

HALÁSZAT – TUDOMÁNY

10. évfolyam | 2. szám | 2024

Alapítva: 2015



› Halpikkely hulladék hasznosítása

› A takarmányozás szerepe a fenntartható akvakultúrában

› Az idegenhonos amurgéb táplálkozás-ökológiájának és hatásának vizsgálata a vízi élőlény-együttesre

HALÁSZAT – TUDOMÁNY

10. évfolyam | 2. szám | 2024

Az Agrárminisztérium tudományos folyóirata

A HALÁSZAT-TUDOMÁNY
elektronikus lap szerkesztőbizottsága

Főszerkesztő:
Dr. Urbányi Béla

Tudományos főszerkesztő-helyettes,
szerkesztő:
Dr. Bozáné Dr. Békefi Emese

A szerkesztőbizottság tagjai:

Dr. Bercsényi Miklós
Dr. Farkas Anna
Dr. Hancz Csaba
Dr. Harka Ákos
Dr. Jeney Zsigmond
Dr. Molnár Kálmán
Dr. Németh István
Dr. Orbán László

Patakiné Dr. Várkonyi Eszter

Dr. Székely Csaba
Dr. Szűcs István
Dr. Váradi László

A folyóirat megjelenését támogatja:
az Agrárminisztérium megbízásából a
Magyar Akvakultúra és Halászati
Szakmaközi
Szervezet

Kiadja:
Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.
1223 Budapest, Park u. 2.
www.hermanottointezet.hu

Felelős kiadó:
Füredi Kornél

HALÁSZAT-TUDOMÁNY
Megjelenik félévenként

Szerkesztőség:
Magyar Agrár- és Élettudományi
Egyetem
Akvakultúra és Környezetbiztonsági
Intézet
Halászati Kutatóközpont (HAKI)
5540 Szarvas Anna-liget utca 35.
Telefon: 06 66 515 300
E-mail:
bozanne.bekefi.emese@uni-mate.hu

A Halászat-tudomány című online
kiadvány ISSN azonosítója:
ISSN 3003-9797 (Online)
Címlapfotó:
MATE AKI HAKI Belső telepi látképe
Fotót készítette: MATE Médiaközpont

Tisztelt Olvasók, Kollégák és a Halászat Tudománya iránt érdeklődők!

Örömmel és büszkeséggel köszöntöm Önöket a Halászat-Tudomány szakmai folyóirat hasábjain, első ízben, mint főszerkesztő. Komoly örökséget veszek át, és ezúton is köszönöm Dr. Váradi László kollégámnak a korábbi évek kitartó és feszített munkáját, melynek eredményeképpen mindig meg tudtuk tölteni tartalmas, tudományos kéziratokkal a folyóiratunk oldalait! Hiszem és vallom, hogy az irány jó, az örökséget és a hagyományt tovább kell vinni és ápolni.

Kiadványunk célja továbbra is, hogy a halászati ágazat, az akvakultúra és a vízi ökoszisztémák tudományának legfrissebb eredményeit, gyakorlati megoldásait, valamint a kapcsolódó szakmai diskurzusokat elérhetővé tegye minden érintett számára.

A halászat és az akvakultúra nem csupán gazdasági tevékenység, hanem a fenntartható fejlődés, a környezeti egyensúly és az élelmiszer-ellátás szempontjából is meghatározó szerepet játszik. Napjainkban a klímaváltozás, az állatjóléti feladatok, a biodiverzitás csökkenése és a globális kihívások egyre összetettebb kérdéseket vetnek fel, amelyek megoldásában a kutatásnak, az innovációnak és az együttműködésnek kulcsszerepe van.

Folyóiratunk e célok megvalósítását szolgálja azzal, hogy fórumot biztosít a szakmai párbeszédhez, teret ad a legújabb kutatási eredményeknek, és hidat épít a tudományos közösség, a gyakorlati szakemberek és a döntéshozók között.

Bízom benne, hogy kiadványunk tartalma inspirációt nyújt mindazok számára, akik a halászatot és a vízi ökoszisztémák világában dolgoznak, tanulnak vagy kutatnak. Közösünk dolgozzunk azon, hogy a halászati tudományt és gyakorlatot új, magasabb szintekre emeljük, hozzájárulva a természeti erőforrások fenntartható kezeléséhez és megőrzéséhez.

Kívánok mindenkinek tartalmas olvasást és sikeres szakmai munkát!

Dr. Urbányi Béla MTA doktora
Halászat-Tudomány főszerkesztő
Halászat folyóirat
főszerkesztő

TARTALOM CONTENT

<https://doi.org/10.62397/HALTUD.2024.2.3-10>

Kovács Orsolya

Halpikkely hulladék hasznosítása3

<https://doi.org/10.62397/HALTUD.2024.2.11>

Hancz Csaba

A takarmányozás szerepe a fenntartható akvakultúrában 11

<https://doi.org/10.62397/HALTUD.2024.2.21>

Somogyi Dóra^{1,2}, Erős Tibor³, Mozsár Attila³, Czeglédi István³, Szeles Júlia⁴, Nagy László¹, Antal László¹, Nyeste Krisztián¹

Az idegenhonos amurgéb (Perccottus glenii Dybowski, 1877) táplálkozás-ökológiájának és hatásának vizsgálata a vízi élőlény-együttesre

Investigating the feeding ecology and effect of the invasive Amur sleeper

(Perccottus glenii Dybowski, 1877) on the aquatic assemblage21

Halpikkely hulladék hasznosítása

Kovács Orsolya

Miskolci Egyetem Anyag-és Vegyészmérnöki Kar, Energia-, Kerámia- és Polimertechnológiai Intézet, H - 3515, Miskolc - Egyetemváros, Egyetem út 1.
University of Miskolc, Faculty of Materials and Chemical Engineering, Institute of Energy, Ceramics and Polymer Technology, H - 3515 Miskolc - Egyetemváros, Egyetem street 1.

Összefoglalás

A halpikkely Magyarországon is számottevő mennyiségben termelődő élelmiszeripari, kereskedelmi, vendéglátóipari hulladék. Korunk egyik legégetőbb problémája a környezetterhelés csökkentése, ráadásul a halpikkely számos értékes anyagot tartalmaz: többek között kollagént, hidroxipatitot, lecitint, zselatint, kitint. A hulladéklerakóban való elhelyezése tehát nem csak a környezet számára jelent terhet, hanem értékes alapanyagok pazarlását is. Megújuló bioanyagként hasznos alapanyagokká alakítható, ezzel kereskedelmi értéket hordoz. Ezen cikk célja, hogy áttekintse a halpikkely hulladék hasznosításának lehetőségeit.

Utilization of fish scale waste Summary

Fish scales are a significant food, commercial, and catering industry waste produced in considerable quantities in Hungary. Reducing environmental pollution is one of the most pressing issues of our times and fish scales contain many valuable substances: collagen, hydroxyapatite, lecithin, gelatine, chitin, among others. Disposing of them in landfills not only poses a burden on the environment, but also leads to the waste of valuable raw materials. As a renewable biomaterial, fish scale can be transformed into useful raw materials offering commercial value.

The aim of this article is to review the potential ways of utilizing the fish scale waste.

Bevezetés

Az Országos Hulladékgazdálkodási Terv egyik fő cselekvési irányként határozza meg a mezőgazdasági és élelmiszeripari nem veszélyes hulladékok hasznosításának előtérbe helyezését a lerakással szemben (*Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021-2027*, 2021).

Becslések szerint a világon 18-30 millió tonna feldolgozásból származó halhulladék keletkezik évente, amelynek 4 tömegszázaléka halpikkely (*Nawshad M. és mtsai, 2016; Qin és mtsai, 2022*).

A Magyarországi Halgazdálkodási Programot (MAHOP) 2015. december 7-én fogadta el az Európai

Bizottság, mellyel a hazai halgazdálkodás előtt is megnyílt az uniós források igénybevételei lehetősége az Európai Tengerügyi és Halászati Alapból (ETHAA). Az Európai Bizottság által 2022 decemberében elfogadott MAHOP PLUSZ program keretében 53,9 millió eurót, azaz 20,14 milliárd forintnyi forrást biztosítanak az ágazat számára 2027-ig, amelynek forrása 70% -ban az ETHAA, 30% -ban pedig hazai társfinanszírozás formájában történik majd. A Magyarországi Nemzeti Akvakultúra Stratégiai terve megfogalmazza: „Az édesvízi halak feldolgozása területén kiemelten fontos lenne a meglévő alaptermék- és technológiafejlesztés a kisebb importfüggőség, a fogyasztói igények hazai termékekkel történő kiszolgálása és az előállítási költségek csökkentése érdekében. (...) Fontos feladat a csomagolótechnológia fejlesztése is (*Magyarországi Nemzeti Akvakultúra Stratégiai Terve 2021-2030, 2022*).”

A halpikkely olyan bioanyag, amely alkalmas csomagolóanyagok előállítására és még számos területen használható: többek között szennyvíztisztításban, biokompatibilitása miatt az orvosi területeken, kozmetikai iparban.

Irodalmi áttekintés

A halpikkely, mint értékes alapanyag

A halpikkely gyakorlatilag a halak „páncélja”, amely kiváló mechanikai szilárdság és a szívósság kombinációját képviseli. Mikroszerkezete kiváló alapokat nyújthat biomimetikus anyagok tervezéséhez (pld. rugalmas golyóálló ruházat) (*Rawat és mtsai, 2021*).

A halpikkely 41-45% szerves összetevőkből épül fel: kollagén, zsír, lecitin, szklerotin, kitin és 38-46% szervetlen komponensekből áll: kalciumhiányos hidroxipatit, kalcium-foszfát és nyomelemek: magnézium, vas, cink, kalcium (*Qin és mtsai, 2022*).

Halpikkely alkalmazások

Néhány orvosbiológiai felhasználás

A halpikkely és származékai (hidroxipatit, kollagén, zselatin, kitozán) biokompatibilitásuk révén az orvoslás számos területén bizonyult már ígéretesnek: csontgyógyí-

tás, fogászati alkalmazások, sebgyógyítás, szaruhártya-regeneráció, szájszöveti problémák orvoslása, porcszövet regeneráció. Ezek közül a csontregeneráció, a fogorvoslás és a sebgyógyítás területén emelek ki néhány, a halpikkely hatékonyságát alátámasztó bizonyítékot.

Csontszövet regeneráció

Nawshad Muhammad és társai leírják, hogy biokompatibilis hidroxipatitot nyertek halpikkelyekből. 1-butil-3-metil-imidazolium-acetát ionos folyadékban oldották fel a halpikkelyeket, 32+/-2 %-os hozammal értékes hidroxipatitot nyertek (*Nawshad M. és mtsai, 2016*). A hidroxipatit a csontokban, fogakban is megtalálható ásványi anyag, hatalmas a jelentősége a traumatológiai, ortopédiai és fogászati implantátumok fejlesztésében.

Aylin Kara és társai halpikkely felhasználásával állítottak elő csontszövet regenerációban alkalmazható kompozit szövettámaszokat. A csonttöltő anyagként szolgáló, háromdimenziós, nanoszálal halpikkely/poli(3-hidroxibutirát-ko-3-hidroxivalerát) kompozit szövettámaszok vattaszerű szerkezettel rendelkeznek. A szálamérőjük 560 ± 62 nm és 82%-os porozitás jellemzi őket. Az aprított halpikkelyeket nedves elektro-szállépezett poli(3-hidroxibutirát-ko-3-hidroxivalerát) nanoszálakba építették be, majd fagyasztva szárították. A halpikkely hozzáadása javította a mechanikai tulajdonságokat, elősegítette a biomineralizációt, növelte a sejtek életképességét, az alkalikus foszfatáz aktivitását, valamint az I. típusú kollagén termelődését. Az előállított halpikkelyes kompozitok terápiás kapacitással bírnak csontszövet károsodása esetén (*Kara és mtsai, 2020*).

Fogorvoslás

A fogászatban is kulcsfontosságú a hidroxipatit szerepe a fogak remineralizációjában, védelmében. *S.V. Meenakshi és társai* halpikkelyből és baromfitojás héjából vontak ki hidroxipatitot és fogkrémet készítettek belőle, majd 15 napon át demineralizált fogakon használták. Az elektronmikroszkópos keresztmetszeti vizsgálatok szabályos dentincsatornák kialakulását mutatták, amely sikeres ásványi újraépülésre utal, a fogzománc sérüléseket is képes helyreállítani, a lyukas területeket kitölteni, tehát eredményesnek bizonyult a halpikkelyből és tojáshejéből származó készítmény (*Meenakshi és mtsai, 2024*).

A pontypikkelyekből származó kollagén is ígéretesnek mutatkozik a fogászati kezeléseknél. Tanulmányok kimutatták, hogy a szarvasmarha – és sertéskollagén alkalmazása a fogorvoslásban korlátokkal jár, például a szivacsos agyvelőgyulladás, száj-és körömfájás miatt. *Dyah Nindita Carolina és társai* a kollagén izolálása céljából a pontypikkelyeket (*Cyprinus carpio L.*) savval extraháltak, majd porlasztva szárították. A pontypikkely kollagénpor jellemző paramétereit összehasonlították a vonatkozó indonéz nemzeti szabványban, a (SNI) 8076:2014-ben meghatározott, összetételre irányuló követelményekkel. Az eredmények

alapján a pontypikkelyek alkalmas kollagénpótló forrásnak ígérkeznek a fogorvoslásban (*Carolina és mtsai, 2024*).

Sebgyógyítás

Manal Shalaby és társai halpikkelyből izoláltak kollagén sebgyógyászati alkalmazásokhoz. Vizsgálták a kivont kollagén sebgyógyítási hatékonyságát, a sebösszehúzódság mértékét és szövettani eredményeit, valamint antibakteriális hatását is. Arra a következtetésre jutottak, hogy a kollagénkezelés gyorsabb, hatékonyabb sebgyógyulást eredményezett (*Shalaby és mtsai, 2019*).

Haonan Wang és kollégái halpikkelyből származó természetes hidrogél kompozit, halpikkelyzselatin (FSG) hatását vizsgálták a diabéteszes sebgyógyulás kapcsán. Tengeri sügér pikkelyéből nyerték ki az FSG-t, amely elősegítette a sejtek növekedését, szaporodását, migrációját, helyreállította a magas glükózszint miatt károsodott sejtek működését, normalizálta az akut gyulladásos választ, nagy mértékben elősegítette a sebgyógyulást diabéteszes patkányokban (*Wang és mtsai, 2024*).

Töltőanyagok

Papíripari töltőanyagként is alkalmazható a megfelelő fényesség eléréséhez. A kisebb karbonlábnyom miatt egyre nagyobb figyelmet kapnak a bioanyagok ebben az iparágban is. *Elif Ural és Emine A. Kandirmaz* különböző szemcseméretűre öröltek halpikkelyeket, majd eltérő mennyiségű halpikkelyt tartalmazó papírlapokat és nyerspapír bevonatokat állítottak elő. Ezt követően próbanyomtatásokat végeztek IGT-C1-gyel. Meghatározták a bevonatok összetételét, fizikai jellemzőit, mint például a fényességet, fényállóságot, szilárdságot, tapadási jellemzőket. Sárgasági index tekintetében a 2,5 – 10% halpikkely tartalom a megfelelő. A fényességre vonatkozóan a 10%-os halpikkely tartalommal érték el a maximum értéket. Az öregedéssel változtak a színek. A legjobb minőségű az 5%-nyi, közepesre örölt halpikkely tartamú papírbevonat volt (*Ural és Kandirmaz, 2018*).

Kwansuda Kongthong és munkatársai halpikkely hulladékból állítottak elő hidroxipatitot, majd töltőanyagként alkalmazták élelmiszer-csomagolásra alkalmas biológiailag lebomló keményítőhab tálcához. Lúgos hőkezelést alkalmaztak a hidroxipatit kinyeréséhez. A halpikkelyeket 0,1, 0,5 és 1 M koncentrációjú sósavval előkezelték, majd 2%-os nátrium-hidroxid oldattal kezelték 70 °C-on 5 órán keresztül, majd 20%-os nátrium-hidroxid oldattal egy órán át a hidroxipatit extrahálása céljából. Az 1 M-os sósavval előkezelt mintából kivont hidroxipatit rendelkezett a legkisebb szemcsemérettel ($28,24 \pm 5,20$ µm), a legnagyobb kristályossági fokkal (79%) és a legnagyobb hőstabilitással, a legnagyobb BET fajlagos felülettel ($90,80$ m²/g), valamint a legmagasabb fehérségségi értékkel ($97,360 \pm 0,01$) (*Kongthong és mtsai, 2024*).

A. Joseph Arockiam és társai 3D nyomtatáshoz használt politejsavba (PLA) halpikkelypor töltőanyagot (FSP) tettek. Mérték a PLA/FSP filamentek szakítószilárdságát, húzómodulusát, nyúlását, átmérőeltérését, termogravimetriás értékeit, felületi érdességét, valamint SEM vizsgálatokat is végeztek a különböző tömegszázalékos összetételek esetén (PLA, PLA/FSP10, PLA/FSP20, PLA/FSP30). Az eredmények azt mutatták, hogy a 20 tömegszázalékos halpikkelytartalommal megerősített PLA filamentek érték el a legnagyobb szakítószilárdságot, modulusuk 44,49 MPA és 2,83 GPA volt. A mikroszkópos elemzés megerősítette az egyenletes szemcseeloszlást szintén a 20%-os mintákban. A megmutató értékek alapján a PLA/FSP20 összetétel optimálisnak bizonyult bioanyagok 3D nyomtatásához, szövetmérnöki alkalmazások fejlesztéséhez is (Arockiam és mtsai, 2023).

A halpikkely könnyű töltőanyagként javítja a polimerek mechanikai tulajdonságait, növeli a szakítószilárdságot, biológiai lebomlóképeséget, a vízállóságot, a papírgyártásban is használható.

Akkumulátorok, nanogenerátorok

Az újratölthető lítium-ion akkumulátorok (LIB) a fosszilis források alternatívájaként jelentek meg az energiatárolás - és átalakítás területén. A probléma az, hogy a lítium-ion akkumulátorok korlátozott energiasűrűséggel rendelkeznek, amely nem elegendő a hibrid elektromos járművek, tisztán elektromos járművek és egyéb nagy energiaigényű berendezések esetén. A lítium-ion akkumulátorok esetén a széntartalmú anyagokat széles körben vizsgálták esetleges anódként. A halpikkelyből nyert, nitrogénnel adalékolt szén nagy fajlagos felületű, többrétegű porózus szerkezettel rendelkezik, nagy stabilitást mutat elektrolitokban és nagy kapacitású anód anyag lítium-ion akkumulátorok esetén (Selvamani és mtsai, 2015).

Az orvosi ellátásban, a testmonitorozásban nagy igény van a rugalmas és hordozható eszközökre. A hagyományos energiaforrások nagyfokú használata fokozza a környezeti problémákat, ezért új, elérhető, környezetkímélő energiaforrásokra van szükség. A triboelektromos nanogenerátorok (TEENG) nagy teljesítménysűrűségük miatt erre a kérdésre kiváló választ adnak. Liwei Zhao és társai a halpikkelyek triboelektromos hatásán alapuló TEENG-et vizsgálták. A nanogenerátorra nehezedő nyomás növekedésével a TEENG kimeneti feszültsége nő, 7,4 V feszültséget, 0,18 μ A rövidzárási áramot termel 50 N nyomáson. A halpikkelyek triboelektromos hatása a kollagénrostkötegekből álló lamellás szerkezettükkel áll összefüggésben. A halpikkelyekből készített biokompatibilis nanogenerátor nagy érzékenységgel észleli az olyan emberi mozgásokat, mint például a járás, könyökhajlítás. Ígéretes eszköznek bizonyul az egészségügyben, testmonitorozás területén (Zhao és mtsai, 2024).

