

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar
Idegen Nyelvi Tanszék
Szakfordító Szakirányú Továbbképzés

Képesítőfordítás

The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets

**A vízi állatok termelése során használt fehérjék jövője: Az akvakultúrában
használt takarmányok fehérjéinek lehetséges forrásai**

Készítette:

Lefler Kinga Katalin

C9R2X4

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
okleveles agrármérnök

A felvétel alapjául szolgáló diplomához kötődő szakfordító szakirányú továbbképzés nappali tagozatának teljesítése céljából

Konzulensek:

Dr. Horváth Ákos (külső konzulens)

Dr. Veresné Dr. Valentinyi Klára (belső konzulens)

Gödöllő
2023.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni oktatóinknak, hogy sok hasznos információval gazdagodhattunk az elmúlt másfél év alatt, hogy rugalmasan és lojálisan álltak hozzá családi köteleinkhez és teljes mértékben támogattak, hogy befejezhessük a képzést.

Köszönöm szakvezetőnknek, **Dr. Veresné Dr. Valentinyi Klárának** a felkészülésünkben való segítségnyújtásait, tanácsait és biztató szavait arra vonatkozóan, hogy meg tudom csinálni a nehézségek ellenére.

Köszönöm **Dr. Horváth Ákosnak**, hogy bármikor fordulhattam hozzá a kérdéseimmel és lelkiismeretesen véleményezte fordításom szegmenseit.

Szeretnék köszönetet mondani **férjemnek**, aki hatalmas háttérsegítséget nyújtott a családi életben a képzés alatt, töretlenül mellettem állt a dolgozat készítése közben, bármilyen nehézségbe ütköztem és bátorított, hogy be tudom fejezni a képzést.

Tartalomjegyzék

| | |
|--|------------|
| 1. Fordítói elemzés..... | 4 |
| 1.1. A szöveg fontosabb adatai..... | 4 |
| 1.1.1 Műfaji jellemzés..... | 5 |
| 1.2. Kommunikációs szint..... | 5 |
| 1.2.1. A fordítási utasítás..... | 5 |
| 1.2.2 A szerzők..... | 6 |
| 1.2.3. Írói szándék és attitűd..... | 6 |
| 1.2.4. A célközönség..... | 6 |
| 1.2.5. A szöveg szakterülete..... | 7 |
| 1.2.6. A szöveg típusa..... | 7 |
| 1.3. A szöveg műfaja és a műfaj jellemzői..... | 8 |
| 1.3.1. Általános jellemzők, nyelvezet..... | 8 |
| 1.3.2. Grammatikai regiszter, stílus..... | 9 |
| 1.3.3. Lexikai regiszter, stílus..... | 9 |
| 1.3.4. Gépi fordítás tapasztalatai..... | 10 |
| 2. Terminológiagyűjtemény..... | 12 |
| 3. Terminológia kezelésének és fordításának dokumentálása..... | 13 |
| 4. A forrásnyelvi szöveg..... | 30 |
| 5. A célnyelvi szöveg..... | 49 |
| 6. