed that the energy availability of animal-derived groundbaits and plant-based groundbaits was similar. The reduction in energy reserves did not affect liver mass (there were no differences in HSI values between treatments), suggesting that there was no serious depletion of energy stores. While previous studies investigating the effects of high-fat, high-carbohydrate and high plant protein diets on common carp liver health have observed significant changes in the expression of inflammatory cytokines (e.g. Xie *et al.* 2021, Yao *et al.* 2021), similar changes were not observed in our study. In contrast to previous studies that used larval and juvenile fish (body weights ranging from 1 to 50 g), we used much older, larger fish (500g<). The conflicting results on the effect of incorporating plant proteins into feed on fish health may be related to differences in the developmental stages of the fish studied (Hemre *et al.* 2018). Tolerance to antinutrients may increase with increasing age of the fish (Couto *et al.* 2014, Couto *et al.* 2015). The absence of inflammation in our study suggests that adult common carp are able to cope with less digestible diet with imbalanced macronutrient content.

5. Summary of new scientific findings

- A considerable proportion (up to one-fifth) of the phosphorus content of unconsumed groundbaits can be released quickly (within 12 hours), while considerable amounts of nitrogen release take days, thus the unconsumed groundbait primarily constitute phosphorus load for the water column.
- In the case of consumed groundbait, most (almost half) of the nitrogen stored in groundbait – in positive association with temperature – is released into the water column within a day. The amount of phosphorus released by this pathway is similar to that found for unconsumed groundbait, but is dominated by particulate forms.
- Due to their higher nitrogen content and water-extractable phosphorus content, the use of animal-derived groundbaits constitutes higher nutrient load to water column in short term than plant-based groundbaits.
- Plant-based groundbaits resulted in higher fish biomass increase per unit of nutrient input than animal-based groundbaits; thus, they exert lower nutrient load. Our results have shown that long-term consumption of plant-based groundbaits can result in a substantial reduction of liver energy reserves, due to the imbalance in macronutrient content.

References

- Akhan, S., Gedik, K. (2017): Nutrient fluxes from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feces and uneaten feed in the Black Sea conditions. *Fresenius Environmental Bulletin* 26: 7054–7057.
- Arlinghaus, R., Mehner, T. (2003): Socio-economic characterisation of specialised common carp (*Cyprinus carpio* L.) anglers in Germany, and implications for inland fisheries management and eutrophication control. *Fisheries Research* 61:19-33.
- Arlinghaus, R., Niesar, M. (2005): Nutrient digestibility of angling baits for carp, *Cyprinus carpio*, with implications for groundbait formulation and eutrophication control. *Fisheries Management and Ecology* 12: 91-97.
- Arlinghaus, R., Tillner, R., Bork, M. (2015): Explaining participation rates rates in recreational fishing across industrialised countries. *Fisheries Management and Ecology* 22: 45-55.
- Ballestrazzi, R., Lanari, D., D'Agaro, E. (1998): Performance, nutrient retention efficiency, total ammonia and reactive phosphorus excretion of growing European sea-bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) as affected by diet processing and feeding level. *Aquaculture* 161: 55–65.
- Ballestrazzi, R., Lanari, D., D'Agaro, E., Mion, A. (1994): The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 127(2-3): 197-206.
- Berg, B., Staaf, H. (1981): Leaching, accumulation and release of nitrogen in decomposing forest litter. *Ecological Bulletins* 33: 163–178.
- Boros, G., Mozsár, A., Specziár, A. (2022): Management options for the unfavorable nutrient balance of recreational fishing in Lake Balaton (Hungary). *Ecosystem Health and Sustainability* 8(1): 2095928.
- Brown, J.H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, V.M., West, G.B. (2004): Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85: 1771–1789.
- Cheng, Z.J., Hardy, R.W., Usry, J.L. (2003): Plant protein ingredients with lysine supplementation reduce dietary protein level in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets, and reduce ammonia nitrogen and soluble phosphorus excretion. *Aquaculture* 218: 553–565.
- Chen, Q.Q., Liu, W.B., Zhou, M., Dai, Y.J., Xu, C., Tian, H.Y., Xu, W.N. (2016): Effects of berberine on the growth and immune performance in response to ammonia stress and high-fat dietary in blunt snout bream *Megalobrama amblycephala*. *Fish and Shellfish Immunology* 55: 165-172.
- Couto, A., Kortner, T.M., Penn, M., Bakke, A.M., Krogdahl, Å., Oliva-Teles, A. (2014): Effects of dietary soy saponins and phytosterols on gilthead sea bream (*Sparus aurata*) during the on-growing period. *Animal Feed Science and Technology* 198: 203-214.
- Couto, A., Kortner, T.M., Penn, M., Bakke, A.M., Krogdahl, Å., Oliva-Teles, A. (2015): Dietary saponins and phytosterols do not affect growth, intestinal morphology and immune response of on-growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture Nutrition* 21: 970-982.
- Daniel, N. (2018): A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies* 6(2): 164-179.
- Dokulil, M.T. (2014): Environmental Impacts of Tourism on Lakes.