Vízisztítás

A halpikkely szennyvízkezelésre való alkalmasságát vizsgálta Samiha Sultana és Nafisa Maliat. *Catla catla* (dél-ázsiai édesvízi hal, pontyfélék családjá) halpikkelyeket használtak bioadszorbensként Cr(III) és Co(II) nehézfémek szennyvízből való eltávolítására. Különböző sóoldatokat, például kobalt(II)-nitrát-hexahidrátot, króm(III)-szulfátot alkalmaztak különböző fémionkoncentrációkkal. A koncentrációk és az adszorpciós hatékonyság meghatározásához UV-Vis spektrofotometriát alkalmaztak. A kezdeti fémion-koncentrációk befolyásolták az adszorpciós hatékonyságát. A magasabb koncentrációk csökkentették az adszorpciós kapacitást, a hosszabb időtartamok növelték az egyensúly eléréséig. A savval kezelt halpikkelyek adszorpciós teljesítménye 50,2%-kal emelkedett. A bioadszorbens vizsgálata FTIR, SEM, EDS analitikai technikákkal történt. Az adszorpciós egyensúlyi adatokat Langmuir és Freundlich izoterma modellek alkalmazásával elemezték. Az ipari vizek nehézfém tartalmának eltávolítására a *catla catla* halpikkelyek költséghatékony, fenntartható, innovatív megoldást kínálnak az ioncserélő gyanták árának töredékéért (Sultana és Maliat, 2024).

Vizeink olajszennyezettsége hatalmas környezeti károkat okoz. A halpikkely olaj bioszorbensként is kiválóan megállja a helyét, ahogyan Rana Nabil Malhas és kollégái által végzett átfogó vizsgálatok bizonyítják. Elértek 95%-os eltávolítást 1000 mg adszorbens, 500 mg/l olajkoncentráció, 60 perces kontakidő, 7-es pH és 0,15 mm-es szemcseméret mellett. Az olaj tengervízzel való keverése mellett 97% - os hatásfokot értek el töltött oszlopban. A tanulmány rámutatott, hogy az olajszennyezések kapcsán a halpikkely hatékony a kármentesítés során (Malhas és mtsai, 2024).

Színezőanyagok megkötése kapcsán is bizonyított a halpikkely alkalmassága. Tapas Kumar Roy és társai például a textiliparban használatos, vízi környezetben veszélyes kongóvörös eltávolítását tanulmányozták halpikkely hulladék adszorbensek alkalmazásával. Az előkészített halpikkelyeket nullpont töltettel (pHZPC), SEM-EDX elemánlízissel és FTIR-spektroszkópiával jellemezték. Az egyensúlyi és kinetikai alapon a Langmuir és a pseudo-másodrendű modelleket használták a festékszorpciós folyamat leírására. A kimerült adszorbent 0,5 M NaOH-oldattal regenerálták. A halpikkely hatékony, olcsó bioanyagként mutatkozott meg az ipari szennyvizekből való festékek eltávolítása kapcsán (Roy és mtsai, 2024).

Csomagolóanyagok

Az egyszer használatos csomagolóanyagok környezetbarát csomagolásokkal való helyettesítése napjaink egyik legfontosabb követelménye. A lebomló, megújuló csomagolóanyagok egyik gyakori problémája, hogy gyenge mechanikai tulajdonságok jellemzik, amelyek miatt a

termék gyakran alkalmatlannak bizonyul funkciójának betöltésére. Gyakori tapasztalat, hogy a boltban például a gyümölcszel megrakott biológiailag lebomló tasak a pénztárig sem bírja ki, netalán már a pakolásakor szétszakad. Ezek a problémák küszöbölhetőek ki a halpikkely alkalmazásával. *Lucy Hughes* halfeldolgozási hulladékok (halpikkely és halbőr) felhasználásával dolgozott ki megfelelő mechanikai tulajdonságokkal bíró, ugyanakkor komposztálható, lebomló csomagolóanyagot, amely „MarinaTex” névvel került kereskedelmi forgalomba (*Hughes*, 2019).

Abdul Rasak és munkatársai tejhalak (*Chanos chanos*) pikkelyeiből származó kitozán (CS) felhasználásával állítottak elő lebomló kompozit CS/PVA/PEG biopolimert. A halpikkelyből kinyerhető kitozán mennyisége elérheti a 37,4%-ot, jelen kutatás esetén 22,7%-os volt a kitermelés. Vizsgálták a kitozán hatását a mechanikai tulajdonságokra és a lebomlási időre. A szakítószilárdság 0,5 g CS esetén 0,21 MPa volt, amely 0,24 MPa-ra nőtt 2 g CS tartalom esetén a CS/PVA/PEG biokompozitban. Az XRD spektrumok mutatják, hogy a kitozán befolyásolta a biokompozitok szerkezeti tulajdonságait. A FTIR analízis hidrogénkötések jelenlétét mutatta ki a kitozánból -OH és -NH₂ csoportok, valamint a PVA és PEG -OH csoportjai között. A kitozán jelenléte növelte a szakítószilárdságot és csökkentette szakadási nyúlást. A minták 72 óra alatt teljes mértékben lebomlottak a talajban (*Rasak és mtsai*, 2024).

Parthasarathy Surya és társai kukoricakeményítő alapú biohátyát készítettek filmöntéssel halpikkely hulladék felhasználásával. Tanulmányukban olyan mintákat vizsgáltak, amelyek különböző százalékban tartalmaztak halpikkelyport és kukoricakeményítőt, majd vizsgálták számos fizikai és kémiai tulajdonságukat: szövetszerkezetét, színét, forró vízben való oldhatóságot, szakítószilárdságot, funkciócsoportjait, morfológiájukat. A legjobb értékeket a halpikkelypor és a kukoricakeményítőpor 1:3 arányú keveréke mutatta. Átlagos vastagsága 0,0420 ± 0,001 mm, szakítószilárdsága 6,06 ± 0,05 MPa, hőstabilitása 278,741 °C, vízfelvétele 55-60%. A biológiai lebonthatóság vizsgálata kapcsán 7 napos szerves hulladék kezelés után volt észlelhető bomlás. A tiszta kukoricakeményítő film mutatta a legnagyobb mértékű degradációt (60%), míg a tiszta halpikkelyfilm a legkisebbet (28%). Az előállított bioanyagok környezetbarát, olcsó alternatívái a szintetikus műanyagcsomagolásoknak (*Surya és mtsai*, 2022).

Shalma és munkatársai élelmiszer-csomagolásra használható bio-nanokompozit filmeket állítottak elő szintén kukoricakeményítóből és halpikkely hulladékból, ZnO nanoszemcsék és kurkumivonat (kurkumin) felhasználásával. A bio-nanokompozit filmek fokozott vízzáró, kiváló mechanikai, antimikrobális tulajdonságokkal rendelkeztek, emellett pH-kimutató, UV-gátló, ammóniaérzékelő sajátosságai is vannak. A legkedvezőbb összetételű filmek aktív és intelligens élelmiszer-csomagolásra alkalmazhatók. A kurkumint tartalmazó bio-nanokompozit film képes

volt vizuálisan megjeleníteni a hal minőségének változását a tárolás folyamán azáltal, hogy színét sárgáról vöröses-narancssárgára változtatta a halminták mikrobiológiai és kémiai változásaival egyidejűleg. A bio-nanokompozit filmet pH-értéket jelző és ammóniajelenléteket detektáló csomagolási címkéként alkalmazták a vizsgálatok során (*Shalma és mtsai*, 2023).

Burkolatok, burkolóanyagok

S. Sathvik és társai aszfaltba keverték halpikkelyport és vizsgálták, hogy különböző dózisokban (3%, 6%, 9%, 12%) milyen hatással van az aszfalt tulajdonságaira. Arra az eredményre jutottak, hogy a halpikkelypor tartalom javította az aszfalt nyomvájúsodással, a nedvesség károsító hatásaival és a maradandó alakváltozással szembeni ellenállást. Növelte a kötőanyag merevségét, csökkentette a hőmérséklet-érzékenységet, de adagolástól függetlenül rontotta a megmunkálhatóságot és a teljesítményt alacsony hőmérsékleteken. A 6-9% halpikkelypor tartalom bizonyult a legoptimálisabbnak és elmondható, hogy használható aszfaltmódosító bioadalekként (*Sathvik és mtsai*, 2024).

A francia *Eric de Laurens* tilápia pikkelyekből tűzálló falburkolatot, bútorlapokat fejlesztett ki. 2022-ben azt nyilatkozta, hogy a fenntartható módon tenyésztett tilápiák pikkelyeit Indonéziából szerezte be, havonta akár 100 tonna szárított pikkelyt is. Kereste a helyi megoldásokat, de az ellátási lánc még nem alakult ki. A halfeldolgozókból vagy a hulladéklerakókba kerülnek a pikkelyek vagy összekeverik más halhulladékokkal és állati takarmányokat állítanak elő belőlük, holott nagyobb értéket, hosszútávú felhasználást kínáló falburkolatok, bútorok is készülhetnek. *Eric de Laurens* a halpikkelyeket porrá őrölte, majd préseléssel lapokká formálta. A pikkelyekből kivont kollagén a kötőanyag. A rögzítéshez saját bioanyag ragasztót fejlesztettek. A halpikkely lapok nedves közegben megduzzadnak, ezért nem alkalmasak fürdőszobába és konyhába, csak száraz beltéri közegben (*Fletcher*, 2022; *Designwanted*, 2022).

Kozmetikai alkalmazások

A halpikkely egyik összetevője a kollagén, amely az egyik legfontosabb kötőszöveti fehérje, szerepe van a sejtek közötti tér és a porcok felépítésében, a csontok rugalmasságában. A halpikkelyből származó kollagén biokompatibilitása, nagy felszívódási képessége, olcsó forrásként való megjelenése, vallási tilalmaktól való mentessége miatt vonzó a kutatók számára, alkalmazza az élelmiszer-, gyógyszer és kozmetikai ipar (*Sharma és mtsai*, 2023). Az édes- és sós vízi halak halkollagén forrásként is szolgálnak, főleg a bőrük, csontjaik, uszonyaik és pikkelyeik, amelyek a halfeldolgozás folyamán hulladéknak minősülnek, így a kollagénelőállításra való fel-

használásuk csökkentik a környezetszennyezést (*Jadach és mtsai, 2024*).

Yu-Pei Chen és társai a tejhal (*Chanos chanos*) pikkelyeiből izolált kollagén peptidek hatását vizsgálták a sejtek életképességére, valamint a halkollagén antioxidáns, gyulladásgátló és DNS-védő hatásait is értékelték. Az eredmények azt mutatták, hogy 100 mg/ml tejhalpikkely kollagén hozzáadása után az életképes sejtek több, mint 95%-a megmaradt a humán keratinocitákban és igazolták az antioxidáns hatását is. A halkollagén gyulladásgátló hatást is mutatott a lipoxigenáz aktivitás és a nitrogén-monoxid gyökök csökkentésével. Továbbá a DNS elektroforézis vizsgálat azt mutatta, hogy a halkollagénnel való kezelés közvetlenül véd a ciklobután-di-pirimidin termeléstől és az egyszálú DNS törésektől, amelyek az UV-sugárzás és a H₂O₂ káros következményei. A halpikkely kollagén antioxidáns, gyulladásgátló és DNS-védő hatása miatt alkalmasnak kínálkozik kozmetikumokban való használatra (*Chen és mtsai, 2018*).

A halpikkely antiszeptikus krém előállításához is hatékony összetevőnek bizonyult *Suzane Poughella és munkatársai* kutatásában. A halpikkelynek magas a kitintartalma, amely a kitozán prekursora. A kitozánt 21,2%-os hozammal nyerték ki a halpikkelyekből. A vizsgálatok során alkalmaztak FTIR, SEM és EDS analízist. A kitozán 2%-os ecetsavban történt 96%-os oldódása után antibakteriális aktivitás tesztet végeztek. *Escherichia coli* baktériumokkal szemben és antibakteriális aktivitást mutattak ki. A krémalap viszkozitását és optimális eloszlását 14,65% szezámolajjal, 9,08% lanette-viasszal és 1,26% glicerinnel érték el (*Poughella és mtsai, 2024*).

Hatóanyagszállító közeg

Pangkhi Medhi és társai olyan biológiailag lebomló mikrotűkről számoltak be, amelyeket halpikkelyből származó kollagénből állítottak elő. A mikrotűkbe lidokaint töltöttek, amely alkalmas célzott, perkután hatóanyagadagolásra (*Medhi és mtsai, 2017*).

Halpikkely alapú hidrogél mikrotűket is készítettek alacsony költségvetéssel, alacsony hőmérsékletű préselési módszerrel. A mikrotűket térhálósított hidrolizált kollagénből állították elő, melyek gyógyszerbetöltésre való alkalmasságát vas-glükonáttal való feltöltéssel vizsgálták. A mikrotűk 0,136 N-ig ellenállnak törés előtt, amely elegendő a bőr átszúrásához. A térhálósított mikrotűk PBS-ben eredeti tömegük 340%-ára duzzadtak és 24 órán keresztül a betöltött gyógyszer 34,5%-át szabadították fel, míg a nem térhálós mikrotűk néhány perc alatt feloldódtak. A felszabaduló gyógyszer kémiai vizsgálata megerősítette, hogy megőrizte kémiai szerkezetét. UV-spektrometriát alkalmaztak a felszabaduló koncentráció mennyiségi meghatározására. A FTIR analízis alátámasztotta a térhálósított polimer szerkezetét. A módszer lehetővé teszi a térhálósítást szobahőmérsékleten, hőpréseléssel (*Olatunji és Denloye, 2019*).

Deepti Rekha Sahoo és Trinath Biswal amoxicillin hatóanyag szabályozott felszabadulásához alkalmazható poli(akrilamid-koakrilsv)/halpikkelyből származó kitozán szuperabszorbens bioanyagot állítottak elő szabad gyökös kopolimerizációval. Iniciátorként ammónium-per-szulfátot, térhálósítóként N,N'-metilén-biszakrilamidot használtak. Az anyag vízfelvevő képessége az 1. naptól a 30. napig folyamatosan növekedett. A TGA és a DTG megfelelő hőstabilitást mutatott. A biológiai lebonthatósági százalék növekszik az idővel. Az amoxicillin kapszulázási hatékonysága 70% körüli, amely azt mutatja, hogy a bioanyag nagyon hatékony gyógyszerfelszabadulási alkalmazásokhoz. A szintetizált bioanyag környezetbarát, alacsony előállítási költségű, hőstabil hidrogél (*Sahoo és Biswal, 2024*).

A halpikkely hulladékok gyűjtése, tisztítása

A halpikkely hulladék összegyűjtését vállalkozások végzik, közvetlenül a halfeldolgozóktól, majd tisztítás után értékesítik. A halfeldolgozó üzemek halpikkely felfogókat alkalmaznak, amelyekből a felhalmozódott pikkelyek könnyen üríthetőek a halfeldolgozás folyamán.

A *Nizona Marine Products* indiai cég tiszta vízzel átmossa, majd levegőn vagy gépi úton megszáritja a begyűjtött halpikkelyeket, ezt követően kollagén peptid gyártóknak adja el nyersanyagként. (*Nizona Marine Products Pvt. Ltd., 2024*)

Jaber Bin Abdul Bari hasonló eljárásáról számol be. Az összegyűjtött halpikkelyeket tiszta meleg vízzel átmossák, majd levegőn szárítják meg. Az elmúlt időszakban Banglades értékes exportcikkévé vált a halpikkely. Az idei költségvetési év hetedik hónapjáig 2874 tonna halpikkelyt értékesítettek, 8 millió USA dollár értékben. (*Bari, 2024*)

Kihívások

A halpikkely számos lehetőséget kínál különböző felhasználásokhoz, azonban még sok kihívás korlátozza a széles körű elterjedését. Szabályozási, technológiai, logisztikai, gazdasági és környezetvédelmi kérdések várnak még megválaszolásra. Olyan ellátási láncok kialakítására van szükség, amelyek nagy mennyiségű halpikkely hulladékot tudnak biztosítani a gyártók számára. Ezen kihívások kezelésére az ipar, a kutatás és a politikai döntéshozók összehangolt együttműködésére van szükség, hogy innovatív megoldásokat, szabályozásokat dolgozzanak ki, kedvező gazdasági feltételeket teremtsenek a halpikkely hulladék hasznosítás széles körű elterjedéséhez. (*Manjudevi és mtsai, 2024*)

Következtetések, javaslatok

A halpikkely hulladék olyan természetes, megújuló

forrás, amely számos területen értékes alapanyagként szolgálhat. Kiváló fizikai és kémiai összetételének köszönhetően a halak feldolgozása után „új életet” kaphatnak a pikkelyeik vagy azok származékai, kivonatai, akár környezetbarát biopolimer csomagolóanyagok, akár orvosi, gyógyszeripari alkalmazások, szennyvíztisztítás vagy éppen kozmetikai felhasználások formájában.

A tömeges ipari felhasználás előtt azonban biztosítani kell az ellátási láncokat, hogy folyamatosan rendelkezésre álljon az alapanyag, mert pillanatnyilag nagy mennyiségű halpikkelyt nem egyszerű egy helyről beszerezni. Halfeldolgozó üzemekkel, hulladékkezelőkkel való együttműködés nagy mennyiségű halpikkelyt tudna biztosítani. Továbbá érdemes további hasznosítható halhulladékok (csont, bőr) regionális alkalmazhatóságát is feltárni.

Napjainkban is számos kutatás folyik világszerte a témában, hiszen a halhulladékok nagy része jobb esetben gazdasági haszonállatok vagy „házi kedvencek” takarmányozásában hasznosul csupán, rosszabb esetben hulladéklerakókba, égetőkbe kerülnek, miközben értékes alapanyagok mennek így veszendőbe vagy képviselnek alacsony kihasználtságot mennyiségileg és minőségileg.

A fenti felsorolásokból látható, hogy a halpikkely olyan bioanyag, amelyben számos potenciál rejlik, érdemes lenne alkalmazni az általa kínált lehetőségek némelyikét legalább.

Irodalomjegyzék

Arockiam, A. Joseph, Rajesh S. Karthikeyan S.: Development of fish scale particle reinforced PLA filaments for 3D printing applications, *Journal of Applied Polymer*, Volume 141, Issue 12, e55132, first published: 27 December, 2023, letöltve: 2024. 06. 09. <https://doi.org/10.1002/app.55132>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/app.55132>

Bari, J. B. A.: Fish scales: transforming waste into export wealth in Bangladesh, *Seafood Network Bangladesh*, 29 March, 2024, letöltve: 2024. 12. 08. <https://seafoodnetworkbd.com/fish-scales-transforming-waste-into-export-wealth-for-bangladesh>

Carolina, D. N., Satari, M. H., Priosoeryanto, B. P., Susanto, A., Sukotjo, C., Kartasasmita, R. E.: Expolring carp scales (*Cyprinus carpio L.*) as a novel source of collagen for dental use: Extraction and characterization, *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, Volume 14, Issue 4, 05 April, 2024, letöltve: 2024. 06. 04. <https://dx.doi.org/10.7324/JAPS.2024.166542>

https://japsonline.com/abstract.php?article_id=4230&sts=2

Chen, Y.-P., Liang, C.-H., Wu, H.-T., Pang, H.-Y., Chen, C., Wang, G.-H., Chan, L.-P.: Antioxidant and anti-inflammatory capacities of collagen peptides from milkfish (*Chanos chanos*) scales, *Journal of Food Sciences*

and Technology, Volume 55, pages 2310-2317, (2018), 03 May, 2018, letöltve: 2024. 06. 17. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3148-4>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-018-3148-4>

Designwanted website, *Materials & Surfaces*, A resourceful nature: unique, stone-like tiles from by-products of fishing industry, 2022, letöltve: DesignWanted honlapjáról, 2024. 06. 15.

