

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.
- ❖ *Állatjóléti 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 gyöngyagylóval 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.

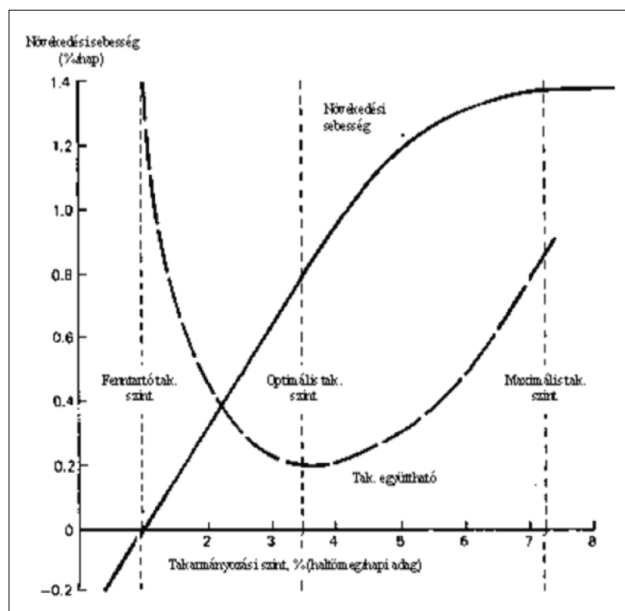
A fenntartható akvakultúrával kapcsolatos további részletes és vonatkozó általános információk számos publikációban megtalálhatók, többek között Costa-Pierce (2002), "SustainAqua" (2009), Shepon et al. (2021), Austin et al. (2022), Pounds et al. (2022), Barbosa et al. (2024), Garlock et al. (2024), Keer 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 kétszegtelenül 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 vizsgálnak. 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 hidrolízisére alkalmazott többenzimes stratégia alkalmazása bizonyítottan hatékonyabb, mint az egyenzimes megközelítés a halliszt helyettesítésére. Kimutatták, hogy a proteázzal kezelt szójaliszt a pisztrángsügér (*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 pisztrángsügér 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 ellenállóképességet. 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 tápjaiban. 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 veszélyezett 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 növekedésserkentő 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/0c9d01861ef6a0c6d5304fb41449c0524e4c44a5>.
- 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., Ferozekhan, 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) *Haltényszéztés. 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., Bercesényi 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”.