- Dokulil, M.T., Herzig, A., Somogyi, B., Vörös, L., Donabaum, K., May, L., Nöges, T. (2014): Winter conditions in six European shallow lakes: a comparative synopsis. *Estonian Journal of Ecology* 63(3): 111-129.
- Drew, M.D., Borgeson, T.L., Thiessen, D.L. (2007): A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Animal Feed Science and Technology* 138: 118–136.
- Eeckhout, W., De Paepe, M. (1994): Total phosphorus, phytate–phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology* 47: 19–29.
- Elmer, L.K., Kelly, L.A., Rivest, S., Steel, S.C., Twardek, W.M., Danylchuk, A.J., Arlinghaus, R., Bennett, J.R., Cooke, S.J. (2017): Angling into the Future: Ten Commandments for Recreational Fisheries Science, Management, and Stewardship in a Good Anthropocene. *Environmental Management* 60: 165-175.
- Embke, H.S., Rypel, A.L., Carpenter, S.R., Sass, G.G., Ogle, D., Cichosz, T., Hennessy, J., Essington, T.E., Vander Zanden, M.J. (2019): Production dynamics reveal hidden overharvest of inland recreational fisheries. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(49): 24676-24681.
- Evangelista, C., Lecerf, A., Britton, R., Cucherousset, J. (2017): Resource composition mediates the effects of intraspecific variability in nutrient recycling on ecosystem processes. *Oikos* 126: 1439–1450.
- Francis, G., Makkar, H.P., Becker, K. (2001): Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture* 199(3-4): 197-227.
- Glaholt, S.P., Vanni, M.J. (2005): Ecological responses to simulated benthic-derived nutrient subsidies mediated by omnivorous fish. *Freshwater Biology* 50: 1864–1881.
- Hjalager, A.M. (2010): Regional Innovation System: The Case of Angling Tourism. *Turism Geographies* 12: 192-216.
- Hecky, R.E., Kilham, P. (1988): Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnology and Oceanography* 33: 796–822.
- Hidalgo, M.C., Urea, E., Sanz, A. (1999): Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture* 170: 267–283.
- Hefting, M.M., Clement, J.C., Bienkowski, P., Dowrick, D., Guenat, C., Butturini, Topa, S., Pinay, G., A., Verhoeven, J.T. (2005): The role of vegetation and litter in the nitrogen dynamics of riparian buffer zones in Europe. *Ecological Engineering* 24(5): 465-482.
- Hemre, G-I., Amlund, H., Aursand, M., Bakke, A.M., Olsen, R.E., Ringø, E., Svihus, B., Bernhoft, A., Jenssen, B.M., Møretrø, T., Nesse, L.L., Torrissen, O. (2018): Criteria for safe use of plant ingredients in diets for aquacultured fish. *European Journal of Nutrition and Food Safety* 8: 240-242.
- Hu, Y., Feng, L., Jiang, W., Wu, P., Liu, Y., Kuang, S., Tang, L., Zhou, X. (2021): Lysine deficiency impaired growth performance and immune response and aggravated inflammatory response of the skin, spleen and head kidney in grown-up grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Animal Nutrition* 7: 556-568.
- Imbert, A., Cucherousset, J., Parthuisot, N., Boluletreau, S. (2022): Elemental composition and microbial decomposition of different angling baits. *Fisheries Management and Ecology* 29(5): 552-559.