<https://designwanted.com/scalite-material-fish-scales/> Fletcher, R.: A question of scale, *The Fish Site*, 3 August 2022, letöltve: 2024. 06. 15.

<https://thefishsite.com/articles/a-question-of-scale-scalite-tilapia>

Hughes, L.: letöltve a MarinaTex honlapjáról, 2024. 06. 11.

<https://www.marinatex.co.uk/>

Innovációs és Technológiai Minisztérium: Országos Hulladékgyűjtési Terv 2021-2027, 2021, 91. o., letöltve: 2024. 05. 31.

<https://kormany.hu/dokumentumtar/orszagoshulladeggyujtosi-terv-2021-2027>

Jadach, B., Mielcarek, Z., Osmalek, T.: Use of collagen in cosmetic products, *Molecular Biology* 2024, 46(3), 2043-2070, 4 March, 2024, letöltve: 2024. 06. 16. <https://doi.org/10.3390/cimb46030132>

<https://www.mdpi.com/1467-3045/46/3/132>

Kara, A., Gunes, O.C., Albayrak, A. Z., Bilici, G., Erbil, G., Havitcioglu, H.: Fish scale/poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) nanofibrous composite scaffolds for bone regeneration, *Journal of Biomaterials applications*, Volume 34, Issue 9, February 2, 2020, letöltve: 2024. 06. 01. <https://doi.org/10.1177/0885328220901987>

<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0885328220901987>

Kongthong, K., Trongnit, J., Sriwoon, R., Sukolrat, A., Kaewtatip, K.: Characterization of hydroxyapatite from recycled fish scale and its application as a filler in biodegradable food tray, *Applied Ceramic Technology*, Volume 21, Issue 2, March/April 2024, first published: 10 September 2023, pages 1231-1241, letöltve: 2023. 06. 08. <https://doi.org/10.1111/ijac.14546>

<https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ijac.14546>

Magyarországi Nemzeti Akvakultúra Stratégiai Terve 2021-2030, Agrárminisztérium, 2022. november 15., 24-25. old., letöltve: 2024. 05.31.

<https://halaszat.kormany.hu/nemzeti-akvakultura-strategiai-terv>

Malhas, R. N., El Achkar, J. H., Misbah, B., Alawadhi, A.: Innovative remediation of oily water utilizing environmentally friendly fish scale biosorbents, *online Research Square*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4286006/v1>, 23 April, 2024, letöltve: 2024. 06. 10. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4286006/v1>

<https://www.researchsquare.com/article/rs-4286006/v1>

Manjudevi, M., Kamaraj, M., Aravind, J., Wong, L. S.: Application of the circular economy to fish scale waste, *Sustainable Chemistry for the Environment*, Volume 8, December 2024, 100170, first published online: 10 October 2024, letöltve: 2024. 12. 07. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100170> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949839224001135#bib63>

Medhi, P., Olatunji, O., Nayak, A., Uppuluri, C. T., Olsson, R. T., Nalluri, B. N., Das, D. B.: Lidocaine-loaded fish scale-nanocellulose biopolymer composite mikroneedles, *AAPPS Pharm SciTech*, Volume 18, pages 1488-1494, (2017), 28 March, 2017, letöltve: 2024. 06. 18. <https://doi.org/10.1208/s12249-017-0758-5>

<https://link.springer.com/article/10.1208/s12249-017-0758-5>

Meenakshi, S. V., Muthupriya, P., Kanchana, G., Kishorkumar, S., Yogeshkanna, M., Shakinkathu, N., Sivakumar, K.: Fish scale and eggshell conversion into hydroxyapatite: a route to dentistry treatment, *Applied Physics A*, Volume 130, article number 434, (2024), 23 May, 2024, letöltve: 2024. 06. 02. <https://doi.org/10.1007/s00339-024-07597-2>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00339-024-07597-2>

Nawshad, M., Gao, Y., Iqbal, F., Ahmad, P., Ge, R., Nishan, U., Rahim, A., Gonfa, G., Ullah, Z.: Extraction of biomcompatible hydroxyapatite from fish scales using novel approach of ionic liquid pretreatment, *Separation and Purification Technology*, Volume 161, 17 March 2016, Pages 129-135, letöltve: 2024. 05. 31. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.01.047>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138358661630051X>

Nizona Marine Products Pvt. Ltd., letöltve a cég honlapjáról, 2024. 12. 08.

<https://nizonamarineproducts.com>

Olatunji, O., Denloye, A.: Production of hydrogel microneedles from Fish Scale biopolymer, *Journal of Polymers and the Environment*, Volume 27, pages 1252-1258 (2019), 21 March, 2019, letöltve: 2024. 06. 19. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01426-x>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-019-01426-x>

Poughella, S., Ngomo, O., Tsatsop, R. K., Meple, S., Emmanuel, T., Sieliechi, J.: Formulation of an antiseptic topical cream based on chitosan extracted from the scales of the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*), *Natural Product Research*, 29 January, 2024, letöltve: 2024. 06. 17. <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2308720>

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786419.2024.2308720>

Qin, D., Bi, S., You, X., Wang, M., Cong, X., Yuan, C., Yu, M., Cheng, X., Chen, X.- G.: Development and

application of fish scale wastes as versatile natural biomaterials, *Chemical Engineering Journal*, Volume 428, 15 January 2022, 131102, letöltve: 2024. 05. 31. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131102>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138589472102684X#b0135>

Rasak, A., Heryanto, H., Tahir, D.: High degradation bioplastics chitosan-based from scale waste of milkfish (*Chanos chanos*), *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 256, Part 2, January 2024, 128074, letöltve: 2024. 06. 12. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128074>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813023049735>

Rawat, P., Zhu, D., Rahman, M. Z., Barthelat, F.: Structural and mechanical properties of fish scales for the bio-inspired design of flexible body armors: A review, *Acta Biomaterialia*, Volume 121, February 2021, 05 December, 2020, 41-67 p., letöltve: 2024. 06.01. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.003>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S174270612030708X>

Roy, T. K., Mondal, A., Mondal, N. K.: Removal of congo red by waste fish scale: isotherms, kinetics, thermodynamics and optimization studies, *Pollution*, Volume 10, Issue 1, January 2024, pages 329-347, letöltve: 2024. 06. 11. <https://doi.org/10.22059/poll.2023.361313.1963>

https://jpoll.ut.ac.ir/article_95583.html

Sahoo, D. R., Biswal, T.: Synthesis and characterization of poly(acrylamide-co-acrylic acid)/chitosan (derived from fish scales) for controlled release of amoxicillin drug, *Polymer Engineering and Science*, Volume 64, Issue 4, pages 1731-1742, 08 February, 2024, letöltve: 2024. 06. 19. <https://doi.org/10.1002/pen.26653>

<https://4spegublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pen.26653>

Selvamani, V., Ravikumar, R., Suryanarayanan, V., Velayutham, D., Gopukumar, S.: Fish scale derived nitrogen doped hierarchical porous carbon – a high rate performing anode for lithium ion cell, *Electrochimica Acta*, Volume 182, 10 November 2015, pages 1-10, letöltve: 2024. 06. 09. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.08.096>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013468615303467>

Shalaby, M., Agwa, M., Saeed, H., Khedr, S. M., Morsy, O., El-Demellawy, M. A.: Fish scale collagen preparation, characterization and its application in wound healing, *Journal of Polymers and the Environment*, Volume 28, pages 166-178, (2020), published: 28 October, 2019, letöltve: 2024. 06. 05. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01594-w>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10924-019-01594-w>

Shalma, S, Haldar, D., Halder, G., Patel, A. K., Singhania,

- R. R., Pandey, A.: Waste fish scale for the preparation of biocomposite film with novel properties, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 32, November 2023, 103386, available online 4 October, 2023, letöltve: 2024. 06. 13. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103386>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186423003826>
- Sharma, Y. V. R. K., Srivastava, A., Bansal, D., Srivastava, A.: *Engineered Biomaterials: Progress and Prospects*, pp. 369-419 (2023), Chapter 10: Fish collagen: Extraction, properties and prospects, September 2023, online: World Scientific Connecting Great Minds, letöltve: 2024. 06.16. https://doi.org/10.1142/9789811272011_0010
https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/9789811272011_0010
- Sathvik, S., Kumar, G. S., Bahrami, A., Nitin, G. C., Singh, S. K., Althaqafi, E., Özkiliç, Y. O.: Evaluation of asphalt binder and mixture properties utilizing fish scale powder as biomodifier, *Case Studies in Construction Materials*, Volume 20, July 2024, e03238, available online 30 April, 2024, letöltve: 2024. 06. 14. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03238>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509524003899>
- Sultana, S., Maliat, N.: Utilizing fish scale *catla catla* for removing heavy metal Cr(III) and Co(II) in wastewater treatment, MDPI in The 3rd International Electronic Conference on Processes session Environmental and Green Processes, 28 May, 2024, letöltve: 2024. 06. 10. <https://sciforum.net/paper/view/17739>
- Surya, P., Sundaramanickam, A., Nithin, A., Iswarya, P.: Eco-Friendly preparation and characterization of bioplastic films made from fish-scale wastes, *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 30, pages 34174-34187, (2023), first published: 12 December, 2022, letöltve: 2024. 06. 12. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24429-z>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-24429-z>
- Ural, E., Kandirmaz, E. A.: Potential of fish scales as a filling material in surface coating of cellulosic paper, *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials* 16, Issue 1, January 2018, pages 23-27, letöltve: 2024. 06. 08. <https://doi.org/10.5301/jabfm.5000378>
<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.5301/jabfm.5000378>
- Wang, H., Zhen, Z., Qin, D., Liu, Y., Liu, Ya, Chen, X.: Effect and mechanism of natural composite hydrogel from fish scale intercellular matrix on diabetic chronic wound repair, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Volume 240, 26 May 2024 (online), letöltve: 2024. 06. 05. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2024.113991>
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927776524002509>
- Zhao, L., Han, J., Zhang, X., Wang, C.: Fish scale for wearable, self-powered TENG, *Nanomaterials* 2024, 14(5), 463, 3 March, 2024, letöltve: 2024. 06. 09. <https://doi.org/10.3390/nano14050463>
<https://www.mdpi.com/2079-4991/14/5/463>

A takarmányozás szerepe a fenntartható akvakultúrában

Hancz Csaba

MATE, Kaposvári Campus

ÖSSZEFOGLALÁS

A fenntarthatóság az emberi tevékenység szinte minden területére vonatkozó, alapvető elvárás, ami alól az akvakultúra ágazat sem kivétel. A vízi állatok takarmányozása mind a gazdasági, mind a környezeti fenntarthatóság szempontjából kiemelkedő jelentőségű. Ez az irodalmi áttekintés a takarmányozás hatékonyságának javítását célozza, a termelés különböző intenzitási szintjein alkalmazott módszereket és ígéretes új eredményeket tárgyalja. Különös hangsúlyt fektet annak bemutatására, hogy a félintenzív tavi technológia szociális szempontból is fenntarthatónak tekinthető. A hallisztet helyettesítő alternatív fehérjeforrások terén elért legújabb eredményeket, valamint a speciális takarmány-adalékanyagok, például a probiotikumok és a fitokemikáliák előnyös tulajdonságait is igyekszik részletesen bemutatni.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, takarmányozás, akvakultúra

ABSTRACT

Csaba Hancz

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences,
Kaposvár Campus

Sustainability applies to almost all aspects of human activity, and the ever-growing aquaculture industry is no exception. Feeding aquatic animals is of paramount importance in terms of economic and environmental sustainability. This review discusses practices and promising new results for improving feed efficiency at different levels of production intensity. Special emphasis is placed on demonstrating how semi-intensive pond technology can be considered ab ovo sustainable also from a social point of view. Recent achievements in the field of alternative protein sources to replace fishmeal are also discussed, as well as the beneficial properties of special feed additives such as probiotics and phytochemicals.

BEVEZETÉS

A fenntarthatóság fogalma a kutatás és fejlesztés területén is felkapott kifejezéssé vált, mégpedig teljes joggal, mivel az emberi tevékenység szinte minden területére vonatkozik, és hatással van bolygónk jövőjére. Hasznos

lehet azonban a fenntarthatóság alapelveinek áttekintése külön az akvakultúra szempontjából is. A fenntartható akvakultúra elsődleges céljai közé tartozik a termelés káros környezeti hatásainak minimalizálása, valamint a társadalmi és gazdasági jólét előmozdítása, az alábbi elvek alapján:

- ❖ *Környezeti fenntarthatóság* - A globális klímaváltozás káros hatásainak csökkentése szempontjából elsődleges szempont az üvegházhatású gázok (elsősorban a széndioxid és a metán) kibocsátásának csökkentése. A természetes élőhelyeket a lehető legkisebb mértékben szabad megzavarni, felelős hulladékgazdálkodási gyakorlatot kell alkalmazni, védeni kell a vízminőséget és meg kell őrizni a biológiai sokféleséget.
- ❖ *Gazdasági fenntarthatóság* - Hatékony termelés, tisztességes kereskedelem, közösségi fejlesztés.
- ❖ *Társadalmi fenntarthatóság* - Munkajogok és közösségi szerepvállalás.
- ❖ *Állattjárolti kérdések*

A fenntartható akvakultúra konkrét gyakorlatai közé tartoznak a recirkulációs akvakultúra-rendszerek, a mezőgazdasággal vagy állattenyésztéssel integrált akvakultúra, és a fenntartható takarmányforrások használata. Az integrált multitrofikus akvakultúra (IMTA) a fenntarthatóság olyan megközelítését képviseli, amely különböző trofikus szintekről származó fajok egy rendszerben történő nevelését jelenti (Fang et al., 2016). A rendszer környezeti és gazdasági előnyöket egyaránt kínál, többek között jobb tápanyagkörforgást, kisebb környezeti terhelést és nagyobb nyereséget eredményez (Granada et al., 2016). Az IMTA alkalmazható édesvízi, brakkvízes és tengeri környezetben, a helyi körülményekhez igazodó különböző megközelítésekkel (Azhar and Memiş, 2023). Az óriás édesvízi garnéla, fehér és pettyes busa édesvízi gyöngy-kagylóval polikultúrában nevelve előnyösnek ígérkezett édesvízi tavakban (Tang et al., 2024). Hasonlóképpen, a kagyló és a tengeri moszat bi-kultúrában történő termesztése is kedvező eredményeket hozott (Michler-Cieluch and Kodeih, 2008). Az ebben a tárgykorban végzett szerény számú hazai kutatás egyikéről számol be Lévai et al. (2024) publikációja, ami - az amúgy magas fehérjetartalmú - békalencse fajok használatáról számol be az intenzív rendszerek elfolyó vizének tisztításában. Ebbe a kategóriába tartozik az akvapónia is, amelyben a tenyésztett halak vagy más vízi élőlények által termelt hulladékot hidroponikusan termesztett növények táplálására használják. Meg kell jegyezni, hogy a hagyományos félintenzív

halastavi polikultúra, bár általában nem sorolják ebbe a kategóriába, lényegében szintén az IMTA kategóriába sorolható.

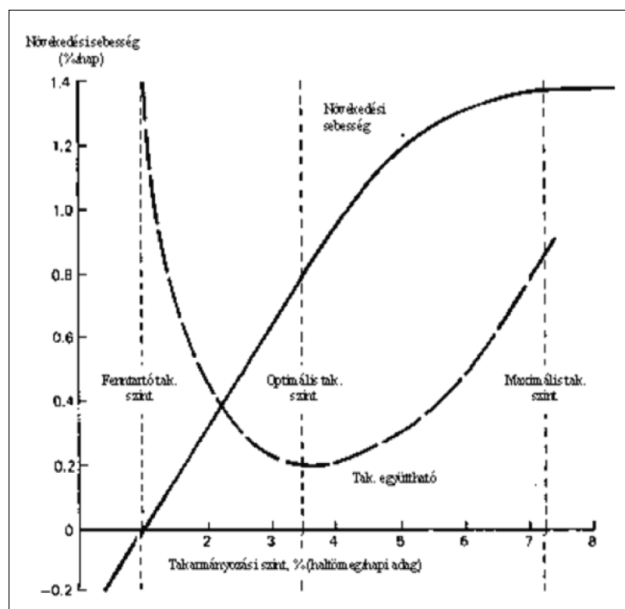
A fenntartható akvakultúrával kapcsolatos további részletes és vonatkozó általános információk számos publikációban megtalálhatók, többek között Costa-Pierce (2002), "SustainAqua" (2009), Shepon et al. (2021), Austin et al. (2022), Pounds et al. (2022), Barbosa et al. (2024), Garlock et al. (2024), Keer et al. (2024), Tucciarone et al. (2024) és Zhang et al. (2024), amelyek mind más-más nézőpontból tárgyalják ezt a tárgyat.

Bár a gazdasági fenntarthatóság továbbra is elsődleges cél, az akvakultúra fenntarthatóságának eléréséhez a fent említett összes többi kritériumot is figyelembe kell venni. A termelési módszerek folyamatos fejlesztésére való törekvés elengedhetetlen, miközben egyidejűleg csökkenteni kell a környezeti és energetikai lábnyomot. A tenyésztett fajok táplálkozási igényei kétségtelenül döntő tényezőt jelentenek ebben a tekintetben. Jelen cikk célja a táplálkozás és a takarmányozási technológia azon fő elemeinek azonosítása, amelyek elősegíthetik az ún. akvakultúra-ipar fenntarthatóságának és környezetbarát jellegének fokozását, és ezzel egyidejűleg a gazdasági fenntarthatóságot. A takarmányértékesítés optimalizálása kulcsfontosságú kérdés, mivel a takarmány az összköltségek jelentős részét teszi ki. Szerencsére a gazdasági és környezetvédelmi célkitűzések ebben az esetben összhangban vannak, ezáltal elősegítve a fenntarthatóságot.

A TAKARMÁNYOZÁS HATÉKONYSÁGÁNAK JAVÍTÁSÁRA ALKALMAZOTT TECHNOLÓGIAI MÓDSZEREK

Az ésszerű takarmányfejlesztés és takarmányozási gyakorlat a tenyésztett állatok táplálkozási igényeinek alapos ismeretén alapul. A vízi állatok táplálkozási igényei, mivel poikilotherm (más szóval ektotherm) szervezetek, a melegvérű (homeotherm) állatokra vonatkozóaktól eltérő tényezők figyelembevételét igénylik. A víz hőmérséklete, amelyben az állatokat tartják, a legjelentősebb tényező az anyagcseréjükben, ami viszont befolyásolja az energiaszükségletüket és ezáltal a takarmányfelvételüket. Fontos figyelembe venni az állatok életkorát is, mivel ez a homeotermikus szervezetekhez hasonlóan befolyásolja a növekedési ütemüket. Az 1. ábra a takarmányozási szint, a növekedési ráta és a takarmányhasznosítás közötti elméleti kapcsolatot mutatja be, amelyek együttesen határozzák meg a termelés hatékonyságát.