- Jahan, P., Watanabe, T., Satoh, S., Kiron, V. (2001): Formulation of low phosphorus loading diets for carp (*Cyprinus carpio* L.). *Aquaculture Research* 32: 361–368.
- Jahan, P., Watanabe, T., Satoh, S., Kiron, V. (2002a): A laboratory-based assessment of phosphorus and nitrogen loading from currently available commercial carp feeds. *Fisheries Science* 68: 579–586.
- Jahan, P., Watanabe, T., Satoh, S., Kiron, V. (2002b): Different combinations of protein ingredients in carp diets for reducing phosphorus loading. *Fisheries Science* 68: 595–602.
- Kim, J.D., Breque, J., Kaushik, S. (1998): Apparent digestibilities of feed components from fish meal or plant protein based diets in common carp as affected by water temperature. *Aquatic Living Resources* 11: 269–272.
- Kibria, G., Nugegoda, D., Fairclough, R., Lam, P. (1997): The nutrient content and the release of nutrients from fish food and faeces. *Hydrobiologia* 357: 165–171.
- Kong, W., Huang, S., Shi, F., Yang, Z., Feng, Y., Khatoon, Z., Zhou, J., Xiao, Y. (2020): Study on release kinetics of nitrogen and phosphorus from fish feed. *Aquaculture research* 51(8): 3216-3229.
- Mehner, T., Rapp, T., Monk, C.T., Beck, M.E., Trudeau, A., Kiljunen, M., Hilt, S., Arlinghaus, R. (2018): Feeding aquatic ecosystems: Whole-lake experimental addition of angler's ground bait strongly affects omnivorous fish despite low contribution to lake carbon budget. *Ecosystems* 22: 346-362.
- Morgan, D.K.J., Hicks, B.J. (2013): A metabolic theory of ecology applied to temperature and mass dependence of N and P excretion by common carp. *Hydrobiologia* 705: 135–145.
- Montero, D., Mathlouthi, F., Tort, L., Afonso, J.M., Torrecillas, S., Fernández-Vaquero, A., Negrin, D., Izquierdo, M.S. (2010): Replacement of dietary fish oil by vegetable oils affects humoral immunity and expression of pro-inflammatory cytokines genes in gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Fish & Shellfish Immunology* 29: 1073-1081.
- Moody, E.K., Corman, J.R., Elser, J.J., Sabo, J.J. (2015): Diet composition affects the rate and N: P ratio of fish excretion. *Freshwater Biology* 60: 456–465.
- National Research Council (NRC) (2011): Nutrient requirements of fish. National Academy Press, Washington, DC, USA, pp.144.
- Nakasima, B.S., Leggett, W.C. (1980): Natural source and requirements of phosphorus for fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 679–686.
- Niesar, M., Arlinghaus, R., Bennert, B., Mehner, T. (2004): Coupling insights from a carp, *Cyprinus carpio*, angler survey with feeding experiment to evaluate composition, quality and phosphorus input of groundbait in coarse fishing. *Fisheries Management and Ecology* 11: 225-235.
- Ogino, C., Takeda, H. (1976): Mineral requirements in fish, III. Calcium and phosphorus requirements in carp. *Nippon Suisan Gakkai Shi* 42: 793–799.
- Poikane, S., Kelly, M.G., Várбірó, G., Borics, G., Erős, T., Hellsten, S., Kolada, A., Lukács, B.A., Solheim, A.L., López, J.P., Willby, N.J., Wolfarm, G., Phillips, G. (2022): Estimating nutrient thresholds for eutrophication management: Novel insights from understudied lake types. *Science of the Total Environment* 827: 154242.
- Robinson, E.H. (1991): Improvement of cottonseed meal protein with supplemental lysine in feeds for channel catfish. *Journal of Applied Aquaculture* 1: 1-14.