A takarmányhatékonyság optimalizálásához elengedhetetlen, hogy egyszerre feleljen meg mind a minőségi, mind a mennyiségi tápanyagigényeknek. Az akvakultúra elsődleges célja a gazdaságilag is optimális takarmány kifejlesztése, amely megfelel a tenyésztett fajok adott korcsoportjai tápanyagigényének. További kulcsfontos-



1. ábra. A takarmányozási szint, a növekedési sebesség és a takarmányértékesítés közötti összefüggés (Lovell, 1998 után módosítva)

ságú szempont a takarmányozási költségek csökkentése és a vízminőség javítása az optimális takarmányozási technológia révén. Alapvető fontosságú a takarmányozási veszteség minimalizálása, amely magában foglalja mind az emészthetetlen részt, mind az összes anyagcsere-veszteséget. Fontos azonban megjegyezni, hogy a felkínált takarmány nem elhanyagolható része jellemzően nem kerül elfogyasztásra. Az el nem fogyasztott takarmány aránya jelentősen változik, de becslések szerint átlagosan 10% (Craig, 2009). A kereskedelmi forgalomban kapható takarmánypelleteknek fogyasztásig a vízben kell maradniuk, ami különösen fontos az olyan lassú táplálkozású fajok esetében, mint a garnélarák (Lovell, 1991). Az extrudálás alternatív eljárás lehet az akvakultúra-takarmányok előállításához, amely növeli az emészthetőséget és a takarmányok funkcionális tulajdonságait, például a vízstabilitást és a lebegőképességet. Az extrudálás során végzett hőkezelési folyamat csökkenti a hüvelyesekben vagy más agrár-ipari melléktermékekben jelen lévő antinutritív tényezőket, például a tripszin-inhibitorokat és lektineket. Az extrudálás kedvező hatásait Delgado and és Reyes-Jaquez (2018) részletezi. A kötőanyagok takarmány-adalékanyagként való alkalmazása a vízstabilitás biztosítása érdekében már jó ideje bevett gyakorlat (Tacon, 1987). Ez azonban nem kezeli a takarmányveszteséggel kapcsolatos összes kérdést. A közvetlen veszteség minimalizálása és a takarmányértékesítés együttható (FCR) javítása érdekében elengedhetetlen az optimális takarmányozási gyakoriság meghatározása. Ebből a célból az általánosan tenyésztett fajok többségére vonatkozóan rendelkezésre állnak közzétett takarmányozási gyakorisági táblázatok (Craig, 2009). A jelenleg átfolyóvízes medencékben, ketrecekben,

tavakban és recirkulációs rendszerekben történő programozott takarmányadagolásra szolgáló automata etetők széles választéka áll rendelkezésre. Ezek segíthetnek az optimális takarmányozás biztosításában. A jövőben a megfigyelőrendszerek jelentős szerepet játszhatnak a takarmányozási rendszerek optimalizálásában, mivel információt szolgáltatnak a tényleges takarmányvesztéséről. Ezt a területet Parra et al. (2018) is vizsgálták. Ebben az összefüggésben a tápanyagérzékelés és a takarmányfelvétel ösztönzésének ízesítőanyagokkal kulcsfontosságú kérdéseit is figyelembe kell venni (Hancz, 2020).

Bebizonyosodott, hogy az etetés gyakorisága jelentős hatással van a különböző halfajok növekedésére, a takarmányértékesítésre, sőt a szaporodási teljesítményre is. A fiatal nílusi tilápia optimális növekedését és takarmányhasznosítását napi négy-öt alkalommal történő tápláléknyújtással érték el (Daudpota et al., 2016). Ezzel szemben a szivárványos pisztráng a legnagyobb táplálékfelvételt és növekedést napi két etetéssel mutatta, minimális hatással a testösszetételre (Grayton and Beamish, 1977). Napjainkban a legnagyobb haltakarmánygyártó cégek általában képesek ellátni a termelőket ezekkel a rendszerekkel, legalábbis a legfontosabb, intenzív rendszerekben nevelt fajok esetében.

A félintenzív rendszerek sajátosságai

A trópusi hal- és rákfélék termelésének mintegy 70%-át a félintenzív akvakultúra rendszerek adják (Tacon, 1996). Közép- és Kelet-Európában nagy tóterületek is ebben a rendszerben termelnek, különböző takarmányozási módszereket alkalmazva, az alacsony költségű tótrágyázástól az energiát adó gabonafélék kiegészítő etetéséig, vagy akár a magas költségű teljes értékű tápokig. Azonban mindkét esetben hangsúlyos a természetes táplálékszervezetek mint fehérjeforrások fontossága. A másik sarokpont a polikultúra, amely a különböző táplálkozási szokásokkal rendelkező fajok szinergiáján alapul, és a hagyományos kínai akvakultúrából ered (Edwards, 2009).

Az akvakultúra termelési intenzitási skála (APIS) keretet biztosít az extenzív, félintenzív és intenzív rendszerek meghatározásához a bemeneti, kezelési és kimeneti függvények alapján (Oddsson, 2020). Míg az uniós akvakultúra-termelés mennyisége 2000 óta viszonylag stabil maradt, értéke jelentősen nőtt, és a fő kategóriákat a kagylók, a tengeri halak és az édesvízi halak alkotják (Bostock et al., 2016). Az uniós szakpolitikák általában támogatják a fenntartható akvakultúra fejlesztését ételbiztonsági és gazdasági okokból, az előrejelzések szerint 2030-ra a termelés 55%-os növekedése várható, elsősorban a tengeri ketreces hal és a kagylótenyésztés növelése révén (Bostock et al., 2016).

Az etetési gyakorlattal összefüggésben a halakkal kapcsolatos tényezők a faj, a fajta, a nem és különösen az életkor. Ennek oka, hogy az emésztés hatékonysága a korral javul. A legjelentősebb környezeti tényező a víz-

hőmérséklet (Volkoff, H. and Rønnestad, I. (2020). 10°C-os emelkedés az anyagcsere-sebesség megduplázódását eredményezi. Figyelembe kell venni azonban a légköri nyomás hatását is. A halastavi gyakorlatban rendkívül fontos a napi adag meghatározása, mert a takarmányozás általában ad libitum és naponta egyszeri etetést jelent, ami a takarmány pazarlás veszélyével jár. Mivel a fogyasztás közvetlen megfigyelése nem lehetséges, az egyetlen járható út az, ha néhány óra elteltével a kijelölt etetési helyeken felmérjük az el nem fogyasztott szemek mennyiségét, majd a következő napon ennek megfelelően módosítjuk a napi adagot. Bár a napi egyszeri etetés természetesen nem a legoptimálisabb gyakorlat, a jelentős munkaköltségek miatt mégis elterjedt. A nőivarú tenyészállatok esetében a mesterséges szaporítást megelőző időszakban korlátozott takarmányozási rendet alkalmaznak. A természetes takarmányok előállítását szerves vagy szervetlen műtrágyák alkalmazásával segítik elő. Egy jól megtervezett polikultúrában a halak minden trofikus szintet kihasználják. A zöldtakarmányt az amurok fogyasztják el, és az el nem fogyasztott rész a halak ürülékén kívül trágyaként szolgál. (Természetesen az amurok a makrofita vegetáció fékentartását is elvégzik.) Megjegyzendő, hogy nem csak a gabonafélék használhatóak fel takarmányozásra, hanem a malomipar és az élelmiszeripar sokféle mellékterméke is felhasználható, hozzájárulva ezzel a környezetbarát, körforgásos gazdasághoz (Hancz, 2007).

Végül, de nem utolsósorban meg kell említeni az alacsony és közepes intenzitású akvakultúra társadalmi-gazdasági szempontjait is, amelyek általános szempontjait és értékelési módszereit Bhari and Visvanathan (2018) tárgyalja. Az akvakultúrát a szegénység csökkentésének és az ételbiztonság növelésének potenciális eszközeként ismerik el, különösen az alacsony jövedelmű országokban (Viswanathan and Genio, 2001). Míg az intenzív akvakultúra környezetvédelmi aggályokat vetett fel, a félig intenzív rendszereket fenntarthatóbb alternatívaként vizsgálják (Pomeroy et al., 2014).

A TAKARMÁNYGYÁRTÁS ÉS TAKARMÁNYOZÁSI KUTATÁSOK JELENLEGI EREDMÉNYEI

Alternatív tápanyagforrások

A globális halászattal kapcsolatos növekvő költségekre és környezetvédelmi aggályokra válaszul az akvakultúra jelentős átalakuláson ment keresztül, és a takarmányösszetevőként használt hallisztre (FM) és halolajra (FO) való korábbi hagyatkozástól a fenntarthatóbb alternatívák felé mozdult el. McLean (2023) áttekintést nyújt az FM/FO potenciális helyettesítőjeként vizsgált állati, mikrobiális és növényi alapú takarmányokról. E tekintetben a növényi alapú takarmányok és a húsipari melléktermékek képezték a legtöbb kutatás tárgyát, és jelentős mennyiségű

szakirodalom keletkezett a világszerte tenyésztett számos fontos faj takarmányozásában való felhasználásukról. Ez a kutatás természetesen folyamatosan termeli az értékes ismereteket, immár követhetetlen mennyiségben. Ugyanakkor alternatív tápanyagforrásokat, köztük olyan egységtű termékeket, mint a gombák és élesztők, baktériumok és mikroalgák, mint potenciális fehérje-, lipid-, pigment- és enzimeforrásokat is vizsgálunk. A takarmány-adalékanyagok, köztük az exogén enzimek (például fitázok, lipázok, proteázok és szénhidrátok) szerepét is értékelik, mint az tápok tápanyagprofiljának potenciális javításának eszközt. Emellett a kemoattraktánsokat és ízesítőanyagokat, valamint a pre-, pro- és szinbiotikumokat is vizsgálják, mint a tápok emészthetőségének és ízletességének javítására szolgáló lehetséges anyagokat.

Szója

A szójaliszt (SBM) és a szójafehérje-koncentrátum (SPC) használata a halliszt alternatívjaként az aquatápokban egyre elterjedtebbé válik a növekvő kereslet és a halliszt korlátozott kínálata miatt (Dersjant-Li, 2002; Gatlin, 2003). Az SBM nagy tápértékű növényi fehérjeforrás, amely gyakran a mindenevő édesvízi halfajok táplálékának 50–60%-át teszi ki (Gatlin, 2003). Az SBM azonban antinutritív anyagokat tartalmaz, amelyek korlátozhatják a beépítési szintjét (Dersjant-Li, 2002). A csökkentett mennyiségű antinutritív összetevőt tartalmazó SPC bizonyítottan alkalmas a halliszt részleges vagy teljes helyettesítésére a növekedési teljesítményre gyakorolt káros hatások nélkül számos vízi faj esetében (Dersjant-Li, 2002; Gyan et al., 2019). Az elmúlt években egyre nagyobb érdeklődés mutatkozott az enzimatikusan hidrolizált szója iránt, mint halliszt-helyettesítő összetevő iránt a takarmányokban, és egyre nagyobb az elfogadottsága. Huang és munkatársai (2024) kimutatták, hogy a táplálékban lévő halliszt akár 45%-ának enzimatikusan hidrolizált szójababbal való helyettesítése nem befolyásolta negatívan a fiatal gyapjasollós rákok (*Eriocheir sinensis*) növekedési teljesítményét. Hasonlóképpen, Tibaldi és munkatársai (2006) kimutatták, hogy a táplálékul szolgáló halliszt 50%-ának enzimatikusan hidrolizált szójaliszttel való helyettesítése nincs káros hatással az európai tengeri sügér (*Dicentrarchus labrax*) növekedési teljesítményére és teljes testének összetételére. Továbbá a szója hidrolízisre alkalmazott többenzimes stratégia alkalmazása bizonyítottan hatékonyabb, mint az egyenzimes megközelítés a halliszt helyettesítésére. Kimutatták, hogy a proteázzal kezelt szójaliszt a pizstrángsügér (*Micropterus salmoides*) táplálékában a halliszt 20%-át helyettesítheti. Továbbá kimutatták, hogy a proteázzal és nem keményítő poliszacharid enzimekkel történő kombinált kezelés megkönnyíti a táplálékban lévő halliszt akár 47,27%-ának szójaliszttel történő helyettesítését a pizstrángsügér esetében (Zhang et al., 2019). Ezért a több enzim segítségével hidrolizált szójafehérje hatékony helyettesítője a halliszt-

nek. Xu et al. (2024) hasonló eredményeket kaptak fiatal amerikai angolnán (*Anguilla rostrata*).

Szerves savak

A szerves savak felhasználása az akvakultúra és takarmányipar területén az utóbbi időben egyre nagyobb érdeklődésnek örvend. Az áttekintett kutatások tanúsága szerint számos tanulmány bizonyította, hogy a szerves savak, sóik vagy keverékeik a takarmányban javítják a növekedést, a takarmányhasznosítást, a bélrendszer egészségét és a betegségekkel szembeni ellenállást a víziállatokban. Úgy tűnik, hogy a növekedési tényező az alkalmazott szerves savak konkrét típusától és az adott gazdaszervezettől függ (Ng and Koh, 2011). A kutatások eredményei azt mutatják, hogy a szerves savak, sóik vagy keverékeik fokozhatják a növekedést, a takarmányhasznosítást, javítják a bélflóra egészségét és a betegségekkel szembeni ellenállóképeséget. A szerves savakról szóló jelentések a növekedési teljesítmény és a tápanyag-hasznosítás javulását állapították meg az akvakultúrában. Úgy tűnik, hogy a növekedési tényező függ a felhasznált szerves savak típusától és gazdaszervezettől (Ng and Koh, 2011). A kedvező hatások azonban fajoként és savtípusonként eltérőek, és a kutatások szerint további vizsgálatokra van szükség a mechanizmusok megértéséhez. A szerves savak beépítésének gazdasági megvalósíthatósága korlátozott, ezért használatuk előnyeinek alátámasztásához tudományos bizonyítékokra van szükség („Organic acids in aquafeeds - A sustainable alternative to antibiotics”, 2019).

Mikroorganizmusok: mikroalgák, élesztőgombák, gombák és baktériumok

A mikroalgák különösen magas biomasz termelékenységgel és alacsony környezeti lábnyommal rendelkeznek, így környezetileg fenntartható opciót jelentenek (Nagappan et al., 2021). A kereskedelmi termeléssel kapcsolatban azonban továbbra is vannak kihívások, többek között a magas költségek és az emészthetőség javítására és az antinutritív tényezők csökkentésére szolgáló új feldolgozási technológiák szükségessége (Sarker, 2023; Siddik et al., 2023). Ezen akadályok ellenére a folyamatban lévő kutatások és technológiai innovációk az akvakultúra számára a mikrobiális eredetű tápanyagok optimalizálására összpontosítanak, ami jelentősen hozzájárulhat az ágazat fenntartható növekedéséhez (Gamboa-Delgado and Márquez-Reyes, 2018; Nagappan et al., 2021). Sarker et al. (2023) kiváló áttekintést adott a mikroorganizmusok vízi takarmányokban való felhasználásának előnyeiről, elsőként megemlítve a mikroalgák fehérjét és olaját, amelyeknek az akvakultúra-tápokban való felhasználása egyre nagyobb lendületet vett. A tengeri mikroalgák különösen nagy potenciállal rendelkeznek a halliszt és a halolaj helyettesítésére a lazacfélék és más halfajok tápjáiban. A tengeri mikroalgák, a *Nannochloropsis oculata*, az *Isochrysis sp.* és a *Schizochytrium sp.* ígéretesnek

bizonyultak az aquatápokban, mivel gazdagok EPA-ban, DHA-ban, fehérjében, kulcsfontosságú aminosavakban (metionin és lizin), lipidekben és jó ásványi anyagforrások. A zsírtalanított *N. oculata* melléktermékek (a biomassza olajkivonásának maradékai) körülbelül 20-45% nyersfehérjét tartalmaznak, jó aminosav-profilokkal. A zsírtalanított *N. oculata* fehérjeforrásként való bevitele a tilápia esetében 33%-ig, az atlanti lazac esetében pedig 10%-ig nem befolyásolta a teljesítményt vagy az egészségi állapotot. A zsírtalanított mikroalgák másik egyedülálló előnye, hogy nem csak kiváló fehérjeforrásként, hanem többszörösen telítetlen zsírsavak (PUFA) forrásként is szolgálnak az n-3 zsírsavak gazdagítására. A zsírtalanított *N. oculata* tápanyagban gazdagabb, mint a teljes sejtek. A lizin emészthetősége (ami gyakran nincs kellő mennyiségben a szárazföldi növények fehérjéjében) magasabb volt, és az EPA is jól emészthető volt (Sarker et al., 2018). Egy nemrégiben végzett vizsgálat kimutatta, hogy az *Isochrysis* sp. egy jól emészthető fehérje-, aminosav-, lipid- és zsírsavforrás a szívárványos pisztráng számára. Ez az algafaj jó jelölt lehet a halliszt és a halolaj helyettesítésére a szívárványos pisztráng takarmányában, és omega-3, DHA-kiegészítőként is használható a takarmányokban. A kutatások kimutatták, hogy a *Desmodesmus* fajokból kivont lipidek felhasználhatók (20%) a lazactápokban anélkül, hogy ez negatív hatással lenne a növekedésre és a filé összetételére. *Spirulina* algalisztet szintén be lehetett keverni a szívárványos pisztráng takarmányába 10%-os arányban, anélkül, hogy az káros hatással lett volna a teljesítményre (Kiron et al., 2016, Sirakov et al., (2012).

Élesztő

Az élesztő is életképes helyettesítő fehérjeforrásként jelent meg, mivel táplálékkiegészítőként is használható. Ezenkívül az élesztő hatékony immunstimulátorként is működhet, és így segíthet a betegségek megelőzésében. Továbbá a metionin, lizin, arginin és fenilalanin kivételével azonban, amelyek jellemzően a különböző halfajok limitáló esszenciális aminosavjai, a különböző élesztőfajok aminosavprofilja előnyös a halliszthez képest (Sultana et al., 2024). Kutatások szerint az élesztő antimikrobiális peptidejei akár a halliszt 40%-át is helyettesíthetik a haltáplálékban, de már 1%-os kiegészítésnél is jelentősen javul a betegségekkel szembeni ellenállóképesség (Gyan et al., 2019a,b). A halliszt helyettesítése sörélesztő használatával a hűvők esetében 30-50%-ban a mindenevő halak esetében 35-80,8%-ban lehetséges. A sörélesztő felhasználása a globális akvakultúrában akár 13,94%-kal (0,369 MMT) is csökkentheti a halliszt felhasználását, és a szén-dioxid-kibocsátást mintegy 1,79 megatonnával, valamint a halliszt és halolaj bevitel/halkihozatal arányát (FIFO) 0,82:1 arányról 0,71:1 arányra csökkentheti. Így az élesztő felhasználása az akvakultúra-ágazatban javítja a körkörös biogazdaságot és a haltermelés környezeti fenntarthatóságát (Gokulakrishnan et al., 2022).

Ehető rovarok

A takarmányozásra szánt ehető rovarok termelése az elmúlt évtizedben jelentősen nőtt, ami több kulcsfontosságú tényezőnek köszönhető, mint például:

- ❖ A népességnövekedés és a változó táplálkozási preferenciák miatt az állati fehérje iránti növekvő globális kereslet alternatív fehérjeforrások iránti igényt teremtett, ami tovább ösztönözte a rovartenyésztési ágazat bővülését.
- ❖ A fenntarthatósági szempontok közé tartozik az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése, a föld- és vízkészletek megőrzése, valamint a takarmány-átalakítási arányok optimalizálása.
- ❖ A rovarok tápértéke kiváló, gazdag fehérje, esszenciális aminosav, vitamin és ásványianyag forrást jelent, ami a hagyományos fehérjeforrások, például a szója és a halliszt vonzó alternatívájává teszi őket a takarmányozásban.
- ❖ A „rovaralapú” takarmányok előnyeivel kapcsolatos kutatások növekedése hozzájárult ahhoz, hogy az állati terméket termelők és a fogyasztók körében nagyobb tudatosságot és elfogadottságot váltott ki ez a gyakorlat.
- ❖ Technológiai fejlődés: A technológiai fejlődés a mezőgazdasági és feldolgozási technológiák javulását eredményezte, ezáltal növelve a rovartermesztés életképességét.