- Rodehutscord, M., Gregus, Z., Pfeffer, E. (2000): Effect of phosphorus intake on faecal and non-faecal phosphorus excretion in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and the consequences for comparative phosphorus availability studies. *Aquaculture* 188: 383–398.
- Shiau, S.Y., Peng, C.Y. (1993): Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture* 117(3-4): 327-334.
- Sterner, R.W., Elser, J.J. (2002): *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton University Press.
- Specziár, A., Tölg, L., Bíró, P. (1997): Feeding strategy and growth of cyprinids in the littoral zone of Lake Balaton. *Journal of Fish Biology* 51: 1109-1124.
- Vanni, M.J. (2002): Nutrient cycling by animals in freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 33: 341–370.
- Wood, C.M. (2001): Influence of feeding, exercise, and temperature on nitrogen metabolism and excretion. *Fish Physiology* 20: 201–238.
- Wolos, A., Teodorowicz, M., Grabowska, K. (1992): Effect of ground-baiting on anglers' catches and nutrient budget of water bodies as exemplified by Polish lakes. *Aquaculture and Fisheries Management* 23: 499-509.
- Watanabe, T., Takeuchi, T., Satoh, S., Kiron, V. (1996): Digestible crude protein contents in various feedstuffs determined with four freshwater fish species. *Fisheries Science* 62: 278–282.
- Xie, M., Zhou, W., Xie, Y., Li, Y., Zhang, Z., Yang, Y., Olsen, R.E., Ran, C., Zhou, Z. (2021): Effects of *Cetobacterium somerae* fermentation product on gut and liver health of common carp (*Cyprinus carpio*) fed diet supplemented with ultra-micro ground mixed plant proteins. *Aquaculture* 543: 736943
- Yang, L., Zhao, M., Liu, M., Zhang, W., Zhi, S., Qu, L., Xiong, J., Wang, L., Qin, C., Nie, G. (2023): Effects of genistein on lipid metabolism, antioxidant activity, and immunity of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed with high-carbohydrate and high-fat diets. *Aquaculture Nutrition* 2023(1): 9555855.
- Yao, T., Xu, G., Liang, X., Fall, F.N., Cao, A., Zhang, S., Guan, Y., Sun, B., Xue, M. (2021): Tolerance assessment of dietary bile acids in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fed a high plant protein diet. *Aquaculture* 543: 737012.



Registry number: DEENK/40/2025.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Dorottya Lilla Fazekas

Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences

MTMT ID: 10073454

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (2)

1. **Fazekas, D. L.**, Antal, L., Ardó, L., Halasi-Kovács, B., Jakabné Sándor, Z., Pirger, Z., Tóth, F., Vitál, Z., Specziár, A., Mozsár, A.: Effects of angler's groundbaits on fish physiology and growth.
Sci. Rep. 14 (1), 1-11, 2024. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-024-79880-4>
IF: 3.8 (2023)
2. **Fazekas, D. L.**, Antal, L., Halasi-Kovács, B., Kwiatkowski, M., Tóth, F., Specziár, A., Mozsár, A.: Acute effects of angler's groundbaits: nutrient flux to water column.
Sci. Rep. 13 (1), 1-12, 2023. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-44381-3>
IF: 3.8

List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (2)

3. Varga, J., **Fazekas, D. L.**, Kosco, J., Mozsár, A.: A horgászat mint mintavételi módszer alkalmazhatóságának vizsgálata a fekete törpeharcsa (*Ameiurus melas*) esetében.
Pisces Hung. 14, 139-144, 2020. ISSN: 1789-1329.
4. **Fazekas, D. L.**, Sólyom, N., Nyeste, K. J., Antal, L.: Antropogén beavatkozások hatása az Öreg-Túr halfaunájára.
Pisces Hung. 10, 51-56, 2016. ISSN: 1789-1329.