Dunkel és Payne (2016) „Insects as Sustainable Food Ingredients” (Rovarak, mint fenntartható élelmiszer-összetevők) című cikkükben átfogó áttekintést nyújtanak az ehető rovarok globális jelentőségéről. Kiemelik az állati eredetű fehérjék iránti növekvő keresletet, a föld és a víz hatékony felhasználását, valamint a nem megújuló energiaforrások korlátait. A fenntarthatósággal kapcsolatos növekvő aggodalmak fényében Guiné et al. (2021) igen figyelemreméltó adatokat közölnek a rovarok hatékonyságával kapcsolatban, más haszonállatokkal összehasonlítva. Rámutatnak, hogy a rovartenyésztés/termelés környezeti hatása olyan tényezőket vesz figyelembe, mint a takarmányátalakítás, a földhasználat és a vízfogyasztás. Más szárazföldi állatokkal összehasonlítva a rovarok igénylik a legkevesebb takarmányt, földet és vizet. Ezt követik a tyúkrok a sertések és a tehének. Riddick et al. (2014) egy könyvfejezetben átfogó áttekintést adnak (az akkor elérhető adatok alapján) a rovarok akvakultúrában fehérjeforrásként történő hasznosításáról. Ez a kutatási áttekintés négy kulcsfontosságú fajt tárgyal (fekete katonalégy, közönséges házilégy, selyemhernyó és sárga lisztkukac), amelyeket modellrovaroknak választottak ki az elért eredmények szemléltetésére. Ugyanakkor, más forrásokra hivatkozva Hancz (2023) több fajt is sorol a fontos kategóriába, amelyek többsége emberi fogyasztásra is alkalmas (lásd 1. táblázat).

Alapvető fontosságú, hogy figyelembe vegyük a fehérje- és zsírtartalom eltéréseit ezeknél a fajoknál, mivel ezek nem csak a fajok között, hanem a fajon belüli fejlődési

Faj	Köznapi név	Fejlődési stádium a felhasználáskor	Élelmiszer	Takarmány
<i>Acheta domesticus</i>	Házi tücsök	Kifejlett	x	x
<i>Tenebrio molitor</i>	Közönséges lisztbogár	Lárva	x	x
<i>Gryllus bimaculatus</i>	Mediterrán mezei tücsök	Kifejlett		x
<i>Bombyx mori</i>	Selyemlepke	Lárva, báb	x	x
<i>Galleria mellonella</i>	Nagy viaszmoló	Lárva	x	
<i>Apis mellifera</i>	Európai méh	Kifejlett	x	
<i>Musca domestica</i>	Háziléggy	Lárva (nyű)		x
<i>Lucilia sericata</i>	Selymes dögléggy	Lárva (nyű)		x
<i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	Pálmafűró ormányosbogár	Lárva, báb	x	
<i>Rhynchophorus phoenicis</i>	Afrikai pálmazsizsik	Lárva	x	
<i>Pachnoda marginata</i>	Kongói rózsabogár	Lárva	x	x
<i>Hermetia illucens</i>	Fekete katonaléggy	Lárva	x	x

1. táblázat : A legfontosabb ehető rovarfajok és azok felhasználása
(Forrás: Cortes Ortiz és munkatársai., 2016;)

szakaszok között is különböznek. A vizsgálat elsődleges megállapításai azt mutatták, hogy a rovarok beillesztése takarmányliszt formájában megfelelő fehérjeforrást biztosíthat a hagyományos állati eredetű fehérje- és zsírforrások részleges helyettesítésére a mindenevő halfajok, például bizonyos harcsafélék és a ponty táplálkozásában, szemben a húsevő halakkal, köztük a pisztránggal és a lazaccal. Emellett fontos figyelembe venni, hogy a rovarok nemcsak tápanyagforrásként, hanem kitin- és AMP-tartalmuknak köszönhetően probiotikumként is szolgálnak. A rovarlisztnek a halak takarmányába való bekeverése, még viszonylag alacsony mennyiségben is képes a halak immunrendszerének erősítésére és a teljesítményük javítására, amint azt más haszonállatfajokon végzett korábbi vizsgálatok is bizonyítják. Azt is fontos megjegyezni, hogy több mint 200 tenyésztett halfaj létezik, amelyek tápanyagigényei még mindig kevésbé ismertek. Továbbá a rovarliszt teljes előállítás folyamatát is figyelembe kell venni a takarmányba való beillesztése előtt (Nogales Mérida et al., 2018). Hameed et al. (2022) áttekintésükben tárgyalták a rovaralapú takarmányok potenciális előnyeit és lehetőségeit, hangsúlyozva annak képességét az akvakultúra fenntarthatóságának és hatékonyságának fokozására. A szóban forgó áttekintő cikk szerzői a rovarok halak és más vízi fajok takarmányforrásként való felhasználásával kapcsolatos legújabb, nagyszámú tanulmányt idéznek.

Takarmányösszetevők és adalékanyagok

A modern haltakarmányok a következő összetevőket tartalmazzák:

- **Halliszt:** A halból származó fehérje elsődleges forrása, amely esszenciális aminosavakat és omega-3 zsírsavakat biztosít.
- **Szójaliszt:** Gyakori növényi alapú fehérjeforrás,

amelyet gyakran használnak a halliszt kiegészítésére.

- **Kukoricaglutén liszt:** Egy másik növényi alapú fehérjeforrás, amely fehérjét és energiát is ad.
- **Búzaglutén:** Fehérjét biztosít, és segít javítani a takarmány kötődését és állagát.
- **Halolaj:** A növekedés és az egészség szempontjából fontos esszenciális zsírsavak, különösen az omega-3 zsírsavak forrása.
- **Vitaminok:** A, D, E, K és B-vitaminok az általános egészség és növekedés támogatására.
- **Ásványok:** Foszfor, magnézium és nyomelemek, mint a cink, a réz és a szelén.

- **Kötőanyagok:** A pellet stabilitásának és állagának javítására olyan összetevőket használnak, mint a búzaporpa vagy a keményítő. Erre a célra természetesen egyéb anyagok, mint pl. a CMC (karboxi-metil-cellulóz) is használható.
- **Probiotikumok és prebiotikumok:** A bélrendszer egészségének fokozása és a tápanyagok felszívódásának javítása érdekében.
- **Antioxidánsok:** A takarmány minőségének és stabilitásának megőrzése érdekében.
- **Ízesítők:** Az ízletesség fokozása és a táplálkozás serkentése érdekében.
- **Színezőanyagok:** A takarmány megjelenésének vagy a halak színének javítására.

Az összetevők konkrét összetétele a szóban forgó akvakultúra fajok egyedi táplálkozási igényeitől függően változhat, és a helyi elérhetőség és a költséghatékonyság figyelembevételével is kiigazítható.

A takarmány-előkeveréket (premix) úgy határozzák meg, mint vitaminok, ásványi anyagok, aminosavak és egyéb tápanyagok koncentrált keverékét, amelyet állati takarmányhoz való hozzáadásra állítottak össze. A cél az, hogy a végső takarmánykeverék biztosítsa a tenyésztett állatfajok alapvető élettani szükségleteit. A premixek használata lehetővé teszi, hogy hatékonyan kiegyensúlyozzák a takarmány tápanyagtartalmát, ezáltal javítva az állatok egészségét, növekedését és termelékenységét. A premixeket úgy lehet összeállítani, hogy megfeleljenek egy adott faj vagy termelési cél speciális táplálkozási követelményeinek. A gyártás során általában egy alaptakarmány-összetevővel keverik össze őket. A premix hozzáadása gyakran a legkisebb költségtényező, mégis a legjelentősebb hatással lehet a takarmány tápértékére. Egy hatékony premixnek elő kell segítenie a mikroösszetevők

egyenletes eloszlását és fokoznia kell azok felszívódását. A mikroösszetevők megfelelő hordozójának kiválasztása megkönnyítheti az optimális jellemzők elérését a homogenitás tekintetében. A vitaminok és ásványi anyagok megfelelő és stabil formáinak felhasználása döntő fontosságú az optimális biológiai hozzáférhetőség biztosítása érdekében. Ezen túlmenően például innovatív orális adagolási rendszereket, többek között biokapszulázást és emésztést elősegítő savval bevont gyöngyöket fejlesztettek ki a takarmányba adott gyógyszerek hatékonyságának fokozására (Daniel, 2009).

A modern vízi takarmányösszetevők jelentős fejlődésen mentek keresztül a fenntarthatósággal kapcsolatos aggályok kezelése és a halak egészségének javítása érdekében. Míg korábban a halliszt és a halolaj volt az elsődleges összetevő, ezek korlátozott kínálata alternatív források vizsgálatára készítetett (Hardy and Kaushik, 2021). A mikroalgák biomasszája ígéretes fenntartható takarmány-összetevőként tűnik fel, mivel olyan alapvető tápanyagokat és bioaktív vegyületeket kínál, amelyek javíthatják a halak túlélését, színeződését és filéminőségét (Nagappan et al., 2021). A probiotikumokat, prebiotikumokat és szinbiotikumokat egyre inkább beépítik az aquatakarmányokba a növekedési teljesítmény, az immunkompetencia és a halak általános jólétének javítása érdekében (Rohani et al., 2022). Ezek a bioarát adalékanyagok potenciálisan enyhíthetik a stresszt és javíthatják a bélmikrobióta összetételét. A prebiotikumokkal és probiotikumokkal kapcsolatban végzett kiterjedt kutatások eredményeképpen e bioaktív vegyületek gyors előállítására és széles körű alkalmazására számos területen, többek között az orvostudományban, a táplálkozásban és a mezőgazdaságban is megkezdődött. Az akvakultúra-gyakorlatok intenzívebbé válása azonban növelte a vízállatok és a környezet stresszhatását. Különböző vegyi anyagokat és antibiotikumokat alkalmaztak, amelyek súlyos problémákat okoznak, és közvetve hatással vannak az emberi egészségre, sőt, az antibiotikumoknak ellenálló baktériumtörzsek előállításával közvetlenül is. Mindazonáltal az új termékek és alkalmazások jelentősen megváltoztathatják a helyes gyakorlatok profilját számos területen, a betegségmegelőzéstől a vízminőség-kezelésig, és a fenntartható fejlődés új korszakát vezethetik be ezen a területen (Hancz, 2022).

A fitokemikáliák (más néven fitoaktív anyagok vagy fitobiotikumok) használata az akvakultúrában is virágzik. Ezek az alkaloidok, flavonoidok, pigmentek, fenolok, terpenoidok, szteroidok és illóolajok növényi eredetű vegyületek, amelyek számos ország kulturális örökségében a jó egészség fenntartásával kapcsolatosak. A gyógynövényekben található fitokemikáliák erősíthetik a veszélytett immunrendszert, és olyan antimikrobiális képességekkel rendelkeznek, amelyek környezeti és/vagy veszélyes problémák okozása nélkül használhatók. A legtöbb fitokémiai anyag redox-aktív molekula, amely

antioxidáns tulajdonságokkal rendelkezik, és javíthatja a halak általános fiziológiai állapotát, így növekedés-erősítő hatású. Endokrinmoduláló képességük még a nemváltoztatásra is felhasználható (Chakraborty and Hancz, 2011; Chakraborty et al., 2014). Tastan és Salem (2021), valamint De vet al. (2024) átfogó áttekintést nyújtottak az e területen elért legújabb eredményekről, hangsúlyozva a további vizsgálatok szükségességét a kombinált fitokemikáliák lehetséges szinergikus hatásainak vizsgálatára. Emellett hangsúlyozták annak fontosságát, hogy szélesebb körű kutatásokat végezzenek a fitokemikáliák ipari alkalmazásainak nagyobb léptékű felmérése érdekében.

KÖVETKEZTETÉSEK

A fenntarthatóság az emberi tevékenység minden területén kulcskérdéssé vált, ami a környezetet, az éghajlatot, a társadalmi stabilitást és jólétet, végső soron pedig az emberiség jövőjét biztosíthatja egy ökológiailag egészségesen működő Földön. Az akvakultúra fontos szerepet játszik az egészséges élelmiszerek termelőjeként és a természetes vizek jó minőségének és biológiai sokféleségének lehetséges őrzőjeként.

A félintenzív tavi akvakultúra a kezdetektől fogva a fenntarthatóság elveinek megfelelően fejlődött, és ma is a fenntarthatóság holisztikus megközelítésének modelljét nyújtja.

A takarmányfejlesztés és -gyártás, valamint a takarmányozási technológia kétségtelenül az akvakultúra-ipar legfontosabb területei. Mind gazdasági, mind környezetvédelmi szempontból, és különösen a különböző típusú intenzív rendszerek esetében meghatározó jelentőségű. Az egyre növekvő számú termelésbe vont faj élettani szükségletét kielégítő kiegyensúlyozott takarmányok előállítása már eddig is hatalmas eredményeket hozott, és folyamatosan fejlődik.

A takarmány-adalékanyagok hagyományos összetevői, például a vitaminok, ásványi anyagok, kötőanyagok és antioxidánsok mellett különösen fontosak az olyan viszonylag új kiegészítők, mint a prebiotikumok, probiotikumok és fitokemikáliák. Elsősorban ez utóbbiak segíthetnek a veszélyes vegyi anyagok és antibiotikumok használatának csökkentésében.

A vízi állatok takarmányozásának fenti, meghatározó gazdasági jelentőségű területein intenzív kutatás és fejlesztés folyt és folyik szakadatlanul, ami szerencsés módon segíti egyúttal a fenntarthatósági célok elérését is.

HIVATKOZÁSOK

„Organic acids in aquafeeds - A sustainable alternative to antibiotics”, (2019) <https://benisonmedia.com/organic-acids-in-aquafeeds-a-sustainable-alternative-to-antibiotics/>

„SustainAqua - Integrált megközelítés a fenntart-

- ható és egészséges édesvízi akvakultúra érdekében” (2009) www.sustainaqua.org, <https://www.scribd.com/document/111582637/A-Handbook-for-Sustainable-Aquaculture>
- Austin, B., Lawrence A.L., Can, E., Carboni, C. et al. (2022) Selected topics in sustainable aquaculture research: Current and future focus. *Sustainable Aquatic Research*, 1(2), 74-122. DOI: 10.5281/zenodo.7032804
- Azhar, M., and Memiş, D. (2023) Application of the IMTA (integrated multi-trophic aquaculture) system in freshwater, brackish and marine aquaculture. *Aquatic Sciences and Engineering*, 38(2), 101-121.
- Barbosa, A.P.D, Kosten, S., Muniz, C.C., Oliveira-Junior, E.S. (2024) From Feed to Fish-Nutrients' Fate in Aquaculture Systems. *Appl. Sci.* 2024, 14, 6056. <https://doi.org/10.3390/app14146056>. <https://doi.org/10.3390/app14146056>.
- Bhari, B. and Visvanathan, C. (2018) Sustainable Aquaculture: Socio-Economic and Environmental Assessment. *Sustainable Aquaculture*, 63–93. doi:10.1007/978-3-319-73257-2_2
- Chakraborty, S. B. and Hancz, C. (2011). Application of phytochemicals as immunostimulant, antipathogenic and antistress agents in finfish culture. *Reviews in Aquaculture*, 3(3), 103–119. <https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2011.01048.x>
- Chakraborty, S. B., Horn, P., Hancz, C. (2014). Application of phytochemicals as growth-promoters and endocrine modulators in fish culture. *Reviews in Aquaculture*, 6(1), 1-19. <https://doi.org/10.1111/raq.12021>
- Costa-Pierce, B. A. (Ed.) (2002) *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*. ISBN: 978-0-632-04961-5 Wiley-Blackwell. 398 pp.
- Bhari, B. and Visvanathan, C. (2018) Sustainable Aquaculture: Társadalmi-gazdasági és környezeti értékelés. *Sustainable Aquaculture*, 63-93. doi:10.1007/978-3-319-73257-2_2. doi:10.1007/978-3-319-73257-2_2
- Bostock, J., Lane, A., Hough, C., Yamamoto, K. (2016) An assessment of the economic contribution of EU aquaculture production and the influence of policies for its sustainable development. *Aquaculture International*, 24(3), 699–733. doi:10.1007/s10499-016-9992-1
- Cortes Ortiz, J.A. et al. (2016) Insect Mass Production Technologies. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Edited by Aaron T. Dossey, Juan A., Morales-Ramos and M. Guadalupe Rojas, Chapter 6, 153–201. doi:10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5
- Costa-Pierce, B. A. (Ed.) (2002) *Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution*. ISBN: 978-0-632-04961-5 Wiley-Blackwell. 398 pp.
- Craig, S. (2009) *Understanding fish nutrition, feeds and feeding*. Virginia Cooperative Extension, Publication 420-256. Link: [https://scholar.google.hu/scholar?q=Craig,+S.+\(2009\).+Understanding+fish+nutrition,+feeds+and+feeding.+Virginia+Cooperative+Extension,+Publication+420-256&hl=hu&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar](https://scholar.google.hu/scholar?q=Craig,+S.+(2009).+Understanding+fish+nutrition,+feeds+and+feeding.+Virginia+Cooperative+Extension,+Publication+420-256&hl=hu&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholar)
- Daudpota, A.M., Abbas, G., Kalhor, I.B., Shah, S.A., et al. (2016) Effect of feeding frequency on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) reared in low salinity water. *Pakistan Journal of Zoology*, 48, 171-177.
- Delgado, E. and Reyes-Jaquez, D. (2018) Extruded Aquaculture Feed: A Review. *Extrusion of Metals, Polymers and Food Products*. doi:10.5772/intechopen.69021
- Dev, A. K., Thakur, R., Saurabh Yadav, S. (2024) Deciphering the importance of herbal immunostimulants in aquaculture, using citation network analysis: A futuristic sustainable approach, *Comparative Immunology Reports*. <https://doi.org/10.1016/j.cirep.2023.200129>
- Dersjant-Li, Y. (2002) The Use of Soy Protein in Aquafeeds <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Use-of-Soy-Protein-in-Aquafeeds-Dersjant-Li/Oc9d01861ef6a0c6d5304fb41449c0524e4c44a5>.
- Domínguez-May, R., Poot-López, G.R., Hernández, J.M., Velázquez-Abunader, I. (2024) Optimization of Feed Ration Size in Aquatic System According to the Optimal Control Approach: Implications of Using the von Bertalanffy Growth Model, *Aquaculture Research*, 6512507, 13 pages. <https://doi.org/10.1155/2024/6512507>.
- Dunkel, F.V. és Payne C. (2016) Introduction to Edible Insects. in *Insects as Sustainable Food Ingredients* Edited by: Aaron T. Dossey, Juan A., Morales-Ramos és M. Guadalupe Rojas. Chapter 1, 1-27. doi:10.1016/B978-0-12-802856-8.00001-6. doi:10.1016/B978-0-12-802856-8.00001-6
- Edwards, P. (2009) Traditional Asian aquaculture. *New Technologies in Aquaculture*, 1029-1063. doi:10.1533/9781845696474.6.1029
- Fang, J., Zhang, J., Xiao, T., Huang, D., Liu., S. (2016) Integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) in Sanggou Bay, China. *Aquacult Environ Interact*. Vol. 8: 201–205, doi: 10.3354/aei00179
- Gamboa-Delgado, J. és Márquez-Reyes, J. M. (2016) Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Reviews in Aquaculture*, 10(1), 224-246. doi:10.1111/raq.12157.
- Garlock, T.M., Asche, F., Anderson, J.L. et al. (2024) Author Correction: Környezeti, gazdasági és társadalmi fenntarthatóság az akvakultúrában: az akvakultúra teljesítménymutatói. *Nat Commun* 15, 5965 <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50360-7> <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50360-7>
- Gatlin, D.M. (2003) Use of Soybean Meal in the Diets of Omnivorous Freshwater Fish. <https://www.semanticscholar.org/paper/Use-of-Soybean-Meal-in-the-Diets-of-Omnivorous-Fish-Gatlin/4a0279adb49c1115693997f8fdd8572903f7275>
- Gokulakrishnan, M., Kumar, R., Ferosekhan, S., Siddaiah, et al. (2023) Bio-utilization of brewery waste (Brewer's spent yeast) in global aquafeed production and

its efficiency in replacing fishmeal: From a sustainability viewpoint. *Aquaculture*, Volume 565, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739161>.