Foreign language scientific articles in international journals (6)

5. Lovas-Kiss, Á., Antal, L., Mozsár, A., Nyeste, K. J., Somogyi, D., Kiss, B., Tóth, R., Tóth, F., **Fazekas, D. L.**, Vítál, Z., Halasi-Kovács, B., Tóth, P. J., Szabó, N., Lőki, V., Vincze, O., Lukács, B. A.: Bird-mediated endozoochory as a potential dispersal mechanism of bony fishes.
Ecography. 6, 1-4, 2024. ISSN: 0906-7590.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/ecog.07124>
IF: 5.4 (2023)
6. Varga, J., **Fazekas, D. L.**, Halasi-Kovács, B., Józsa, V., Tóth, F., Nyeste, K. J., Mozsár, A.: Fecundity, growth and body condition of invasive black bullhead (*Ameiurus melas*) in eutrophic oxbow lakes of River-Kőrös (Hungary).
BioInvasions Records. 13 (2), 515-527, 2024. EISSN: 2242-1300.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2024.13.2.16>
IF: 1.5 (2023)
7. Sharma, P., Gyalog, G., Berzi-Nagy, L., Tóth, F., Nagy, Z., Halasi-Kovács, B., **Fazekas, D. L.**, Mezőszentgyörgyi, D., Csukas, B., Varga, M.: Reusability check-based refinement of a biophysical fishpond model.
Comput. Electron. Agric. 218, 1-17, 2024. ISSN: 0168-1699.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2024.108664>
IF: 7.7 (2023)
8. Fazekas, G., Müller, T., Stanivuk, J., **Fazekas, D. L.**, Káldy, J., Tóth, F., Bürgés, J., Colchen, T., Vass, N., Ljubobratović, U.: Evaluation of applying environmental enrichment to sterlets (*Acipenser ruthenus* L.) in early life stages.
Appl. Anim. Behav. Sci. 268, 1-9, 2023. ISSN: 0168-1591.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applanim.2023.106090>
IF: 2.2
9. Vítál, Z., **Fazekas, D. L.**, Halasi-Kovács, B., Udvari, Z., Tóth, F., Mozsár, A.: Capture rate and distribution patterns of newly-stocked common carps (*Cyprinus carpio*) in a put and take lotic fishery: a multi-year case study.
Int Aquat Res. 14, 293-302, 2022. ISSN: 2008-4935.
DOI: <http://dx.doi.org/10.22034/IAR.2022.1961028.1292>
IF: 1.3
10. Káldy, J., Mozsár, A., Fazekas, G., Farkas, M., **Fazekas, D. L.**, Fazekas, G., Goda, K., Gyöngy, Z., Kovács, B., Semmens, K., Bercsényi, M., Molnár, M., Patakiné Várkonyi, E.: Hybridization of Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*, Brandt and Ratzeberg, 1833) and American Paddlefish (*Polyodon spathula*, Walbaum 1792) and Evaluation of Their Progeny.
Genes. 11 (7), 753-768, 2020. ISSN: 2073-4425.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/genes11070753>
IF: 4.096





Other journal articles (1)

11. Nyeste, K. J., **Fazekas, D. L.**, Sólyom, N., Antal, L.: Reofil fajok menedéke az Óreg-Túrban.
Halászat. 109 (4), 12, 2016. ISSN: 0133-1922.

Hungarian abstracts (1)

12. Káldy, J., Mozsár, A., Fazekas, G., Farkas, M., **Fazekas, D. L.**, Fazekas, G., Goda, K., Gyöngy, Z., Kovács, B., Semmens, K., Bercsényi, M., Molnár, M., Patakiné Várkonyi, E.: Az első sikeres hibridizáció a vágótok (*Acipenser Gueldenstaedtii*) és az amerikai lapátorru tok (*Polyodon Spathula*) között, mely életképes utódokat eredményezett.
In: A XLIV. Halászati Tudományos Tanácskozás kiadványa (Szarvas, 2020. szeptember 23-24.) Proceedings of the 44th Scientific Conference on Fisheries & Aquaculture (23-24 September 2020, Szarvas, Hungary). Szerk.: Nagyné Biró Judit, NAIK HAKI, Szarvas, 36-40, 2020. (ISSN 1219-4816 ; 37) ISBN: 9789637120428

Total IF of journals (all publications): 29,796

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 7,6

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

07 February, 2025