Granada, L., Sousa, N., Lopes, S., Lemos, M. F. L. (2015) Is integrated multitrophic aquaculture the solution to the sectors' major challenges? *Reviews in Aquaculture*, 8(3), 283-300. doi:10.1111/raq.12093.

Grayton, B.D., Beamish, F.W. (1977) Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture*, 11, 159-172. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(77\)90073-4](https://doi.org/10.1016/0044-8486(77)90073-4)

Guiné, R., Correia, P., Coelho, C., Costa, C. (2021) The role of edible insects to mitigate challenges for sustainability. *Open Agriculture*. <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0206>.

Gyan, W.R., Ayiku, S., Yang, Q. (2019a) Effects of Replacing Fishmeal with Soybean Products in Fish and Crustaceans Performance. *J Aquac Res Development*, 10:573; doi: 10.35248/2155-9546.19.10.573

Gyan, W.R., Ayiku, S., Yang, Q., Asumah, J. (2019b) Effects of yeast antimicrobial peptide in aquaculture. <https://www.semanticscholar.org/paper/effects-of-yeast-antimicrobial-peptide-in-Gyan-Ayiku/76aca93f57f1621a04941a2eb9b6c1aa71e9e3c5>

Hameed, A., Majeed, W., Naveed, M., Ramzan, U. et al. (2022) Success of Aquaculture Industry with New Insights of Using Insects as Feed: A Review. *Fishes* 2022, 7, 395. doi: 10.3390/fishes7060395

Hancz, C. (2007) Haltenyésztés. Egyetemi jegyzet.

Hancz, C. (2020) Feed efficiency, nutrient sensing and feeding stimulation in aquaculture: A review. *Acta Agraria Kaposvariensis*. 24 (35-54) DOI: 10.31914/aak.2375

Hancz, C. (2022) Application of Probiotics for Environmentally Friendly and Sustainable Aquaculture: A Review. *Sustainability*. 14, 15479. <https://doi.org/10.3390/su142215479>

Hardy, R.W. and Kaushik, S.J. (2021) *Fish Nutrition*. Academic Press. ISBN 9780128231593

Hicks, T.M. and Verbeek, C.J.R. (1972) *Meat Industry Protein by-Products: Sources and Characteristics*. In *Protein Byproducts*; Dhillon, G.D., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2016; pp. 37-61. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802391-4.00003-3>.

Huang, Q., Miao, Y., Liu, J., Wang, H., Qin, C. et al. L. (2024) Partial replacement of fish meal by enzymatically hydrolyzed soybean does not adversely impact the growth performance, antioxidant capacity, immunity and intestinal health of the juvenile Eriocheir sinensis. *Aquaculture Reports*, 36, 102072. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102072>

Keer, N.R., Abhiman, Dar, S.A. (Eds.) (2024) *Futuristic Trends in Aquaculture*. : IIP Series. ISBN: 978-93-5747-892-2

Kiron, V., Sørensen, M., Huntley, M., Vasanth, G.K., Gong, Y., Dahle, D., Palihawadana, A.M. (2016) Defatted

Biomass of the Microalga, *Desmodesmus* Sp., Can Replace Fishmeal in the Feeds for Atlantic Salmon. *Front. Mar. Sci.* 3, 67. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.0>.

Lévai F. Jr., Szentgyörgyvölgyi Á., Szabó Z., Horváth Z. Jr., Bercsényi M. (2024) Using duckweed (*Lemna minor*, *L. gibbba* and *Spirodela polyrhiza*) for nutrient recycling and water purification in an intensive catfish (*Silurus glanis*) production technology at farm conditions, 7-th ICDRA ,12-16 Nov 2024 Bangkok

Lovell, R.T. (1991) Nutrition of aquaculture species. *J. Anim. Sci.*, 69, 4193-4200.

Lovell, T. ed. (1998) *Nutrition and Feeding of Fish*. DOI: 10.1007/978-1-4615-4909-3

McLean, E. (2023) 4.23 - Feed Ingredients for Sustainable Aquaculture, Editor(s): Pasquale Ferranti, Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach, Elsevier, 2023, Pages 392-423, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00085-8>

Michler-Cieluch, T., and Kodeih, S. (2008) Mussel and Seaweed Cultivation in Offshore Wind Farms: An Opinion Survey. *Coastal Management*, 36(4), 392-411. doi:10.1080/08920750802273185

Nagappan, S., Das, P., AbdulQuadir, M., Thaher, M., Khan, S. et al. (2021) Potential of microalgae as a sustainable feed ingredient for aquaculture. *Journal of biotechnology*. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.09.003>

Ng, W.-K. and Koh, C.-B. (2016) The utilization and mode of action of organic acids in the feeds of cultured aquatic animals. *Reviews in Aquaculture*, 9(4), 342-368. doi:10.1111/raq.12141

Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Józefiak, A. (2018). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*. doi:10.1111/raq.12281

Oddsson, G. V. (2020) A Definition of Aquaculture Intensity Based on Production Functions—The Aquaculture Production Intensity Scale (APIS). *Water*, 12(3), 765. doi:10.3390/w12030765

Parra, L., García, L., Sendra, S. and Lloret, J. (2018) The use of sensors for monitoring the feeding process and adjusting the feed supply velocity in fish farms. *J. Sensors*, 2018, 1-14. DOI: 10.1155/2018/1060987

Pomeroy, R., Dey, M. M., Plesha, N. (2014) The social and economic impacts of semi-intensive aquaculture on biodiversity. *Aquaculture Economics & Management*, 18(3), 303-324. doi:10.1080/13657305.2014.926467

Pounds, A., Kaminski, A., Budhathoki, M., Gudbrandsen, O. et al. (2022) More Than Fish—Framing Aquatic Animals within Sustainable Food Systems. *Foods*, 11. <https://doi.org/10.3390/foods11101413>.

Riddick, E. W., Finke, M. D., DeFoliart, G. R. (2014) *Insects as Food and Feed: From Production to Consumption*. Chapter in J. W. E. van Huis & M. J. A. van der Fels-Klerx (Eds.), Wageningen Academic Publishers.

Rohani, Md. F., Islam, M.M., Hossain, K. et al.

- (2022) Probiotics, prebiotics and synbiotics improved the functionality of aquafeed: Upgrading growth, reproduction, immunity and disease resistance in fish. *Fish & Shellfish Immunology*. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.12.037Lab: Christopher Brown's Lab
- Sarker, P. K., Kapuscinski, A. R., Bae, A. Y., Donaldson, et al. (2018) Towards sustainable aquafeeds: Evaluating substitution of fishmeal with lipid-extracted microalgal co-product (*Nannochloropsis oculata*) in diets of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PLOS ONE*, 13(7), e0201315. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201315>
- Sarker, P.K. (2023) Microorganisms in Fish Feeds, Technological Innovations, and Key Strategies for Sustainable Aquaculture. *Microorganisms*, 11, 439. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020439>
- Shepon, A., Gephart, J., Golden, C., Henriksson, P. et al. (2021) Exploring sustainable aquaculture development using a nutrition-sensitive approach. *Global Environmental Change*. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2021.102285>.
- Siddik, M.A., Sørensen, M., Islam, S., Saha, N., Rahman, M.A., & Francis, D.S. (2023). Expanded utilisation of microalgae in global aquafeeds. *Reviews in Aquaculture*. <https://doi.org/10.1111/raq.12818>
- Sirakov, I.; Velichkova, K.; Nikolov, G. (2012) The Effect of Algae Meal (*Spirulina*) on the Growth Performance and Carcass Parameters of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *J. BioSci. Biotechnol.* 2012, 151–156.
- Sultana, S., Biró, J., Kucska, B., Hancz, C. (2024) Factors Affecting Yeast Digestibility and Immunostimulation in Aquatic Animals. *Animals*. 14(19):2851. <https://doi.org/10.3390/ani14192851>
- Tacon, A.G.J., (1987) The nutrition and feeding of farmed fish and shrimp - A training manual. FAO, Brasilia, Brazil. Link: <https://www.fao.org/4/ab470e/ab470e00.htm>
- Tang, Y., Ju, C., Mei, R., Zhao, L. et al. (2024) Exploring the optimal integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) patterns benefiting culture animals and natural water environment, *Aquaculture*, Volume 589, 741011, <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741011>
- Taştan, Y. and Salem, M. O. A. (2021) Use of phytochemicals as feed supplements in aquaculture: A review on their effects on growth, immune response, and antioxidant status of finfish. *Journal of Agricultural Production*, 2(1), 32-43. <https://doi.org/10.29329/agripro.2021.344.5>
- Tibaldi, E., Hakim, Y., Uni, Z., Tulli, F., de Francesco, M., Luzzana, U., Harpaz, S. (2006) Effects of the partial substitution of dietary fish meal by differently processed soybean meals on growth performance, nutrient digestibility and activity of intestinal brush border enzymes in the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 261(1), 182–193. doi:10.1016/j.aquaculture.2006.06.026
- Tucciarone, I., Secci, G., Contiero, B., Parisi, G. (2024) Sustainable aquaculture over the last 30 years: An analysis of the scientific literature by the Text Mining approach. *Reviews in Aquaculture* 16(3) <https://doi.org/10.1111/raq.12950>
- Viswanathan, K. and Genio, E.R. (2011) “Socioeconomics of responsible aquaculture in Asia.” <https://www.semanticscholar.org/paper/Socioeconomics-of-responsible-aquaculture-in-Asia-Viswanathan-Genio/7b0bea089431eb0d73841624f83e84102edd56fe>
- Varelas, V. (2019) Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. *Fermentation*, 5(3), 81–. doi: 10.3390/fermentation5030081
- Volkoff, H. and Rønnestad, I. (2020) Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. *Temperature*, 7(4), 307–320. doi:10.1080/23328940.2020.1765950
- Zhang, G.G., Li, X., Cai, X.B., Zhang, et al. (2019) Effects of enzymatic hydrolyzed soybean meal on growth performance, liver function and metabolism of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Acta Hydrobiol. Sin.* 43, 1001–1012
- Zhang, R., Chen, T., Wang, Y., Michael Short, M. (2024) An optimisation approach for the design and operation of recirculating aquaculture systems integrated with sustainable hybrid energy systems. *Journal of Cleaner Production*, Volume 477, 143860, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143860>

*Jelen cikk a „Hancz, C. (2024) The role of nutrition in achieving more sustainable and environmentally friendly aquaculture” cikk anyagának újraserkesztett, kiegészített változata, amelynek publikálása folyamatban van az ACTA AGRARIA KAPOSVÁRIENSIS c. folyóiratban”.

Az idegenhonos amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) táplálkozás-ökológiájának és hatásának vizsgálata a vízi élőlény-együttesre

Investigating the feeding ecology and effect of the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) on the aquatic assemblage

Somogyi Dóra^{1,2}, Erős Tibor³, Mozsár Attila³, Czeglédi István³, Szeles Júlia⁴, Nagy László¹, Antal László¹, Nyeste Krisztián¹

¹ Debreceni Egyetem (DE), Biológiai és Ökológiai Intézet, Hidrobiológiai Tanszék, 4032-Debrecen, Egyetem tér 1.

² Debreceni Egyetem (DE), Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola, 4032-Debrecen, Egyetem tér 1.

³ HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet (BLKI), 8237 Tihany, Klebelsberg Kuno utca 3.

⁴ HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont, Vízi Ökológiai Intézet Tisza-kutató Osztály, 4026-Debrecen, Bem tér 18/C.

¹ Department of Hydrobiology, Institute of Biology and Ecology, University of Debrecen, Egyetem Sqr 1, 4032 Debrecen, Hungary.

² Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences, University of Debrecen, Egyetem Sqr 1, 4032 Debrecen, Hungary.

³ Balaton Limnological Research Institute, Eötvös Loránd Research Network (ELKH), Klebelsberg Kuno street 3, 8237 Tihany, Hungary.

⁴ HUN-REN Department of Tisza Research, Centre for Ecological Research, Institute of Aquatic Ecology, 18/C Bem Sqr, Debrecen 4026, Hungary.

Elérhetőségek:

Somogyi D. (somogyi.dora@science.unideb.hu); Erős T. (eros.tibor@blki.hu); Mozsár A. (moszar.attila@blki.hu); Czeglédi I. (czeglеди.istvan@blki.hu); Szeles J. (szeles.julia@ecolres.hu); Nagy L. (nagylaszlo0002@gmail.com); Antal L. (antal.laszlo@science.unideb.hu); Nyeste K. (nyeste.krisztian@science.unideb.hu)

Összefoglalás

Az inváziós fajok terjedése a globalizáció révén egyre gyorsabb ütemben zajlik. Az idegenhonos fajok új élőhelyeken való megtelepedése, majd állományuk méretének növekedése akár visszafordíthatatlan következményekkel is járhat az őshonos élőlény-együttesek esetében. Napjainkban a biológiai inváziót az édesvízi halfajok kihalásáért felelős egyik fő veszélyeztető tényezőként tartják számon. Magyarország halfaunájában számottevő az idegenhonos faunaelemek aránya, melyek közül kiemelendő az inváziós amurgéb (*Perccottus glenii*) térnyerése és hatása a hazai vízfolyások és állóvizek élőlény-együtteseire. A jelen tanulmány alapját képző vizsgálatban a Borsodi-Mezőségben található Hejő-főcsatornában vizsgáltuk az amurgéb táplálkozás-ökológiáját, pontosabb képet kapva a faj táplálékkészletéről, valamint annak egyes élőlénycsoportokra kifejtett hatásáról is. A vizsgálat során két, egymástól a mintavétel intenzitásában eltérő

mintavételi protokollt dolgoztunk ki, hogy tájékozódhassunk az amurgéb táplálékának összetételéről és azok táplálkozásban betöltött szerepéről is. A gyakorlatban is általánosan használt havi mintavételezés révén fény derült az amurgéb széles táplálékkészletére, melynek zömét a makrogerinctelen szervezetek alkották, míg a 10 naponta történő mintázás során igazolódott, hogy az amurgéb effektív ragadozója a kétéltűknek, valamint a lápi póc (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) zsenge ivadékanak. Az amurgéb és a lápi póc esetében egy korábbi tanulmányban már igazolták a két faj között fennálló – a táplálékforrásokért folytatott – kompetíciót, mely a jelen vizsgálatban igazolt predációval kiegészülve viszonylag rövid időn belül a lápipóc-állomány erőteljes csökkenéséhez, néhány év leforgása alatt pedig akár egyes populációk kipusztulásához is vezethet.

Kulcsszavak: biológiai invázió, amurgéb, lápi póc, állománycsökkenés, ragadozás

Summary

The spread of invasive species is becoming increasingly problematic due to globalization. Establishing non-native species in new habitats and subsequent population growth can have devastating consequences. Invasion is now considered one of the main threats to the extinction of freshwater fish species. Hungary's fish fauna includes many non-native species, among which the expansion and impact of the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii*) in Hungarian rivers and lakes are particularly noteworthy. In this study, we investigated the feeding ecology of the Amur sleeper in the Hejő-main channel, an artificially created watercourse with dense aquatic macrovegetation located in the Borsodi-Mezőség region. This research provided a more accurate picture of the species' diet and the potential threats posed by the presence of the Amur sleeper to various prey groups. To address these questions, we developed two sampling protocols that differed in sampling intensity. Monthly sampling, a common practice in feeding ecology investigations, revealed the Amur sleeper's broad diet, consisting mainly of macroinvertebrates. However, more intensive sampling every ten days confirmed that the Amur sleeper is an effective predator of amphibian juveniles and the European mudminnow (*Umbra krameri*) fry and highlighted the importance of seasonally available food resources in the diet. Competition for food resources between the Amur sleeper and the mudminnow has been previously documented. However, there was no information about the predatory effect of the Amur sleeper on the European mudminnow. This endemic, short-lived paned minnow has low fecundity with a small distribution range restricted to the Danube and Dniester Rivers drainage. When predation is also considered, combining these interaction types could lead to a significant decline in mudminnow populations within a relatively short period and even to the extinction of some populations within a few years. The European mudminnow has a sporadic distribution according to its distribution range, and further spread of the Amur sleeper could contribute to the collapse and vanishment of more and more mudminnow populations. Designing further conservational measures is more crucial than ever.

Keywords: biological invasion, Amur sleeper, European mudminnow, population decrease, predation

Jelen cikk a „Somogyi D., Erős T., Mozsár A., Czeglédi I., Szeles J., Tóth R., Zulkipli N., Antal L., Nyeste K. (2023): Intraguild predation as a potential explanation for the population decline of the threatened native fish, the European mudminnow (*Umbra krameri* Walbaum, 1792) by the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877), (a *NeoBiota* folyóiratban megjelent) c. kézirat anyagának újraserkesztett, kiegészített változata.

Bevezetés

A biológiai invázió – mely során egy adott területen, adott tér- és időskálán egy idegenhonos faj elterjedési területe és populációmérete a számára megfelelő élőhelyen, adott tér- és időskálán monoton módon növekszik (Botta-Dukát és mtsai, 2004; Soto et al. 2024) – a felfedezések korát (15–18. század) és a globalizációt követően vált széleskörűvé, az idegenhonos fajok hatása pedig manapság egyre érzékelhetőbbé válik (Gozlan, 2008; Hui & Richardson, 2017; Panagiotakopulu & Garcia, 2023). Egyes inváziós fajok megtelepedésüket követően a természetes ellenségeik híján, képesek olyan szaporodási és terjeszkedési előnyökre szert tenni, amelyek gyakran a közösség domináns elemeivé, idővel pedig „invázióssá” válnak, azonban más tényezők, például az éghajlat vagy az emberi közvetítés is szerepet játszhat a folyamatban (Simberloff és mtsai, 2013; Morais & Reichard, 2018). Édesvizeink a bolygó legdiverzebb élőhelyei közé tartoznak (Häder és mtsai, 2020), a bennük előforduló halfajok több, mint 18 ezer képviselőjével pedig az egyik legdiverzebb, s egyben a legveszélyeztetettebb élőlénycsoportot alkotják (Harrison és mtsai, 2021).

Napjainkra az édesvízi halfajok több, mint 30%-át fenyegeti a kihalás veszélye, 2020-al bezárólag összesen 80 halfajt kipusztultnak, 10-et vadon kihaltak, további 115 fajt pedig kritikusan veszélyeztetettnek nyilvánított a Természetvédelmi Világszövetség (IUCN) (Harrison és mtsai, 2021). A kihalási események hátterében számos tényező áll (pl. klímaváltozás, az élőhelyek degradálódása és megsemmisülése stb.) (Dudgeon és mtsai, 2006), melyek között a biológiai invázió is megtalálható (Clavero & García-Berthou, 2005).

A Magyarországon előforduló idegenhonos halfajok és azok hibridjeinek a száma 2016-tal bezárólag közel 60-ra gyarapodott, mely kiemelkedő értéknek számít összevetve a közel 60 őshonos halfajunk számával (Takács és mtsai, 2017). Egyik ilyen idegenhonos faunaelemünk az amurgéb, melynek első hazai előfordulását 1998-ban közölték a Tisza-tó térségéből (Harka, 1998). Az eltelt két évtized alatt országszerte egyre több előfordulási adatát regisztrálták (Erős és mtsai, 2008; Harka és mtsai, 2008; Ferincz és mtsai, 2012; Takács & Vítál, 2012; Takács és mtsai, 2012). Ennek a Kelet-Ázsiában őshonos fajnak az elterjedési területe az 1916-os behurcolását követően (Spanovskaya és mtsai, 1964) napjainkra már egészen Nyugat-Európáig (Németország, Naab-folyó vízgyűjtője) terjed (Nehring & Steinhof, 2015), jelentős kártételt okozva az őshonos élőlényközösségeket alkotó fajok állományában (Reshetnikov, 2008).

Megtelepedését követően számos halfaj (pl. szivárványos ökle (*Rhodeus amarus* Bloch, 1782), széles kárász (*Carassius carassius* Linnaeus, 1758), kurta baing (*Leucaspis delineatus* (Heckel, 1843)) esetében dokumentálták az invázió elmaradását

(Spanovskaya és mtsai, 1964; Reshetnikov, 2008), valamint a makrogerinctelen és kétéltűfajok állományának drasztikus mértékű csökkenését (Reshetnikov, 2003). Ezen tanulmányok azonban nem szolgáltattak bizonyítékkal sem a folyamat hátterében álló okokról, sem pedig az amurgéb hatásáról.

Az elmúlt évtizedek faunisztikai felmérései egyes őshonos faunaelemek – kiváltképp a fokozottan védett lápi póc – állományának visszaszorulását igazolták az amurgéb megjelenését követően (Bănăduc és mtsai, 2022). A két faj között fennálló kölcsönhatásokat tekintve csupán egy akváriumi kísérletről számol be a szakirodalom, melyben az amurgébet a lápi póc táplálékkonkurensként írják le (Grabowska és mtsai, 2019).

Mivel a lápi póc visszaszorulása drasztikus méreteket öltött a Tisza hazai vízrendszere mentén (pl. 95%-os állománycsökkenés a Felső-Tisza vidékéről ismert állományokban) (Bănăduc és mtsai, 2022), így érdemesnek véltük megvizsgálni egy másik interakciótípust, a predáció esetleges fennállását és annak mértékét a két faj között.

Figyelembe véve a korábbi tanulmányokban leírtakat, munkánk során azokra a kérdésekre kerestük a választ, hogy milyen szerepe van a haleredetű tápláléknak az amurgéb táplálkozásában, mely halfajok vannak leginkább kitéve az amurgéb jelentette predációs nyomásnak, továbbá van-e összefüggés az amurgéb egyes méretcsoportjai és a gyomortartalom összetétele között. Ehhez feltártuk az amurgéb táplálkozás-ökológiáját, kiemelt figyelmet szentelve a faj őshonos halközösségre kifejtett hatásának.

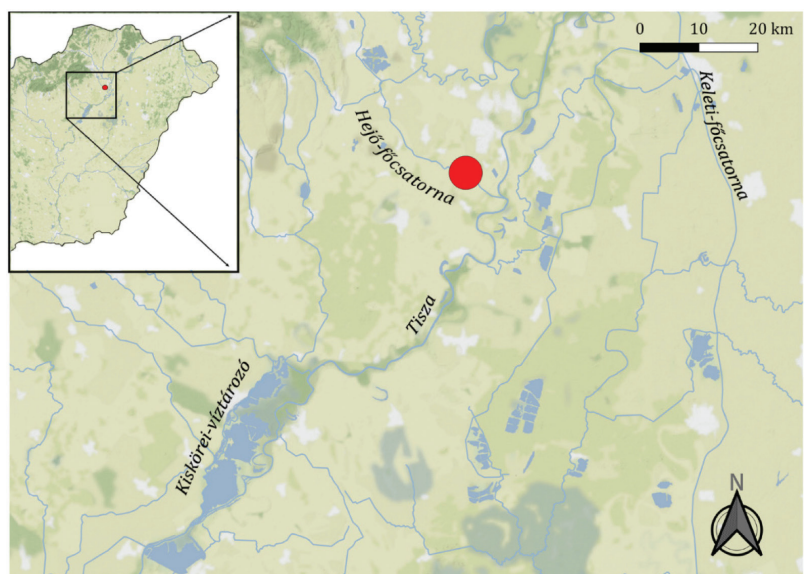
Anyag és módszer

Az amurgéb gyomortartalmának feltáráshoz egy olyan élőhelyre volt szükségünk, ahol mind a lápi póc, mind pedig az amurgéb egy viszonylag stabil állománnyal képviselteti magát. Korábbi, eddig még nem publikált felméréseink alapján a Kelet-Magyarországi régióban mindössze a Borsodi-Mezőségben található Hejő-főcsatorna hejőkürti szakasza felelt meg az általunk támasztott kritériumoknak. A mintavételi szakasz kezdő EOY koordinátái az alábbiak voltak: Y796350, X282129 (1. ábra). A Miskolctapolca alatt Hejő-patak néven eredő főcsatorna alsó, hejőkürti szakaszát főként vízi növényzettel gazdagon benőtt, pangóvízes állapotok jellemzik, melynek halközösségét főként stagnofil faunaelemek alkotják (Harka & Szepesi 2007; saját, nem publikált eredmények).

A mintavételeket 2020 márciusa és 2021 augusztusa között végeztük. A halak begyűjtése során egy aggregátorral üzemelő, egyenárammal működő német

gyártmányú elektromos kutatóhalászgépet alkalmaztunk (Hans Grassl EL64 II GI, DC, 300/600V max. 7 kW, Hans Grassl GmbH, Németország), a halak begyűjtése és feldolgozása az érvényben lévő Európai Unió Víz Kezretírányelve (EU VKI) halakra kidolgozott ajánlásoknak megfelelően történt (Sály & Erős, 2016) (engedélyszám: HaGF/134/2019 és HaGF/68/2021). A halfauna felmérése, valamint a halak begyűjtése során az ajánlásoknak megfelelően (Sály & Erős, 2016) gázlós, valamint csónakos mintavételi módszert alkalmaztunk, gázlós mintavétel esetében folyásiránnyal szemben egy 150 méteres szakaszon, míg csónakos módszer esetén pedig folyásiránynak megfelelően egy 500 méteres szakaszon végeztük el az egyedek begyűjtését. Annak érdekében, hogy az egyes táplálékalkotók – kiváltképp a haleredetű táplálék – táplálkozásban betöltött szerepét és fontosságát meghatározhassuk, eltérő mintavételi protokollokat dolgoztunk ki, melyek a mintavételek intenzitásában különböztek egymástól.

Az egyik protokoll során egy – a szakirodalomban hagyományos módszerként ismert – havi mintavételezést alkalmaztunk, mely révén egy általános képet kaphattunk a gyomortartalmat alkotó táplálékszervezetekről. A másik protokoll során azonban egy finomabb időbeli felbontást (10 naponta vett minta) választottunk, mely révén a szaporodási időszakról kezdve tártuk fel az egyes zsákmányszervezetek, kiváltképp a haleredetű táplálék táplálkozásban betöltött szerepét. A havi mintavételekre 2020. március 23. és 2021. február 23. között került sor négy hetente történő ismétléssel, összesen 12 alkalommal. Alkalmanként 30 amurgéb egyed került begyűjtésre (n = 360), melyek standard testhossza (SL) 28 és 93 mm között változott. Az intenzívebb mintavételezésre 2021 májusa



1. ábra: A Borsodi-Mezőséget átszelő Hejő-főcsatorna (A vizsgálathoz kijelölt mintavételi szakaszt a piros kör jelzi)
Fig.1. The Hejő Main Canal crossing the Borsod Plain (The sampling section was dedicated to the red circle)

és augusztusa között került sor, amely során 10 naponta 20 amurgébet ($n = 240$) gyűjtöttünk, standard testhosszuk 45 és 90 mm között változott. A két mintavételi protokoll során begyűjtött egyedek testhosszszelzlésának összehasonlításához a Kolmogorov–Smirnov-féle tesztet használtuk, mely nem mutatott szignifikáns eltérést a begyűjtött egyedek méreteloszlása között ($D = 0,286$; $p = 0,304$). Nem találtunk szignifikáns különbséget az átlagos testhosszok között sem, a havi mintavételezés esetében az átlagos testhossz 58,8 mm, míg a 10 napos mintavételezés során 59,6 mm volt.

A begyűjtött egyedeket szefgűszegolajjal túlaltattuk (Kati és mtsai, 2015), standard (SL), valamint teljes (TL) testhosszukat 0,01 mm pontossággal, digitális tolmérő segítségével mértük le. Ezt követően meghatároztuk az ivararányt, majd pedig vizuálisan megbecsültük a gyomortelítettséget. A testparaméterek rögzítését követően a gyomortartalom jobb konzerválása végett a gyomrot tartalmával együtt kipreparáltuk (Martinez-Palacios & Ross, 1988), majd a további laboratóriumi vizsgálatokig 96%-os alkoholban konzerváltuk. A gyomortartalom fel-tárást sztereomikroszkóppal (EduBlue – ED.1802-S), a lehető legnagyobb taxonómiai felbontással határoztuk meg. A gyomortelítettséget (a táplálék térfogata alapján) 0 – 100%-os skálán (üres–tele) becsültük meg, az egyes táplálékalkotók százalékos hozzájárulását a teljes gyomortartalomhoz pedig úgy állapítottuk meg, hogy azok összege megegyezzen a teljes gyomortelítettséggel (Hyslop, 1980; Amundsen és mtsai, 1996; Kati és mtsai, 2015).

Eredményeink értékelése során a gyomortartalommal nem rendelkező egyedeket kizártuk a további elemzésekből (Grabowska és mtsai, 2009; Kati és mtsai, 2015). Az egyes táplálékalkotók – kiváltképp a haleredetű zsákmány – jelentőségének meghatározásához kiszámítottuk az egyes táplálékcsoportok előfordulási gyakoriságát ($F_i\%$) ($F_i\% = N_i / N \times 100$), valamint táplálékspecifikus térfogatarányát ($P_i\%$) ($P_i\% = (\Sigma P_i / \Sigma P_i) \cdot 100$) (Amundsen és mtsai, 1996). Ezekben $F_i\%$ az adott táplálékalkotó (Q) előfordulási gyakorisága; N_i az adott táplálékalkotót (Q) fogyasztó halak száma; N a gyomortartalommal rendelkező halak száma. $P_i\%$ az adott táplálékalkotó (Q) táplálékspecifikus térfogataránya; ΣP_i az adott táplálékalkotó (Q) százalékos hozzájárulása a gyomortartalomhoz; ΣP_i az adott táplálékalkotót (Q) fogyasztó hal teljes gyomortelítettsége (Hyslop, 1980; Labropoulou & Eleftheriou, 1997).

Az amurgébek testhossza és a táplálékösszetétel közötti összefüggések tanulmányozása érdekében a 10 napos intenzív mintavételezés során gyűjtött egyedeket standard testhosszuk alapján 3 méretcsoportba osztottuk: kicsi, ≤ 49 mm SL ($n = 59$); közepes, 50 – 62 mm SL ($n = 96$); és nagy, ≥ 63 mm SL ($n = 53$). A méretcsoportok táplálkozásában fennálló különbségek és átfedések vizsgálatához egy nem-metrikus multidimenzionális skálázási (NMDS) módszert, a skálázásához pedig a Bray–Curtis-féle távolsági indexet alkalmaztuk (stresszérték = 0,13)

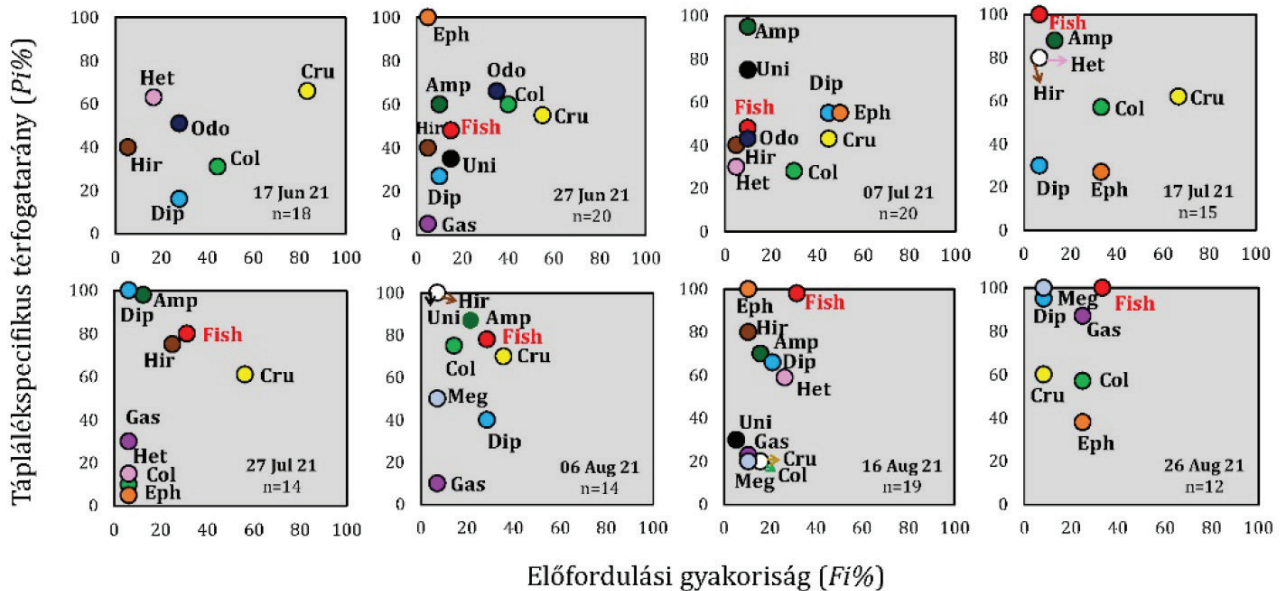
(Clarke, 1993). Az ordinációs elemzések elvégzéséhez az R statisztikai környezet „vegan 2.5-7” csomagját használtuk (Oksanen és mtsai, 2020). Azokat a táplálékkategóriákat, amelyek szignifikánsan befolyásolták ($\alpha = 0,05$) az adatok eloszlási mintázatát, az *envfit* függvény segítségével határoztuk meg (999 futtatás) (Clarke, 1993). Az eredményeink értékeléséhez és vizualizálásához a szabadon hozzáférhető „R” statisztikai programot (4.2.2. verzió) használtuk (R Core Team., 2022). A méretcsoportok gyomortartalma közötti hasonlóság elemzéséhez az ANOSIM módszert alkalmaztuk (Clarke, 1993), amely szintén elérhető a *vegan* csomagban. Az ANOSIM módszer nem mutatott különbséget az egyes méretcsoportok gyomortartalom-összetétele között. Az amurgéb-méretcsoportok táplálkozásának átfedését a Schoener-index (1970) segítségével értékeltük: $C_{xy} = 1 - 0,5 \sum |p_{xi} - p_{yi}|$, ahol p_{xi} és p_{yi} az x és y méretcsoportok gyomortartalmában talált adott táplálékalkotó (Q) mennyiségét jelöli (az adott táplálékalkotó relatív abundanciája alapján) (Wallace, 1981).

Eredmények és értékelésük

Az egymástól eltérő mintavételi protokollok révén sikerült igazolnunk az amurgéb őshonos fajainkra, kiváltképp a lápi pócra gyakorolt predációs hatását. A havonta történő mintázás során 15, míg a 10 napos, finomabb időbeli felbontású protokoll során 12 táplálékkategóriát azonosítottunk. A táplálék jelentős részét mindkét módszer esetében a makrogerinctelen-szervezetek alkották. Az amurgéb táplálkozásában a gerincesek (halak és kétéltűek) szerepe eltérőnek bizonyult az egyes módszerek között. A hagyományos mintavételi protokoll nem szolgált kellő információval a halak és kétéltűek táplálkozásban betöltött szerepét illetően. A 10 naponta végzett mintavételi protokoll során azonban a szaporodási, és azt követő időszakban ideiglenesen elérhető táplálékforrások elérhetősége kulcsfontosságúnak bizonyult, az amurgéb ezen időszak alatt hatékony ragadozója és fogyasztója volt mind a halikrának, mind a zsenge halivadéknak, esetünkben főleg a lápi pócnak (2. ábra), illetve a kétéltűeknek.

A grafikus ábrázolás alapján a vizsgált amurgébek egyes táplálékszervezeteket gyakran és nagy mennyiségben fogyasztottak (azok a táplálékalkotók, amelyek az ábrák jobb felső sarkában találhatóak), továbbá megfigyelhető a források felosztása is a vizsgált populáción belül (2. ábra).

A havi mintavételezés során tavasszal a kétszárnyúak (március: 45%), a makroszkópikus rákok (május: 24%), a kérészek (*Cloeon dipterum* – április: 59%) és a szitakötők (*Coenagrion puella* – május: 23%) egyedei fordultak elő leggyakrabban a gyomortartalomban. A makroszkópikus rákok (melyek főként az *Asellus aquaticus* és a *Synurella ambulans* fajba tartoztak) minden évszakban gyakorinak bizonyultak (június: 46%; november: 80%; január: 41%). A bogarak (*Haliphus* sp.) kiváltképp a nyári (augusztus: 17%) és a téli (január: 17%) időszakban képezték szerves



2. ábra: A 10 naponta történő mintavételezés során gyűjtött amurgébek gyomortartalom összetételének grafikus ábrázolása Amundsen és munkatársai (1996) alapján. (Az ábrán a haleredetű táplálék megjelenését követő alkalmakat szerepeltettük)

Fig.2. Graphical visualization of the Amur sleeper's stomach content collected during the finer temporal resolution protocol according to Amundsen és mtsai (1996). (In the figure, we have included the sampling occasions following the appearance of fish prey)

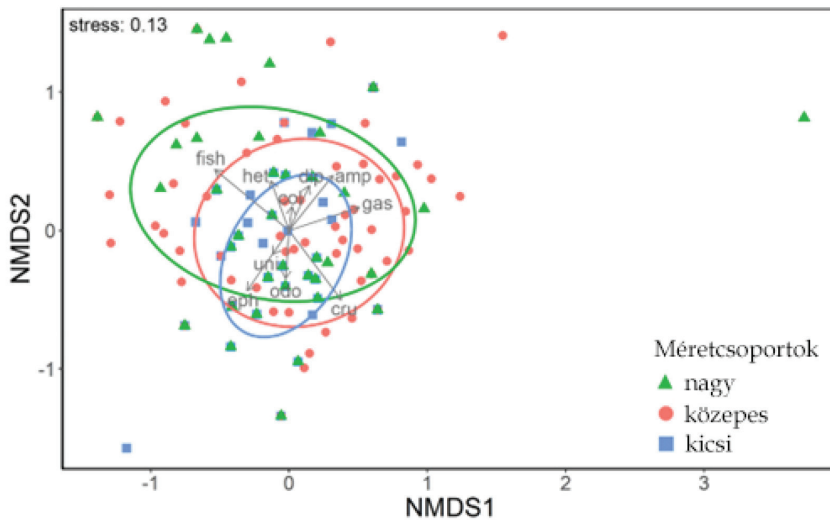
Az egyes táplálékalkotókat az ábrán az alábbiak szerint jelöltük: Fish (Actinopterygii); Amp (Amphibia); Col (Coleoptera); Cru (Crustacea); Dip (Diptera); Eph (Ephemeroptera); Gas (Gastropoda); Het (Heteroptera); Hir (Hirudinea); Meg (Megaloptera); Odo (Odonata); Tri (Trichoptera); Uni (nem azonosítható táplálékalkotó). Az egyes mintavételek dátumát, valamint az adott mintavétel során begyűjtött, gyomortartalommal rendelkező egyedek számát (n) a jobb alsó sarokban tüntettük fel. Az ábra jobb oldalán a mintavétel időbeli skálája, valamint a lápi póc lárva- és ivadékkori (o+) egyedfejlődésének ábrázolását szerepeltettük

részét az amurgéb táplálékának, míg a piócák (Hirudinae), poloskák (Heteroptera) és szitakötők a nyár (Hirudinae augusztusban: 10%; Heteroptera júniusban: 6%; Odonata júniusban: 14%) és az ős folyamán (Hirudinae októberben: 15%; Heteroptera szeptemberben: 13%; Odonata szeptemberben: 16%) voltak jelen nagyobb mennyiségben.

A 10 naponta gyűjtött egyedek gyomortartalmában a makroszkópikus rákok bizonyultak a leggyakoribb táplálékalkotóknak (2. ábra). Mennyiségük a gyomortartalomban egészen a nyár közepéig növekedett (2. ábra). Tavasz végétől a kérészek relatív abundanciája számottevő volt (május 8: 66%; május 18: 46%). Tavasz végétől egészen a nyár közepéig a legkedveltebb táplálékalkotók közé tartoztak a szitakötőlárva, június végétől pedig folyamatosan megjelentek a kétélűek lárvai is a gyomortartalomban. (2. ábra).

Habár az amurgéb vizsgálatunk és a forrásmunkák szerint is főleg makrogerinctelen-szervezeteket fogyaszt (Koščo és mtsai, 2008; Grabowska és mtsai, 2009; Kati és mtsai, 2015), halfogyasztásának mértéke az egyedfejlődés és az életkor előrehaladtával egyre kifejezettebbé válhat (Koščo és mtsai, 2008; Grabowska és mtsai, 2019). A piscivor táplálkozás számottevően nagyobb arányban volt megfigyelhető a 10 naponta történő, intenzívebb mintavételezés során, kiváltképp a tavasztól nyár végéig

terjedő időszakban, amikor a környezetben nagyobb mennyiségben áll rendelkezésre számos halfajunk zsenge ivadéka, mint időszakosan előforduló táplálékforrás. A haleredetű táplálék előfordulási gyakorisága ($F_i\%$) az amurgéb gyomortartalmában az ikra esetében meghaladta a 21%-ot, míg az ivadék esetében a 33%-ot. A halikra azonban csupán alkalmanként fordult elő a tavaszi mintákban és a kevésbé preferált táplálékszervezetek közé tartozott. Az elfogyasztott halfajok közül kiemelkedett a lápi póc – főként ivadékkorú – egyedeinek előfordulása a többi halfajhoz képest (2. ábra). Az időben intenzívebb mintavételi protokoll szerint begyűjtött egyedek egy része fogyasztott haleredetű táplálékot (előfordulási gyakorisága a gyomortartalomban alacsonynak vagy pedig közepesnek számított a populáción belül), azonban azok táplálékszervezetre történő specializációja jelentős volt (a haleredetű táplálék magas táplálék-specifikus térfogatára a gyomortartalomban). A lápi póc mellett regisztráltuk a vágócsik (*Cobitis elongatoides* Băcescu & Mayer, 1969), valamint az amurgéb egy-egy ivadékát is a gyomortartalomból. Az irodalmi adatokat tekintve az itt feltüntetett számadatok jelentősek. Marsh & Douglas 1997-ben végzett vizsgálata során idegenhonos ragadozóhalak, köztük a pettyes harcsa (*Ictalurus punctatus* Rafinesque, 1818) hatását vizsgálták az őshonos *Gila cypha* Miller, 1946



3. ábra: Az amurgéb különböző méretcsoportjai táplálkozásának vizsgálata nem-metrikus multidimenzionális skálázással (NMDS)

Az ellipszisek a 95%-os konfidenciaintervallumot szemléltetik egy adott méretcsoport kétváltozós átlagának az átlag standard hibája alapján számított értéként. A nyilak végénél feltüntetett táplálékkategóriák rövidítése megegyezik a 2. ábránál megadottakkal.

Fig.3. investigation of the feeding ecology of Amur sleeper size groups using the non-metric multidimensional scaling method (NMDS)

Data points are coded and grouped by size. Ellipses illustrate the 95% confidence interval of the bivariate mean for each size group, calculated using the standard error of the mean. The abbreviations of the food categories indicated at the ends of the arrows correspond to those provided in Figure 2.

állományára (Marsh & Douglas, 1997). Eredményként az őshonos faj számottevően alacsonyabb előfordulási gyakoriságát (2%) tapasztalták a pettyes harcsa gyomortartalmában, azonban számításaik szerint a predáció ezen mértéke egy stabil ragadozóállomány jelenlétében is erőteljes állománycsökkenéshez vezethet.

Az NMDS elemzés alapján nagy mértékű átfedés mutatkozott a táplálék összetételében a vizsgált méretcsoportok között; a vizsgált méretcsoportok nem váltak el egymástól szignifikánsan (ANOSIM: $R = -0,0063$; $p = 0,6062$) (3. ábra). A nagyobb egyedek táplálékspektruma kiszélesedett, jelentősebb mértékben fogyasztottak hal eredetű táplálékot, mint a kisebb és a közepes méretcsoportba tartozó egyedek (3. ábra).

Az NMDS, valamint az ANOSIM elemzés során kapott eredményeinket a Schoener-index eredménye is alátámasztotta, mely szerint magasfokú táplálkozásbeli átfedés figyelhető meg az egyes méretcsoportok között. A kis méretű és a nagy méretű amurgégek csoportjába tartozó egyedek étrendje mutatta egymással a legkisebb hasonlóságot (0,669), ezt követte a középső a kis méretcsoporttal (0,692), míg a legnagyobb hasonlóság a középső és a nagy méretcsoport egyedeinek étrendje között mutatkozott (0,865).

A táplálékforrásokért folytatott versengés (Grabowska és mtsai 2019) kiegészülve a ragadozással a táplálkozási guilden belüli ragadozáshoz (intraguild-predáció) vezethet az amurgéb és a lápi póc között (Polis és mtsai,

1989; Polis & Holt, 1992). Ez sajnos jelentős mértékben hozzájárulhat a lápi póc állományának csökkenéséhez az amurgéb által meghódított víztestekben. Az intraguild-predációt meghatározza a ragadozó, valamint zsákmányának mérete; minél nagyobb a ragadozó, annál nagyobb a gyomortartalomban megtalálható zsákmány mérettartománya (Scharf és mtsai, 2000; Dörner & Wagner, 2003). Vizsgálatunkban a halfogyasztás mértékét ontogenetikus és évszakos mintázatok jellemezték. Mivel a hazai vizekben előforduló amurgéb-populációkra az idősebb, nagyobb szájmérettel rendelkező egyedek hiánya jellemző (Nyeste és mtsai, 2017), hal eredetű táplálékot csupán bizonyos időnként fogyasztanak (Grabowska és mtsai, 2009; Kati és mtsai, 2015). A testméret növekedésével azonban a halzsákmány előfordulási gyakorisága és táplálékspecifikus térfogataránya a gyomortartalomban növekedni

fog. A méretcsoportok esetében jelentős átfedések mutatkoztak a táplálékalkotók tekintetében, kiváltképp az amurgéb középső és nagy méretcsoportjainál, ami vélhetően a vizsgált populáció testhossz-eloszlásával és a valódi piscivor egyedek hiányával magyarázható. Ezt az átfedést eredményeink (Schoener-index, NMDS és ANOSIM elemzés) is alátámasztották (3. ábra).

Az amurgéb általi intraguild-predáció hatását tovább súlyosbítja annak hosszabb élettartama (Nyeste és mtsai, 2017), magasabb fekunditása és a táplálékszerzés, valamint szaporodás során tapasztalható agresszívebb magatartása (Grabowska és mtsai, 2011, 2019). Mivel a lápi póc a Duna és a Dnyeszter vízrendszerének endemizmusa, szűk elterjedési területének jelentős részét a Kárpát-medence alkotja. Az amurgéb Kárpát-medencei megjelenése, valamint azon belüli elterjedése akár a lápi póc teljes eltűnéséhez is vezethet, ezért a továbbiakban fokozott figyelmet kell szentelni az amurgéb terjedésének megakadályozására, valamint további lépéseket kell tenni a lápi póc fennmaradt állományainak megóvására.

Köszönetnyilvánítás

Munkánk a kulturális és innovációs minisztérium EKÖP-24-4-I-DE-457 és EKÖP-24-4-II-DE-458 kódszámú Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. Antal Lászlót és

Nyeste Krisztiánt a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta. A TKP2021-NKTA-32 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg. A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 és a GINOP_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00245 számú projektek támogatásával valósult meg. Somogyi Dórát a Gróf Tisza István Debreceni Egyetemért Alapítvány PhD Kiválósági Ösztöndíja támogatta. Czeglédi Istvánt az OTKA PD 138296 számú ösztöndíj (Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal - NKFIH) támogatta.

Irodalomjegyzék

- Amundsen, P. A., H. M. Gable, & F. J. Staldvik, 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data - Modifying the Costello (1990) method. *Journal of Fish Biology* 48(4): 607-614.
- Bănăduc, D., S. Marić, K. Cianfaglione, S. Afanasyev, D. Somogyi, K. Nyeste, L. Antal, J. Koščo, M. Čaleta, J. Wanzenböck, & A. Curtean-Bănăduc, 2022. Stepping Stone Wetlands, Last Sanctuaries for European Mudminnow: How Can the Human Impact, Climate Change, and Non-Native Species Drive a Fish to the Edge of Extinction? *Sustainability* 14: 13493.
- Botta-Dukát, Z., L. Balogh, C. Szigetvári, I. Bagi, I. Dancza, & L. Udvardy, 2004. A növényi invázióhoz kapcsolódó fogalmak áttekintése, egyben javaslat a jövőben használandó fogalmakra és definíciókra. In Mihály, B., & Z. Botta-Dukát (eds), *Biológiai inváziók Magyarországon: Özönnövények. A KvVM Természetvédelmi Hivatalának tanulmánykötetei*: 35-59.
- Clarke, K. R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral Ecology* 18: 117-143.
- Clavero, M., & E. García-Berthou, 2005. Invasive species are a leading cause of animal extinctions. *Trends in Ecology & Evolution* 20(3): 110.
- Dörner, H., & A. Wagner, 2003. Size-dependent predator-prey relationships between perch and their fish prey. *Journal of Fish Biology* 62(5): 1021-1032.
- Dudgeon, D., A. H. Arthington, M. O. Gessner, Z. I. Kawabata, D. J. Knowler, C. Lévêque, R. J. Naiman, A. H. Prieur-Richard, D. Soto, M. L. J. Stiassny, & C. A. Sullivan, 2006. Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society* 81: 163-182.
- Erős, T., P. Takács, P. Sály, A. Specziár, Á. I. György, & P. Bíró, 2008. Az amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) megjelenése a Balaton vízgyűjtőjén. *Halászat* 101/2: 75-77.
- Ferincz, Á., Á. Staszny, & G. Paulovics, 2012. Amurgéb (*Perccottus glenii*) a Hévíz-Páhoki-csatornában. *Halászat* 105/1: 18.
- Gozlan, R. E., 2008. Introduction of non-native freshwater fish: Is it all bad?. *Fish and Fisheries*. 9(1), 106-115.
- Grabowska, J., D. Błońska, S. Kati, S. A. Nagy, T. Kakareko, J. Kobak, & L. Antal, 2019. Competitive interactions for food resources between the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii*) and threatened European mudminnow (*Umbra krameri*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29(12): 2231-2239.
- Grabowska, J., M. Grabowski, D. Pietraszewski, & J. Gmur, 2009. Non-selective predator - the versatile diet of amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) in the Vistula river (Poland), a newly invaded ecosystem. *Journal of Applied Ichthyology* 25(4): 451-459.
- Grabowska, J., D. Pietraszewski, M. Przybylski, T. S. Ali Serhan, L. Marszał, & L. K. Magdalena, 2011. Life-history traits of Amur sleeper, *Perccottus glenii*, in the invaded Vistula River: Early investment in reproduction but reduced growth rate. *Hydrobiologia* 661: 197-210.
- Häder, D. P., A. T. Banaszak, V. E. Villafañe, M. A. Narvarte, R. A. González, & E. W. Helbling, 2020. Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. *Science of the Total Environment*, 136586.
- Harka, Á., 1998. Magyarország faunájának új halfaja: az amurgéb (*Perccottus glehni* Dybowski, 1877). *Halászat* 91/1: 32-33.
- Harka, Á., Szepesi, Zs. 2007. A Hejő patak vízrendszérének halfaunisztikai vizsgálata. *Pisces Hungarici* 1., 113-117.
- Harka, Á., C. Megyeri, & C. Bereczki, 2008. Amurgéb (*Perccottus glenii*) a Balatonnál. *Halászat* 101: 62.
- Harrison, I., W. Darwall, R. R. Lee, D. Muruven, C. Revenga, J. Claussen, A. Lynch, A. Pinder, R. Abell, P. Martinelli, M. Baltzer, M. Thieme, S. Jähnig, J. Opperman, H. Wanningen, J. Monroe, H. Patricio, F. Fish, I. N. Freefall, I. Harrison, W. Darwall, R. R. Lee, D. Muruven, C. Revenga, J. Claussen, A. Lynch, A. Pinder, R. Abell, P. Martinelli, M. Baltzer, M. Thieme, S. Jähnig, J. Opperman, H. Wanningen, H. Patricio, T. Lyons, P. Van Damme, M. Owen, H. Rudd, J. Jorgensen, N. Sreenivisan, M. Lloyd, A. Rickard, & M. Gollock, 2021. The World's Forgotten Fishes. World Wide Fund for Nature (WWF).
- Hui, C., & D. M. Richardson, 2017. *Invasion dynamics*. Oxford University Press.
- Hyslop, E. J., 1980. Stomach contents analysis—a review of methods and their application. *Journal of Fish Biology* 17: 411-429.
- Kati, S., A. Mozsár, D. Árva, N. J. Cozma, I. Czeglédi, L. Antal, S. A. Nagy, & T. Erős, 2015. Feeding ecology of the invasive Amur sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) in Central Europe. *International Review of Hydrobiology* 100(3-4): 116-128.

- Koščo, J., P. Manko, D. Miklisová, & L. Košuthová, 2008. Feeding ecology of invasive *Perccottus glenii* (Perciformes, Odontobutidae) in Slovakia. *Czech Journal of Animal Science*, 53(11): 479–486.
- Labropoulou, M., & A. Eleftheriou, 1997. The foraging ecology of two pairs of congeneric demersal fish species: importance of morphological characteristics in prey selection. *Journal of Fish Biology*, 50(2): 324–340.
- Marsh, P. C., & M. E. Douglas, 1997. Predation by Introduced Fishes on Endangered Humpback Chub and other Native Species in the Little Colorado River, Arizona. *Transactions of the American Fisheries Society*, 126: 343–346.
- Martinez-Palacios, C. A., & L. G. Ross, 1988. The feeding ecology of the Central American cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Journal of Fish Biology*, 33(5), 665–670.
- Morais, P., & M. Reichard, 2018. Cryptic invasions: A review. *Science of the Total Environment*, 613, 1438–1448.
- Nehring, S., & J. Steinhof, 2015. First records of the invasive Amur sleeper, *Perccottus glenii* Dybowski, 1877 in German freshwaters: a need for realization of effective management measures to stop the invasion. *BioInvasions Record*, 4(3).
- Nyeste, K., S. Kati, S. A. Nagy, & L. Antal, 2017. Growth features of the Amur sleeper, *Perccottus glenii* (Actinopterygii: Perciformes: Odontobutidae), in the invaded Carpathian Basin, Hungary. *Acta Ichthyologica et Piscatoria* 47: 33–40.
- Oksanen, J., F. G. Blanchet, F. Michael, K. Roeland, P. Legendre, D. McGlenn, P. R. Minchin, R. B. O'Hara, G. L. Simpson, P. Solymos, M. H. H. Stevens, E. Szoecs, & H. Wagner, 2020. vegan: Community Ecology Package. R package version 2.5-7.
- Panagiotakopulu, E., & A. C. Garcia, 2023. Two Azores shipwrecks and insect biological invasions during the Age of Discovery. *Biological Invasions*, 25: 2309–2324.
- Polis, G. A., & R. D. Holt, 1992. Intraguild predation: The dynamics of complex trophic interactions. *Trends in Ecology and Evolution*, 7(5) 151–154.
- Polis, G. A., C. A. Myers, & R. D. Holt, 1989. The ecology and evolution of intraguild predation: potential competitors that eat each other. *Annual review of ecology and systematics* 20: 297–330.
- R Core Team., 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria.
- Reshetnikov, A. N., 2003. The introduced fish, rotan (*Perccottus glenii*), depresses populations of aquatic animals (macroinvertebrates, amphibians, and a fish). *Hydrobiologia*, 510(1), 83–90.
- Reshetnikov, A. N., 2008. Does rotan *Perccottus glenii* (Perciformes: Odontobutidae) eat the eggs of fish and amphibians? *Journal of Ichthyology* 48(4): 336–344.
- Sály, P.; Erős, T. 2016. Vízfolyások Ökológiai Állapot-minősítése Halakkal: Minősítési Indexek Kidolgozása. *Pisces Hungarici* 10, 15–45.
- Scharf, F. S., F. Juanes, & R. A. Rountree, 2000. Predator size - Prey size relationships of marine fish predators: Interspecific variation and effects of ontogeny and body size on trophic-niche breadth. *Marine Ecology Progress Series Inter-Research* 208: 229–248.
- Simberloff, D., J. L. Martin, P. Genovesi, V. Maris, D. A. Wardle, J. Aronson, F. Courchamp, B. Galil, E. García-Berthou, M. Pascal, P. Pyšek, R. Sousa, E. Tabacchi, & M. Vilà, 2013. Impacts of biological invasions: What's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution* 28: 58–66.
- Soto, I., Balzani, P., Carneiro, L., Cuthbert, R. N., Macêdo, R., Serhan Tarkan A.Ahmed D. A.Bang A.Bacela-Spychalska K.Bailey S. A.Baudry T.Ballesteros-Mejia L.Bortolus A.Briski E.Britton J. R.Buřič M.Camacho-Cervantes M.Cano-Barbacid C.Copilaş-Ciocianu D.Coughlan N. E.Courtois P.Csabai Z.Dalu T.De Santis V.Dickey J. W. E.Dimarco R. D.Falk-Andersson J.Fernandez R. D.Florencio M.Franco A. C. S.García-Berthou E.Giannetto D.Glavendekic M. M.Grabowski M.Heringer G.Herrera I.Huang W.Kamelamela K. L.Kirichenko N. I.Kouba A.Kourantidou M.Kurtul I.Laufer G.Lipták B.Liu C.López-López E.Lozano V.Mammola S.Marchini A.Meshkova V.Milardi M.Musolin D. L.Nuñez M. A.Oficialdegui F. J.Patoka J.Pattison Z.Pincheira-Donoso D.Piria M.Probert A. F.Rasmussen J. J.Renault D.Ribeiro F.Rilov G.Robinson T. B.Sanchez A. E.Schwindt E.South J.Stoett P.Verreycken H.Vilizzi L.Wang Y.Watari Y.Wehi P. M.Weiperth A.Wiberg-Larsen P.Yapıcı S.Yoğurtçuoğlu B.Zenni R. D.Galil B. S.Dick J. T. A.Russell J. C.Ricciardi A.Simberloff D.Bradshaw C. J. A.Haubrock P. J. & Haubrock, P. J. 2024. Taming the terminological tempest in invasion science. *Biological Reviews* 4(99): 1357–1390.
- Spanovskaya, V. D., K. A. Savvaitova, & T. L. Potapova, 1964. Variation of rotan (*Perccottus glehni* Dyb., fam. Eleoteridae) in acclimatization. *Voprosy Ichtiologii* 4(4): 632–643.
- Takács, P., I. Czeglédi, Á. Ferincz, P. Sály, A. Specziár, Z. Vitál, A. Weiperth, & T. Erős, 2017. Non-native fish species in Hungarian waters: historical overview, potential sources and recent trends in their distribution. *Hydrobiologia* 795, 1–22.
- Takács, P., & Z. Vitál, 2012. Amurgéb (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) a Duna mentén. *Halászat* 105/14: 16.
- Takács, P., Z. Vitál, Z. Poller, G. Paulovics, Á. Ferincz, & T. Erős, 2012. Az amurgéb (*Perccottus glenii*) új lelőhelyei a Balaton vízgyűjtőjén. *Halászat* 105/3: 16.
- Wallace, R. K., 1981. An assessment of diet-overlap indexes. *Transactions of the american fisheries society* 110: 72–76.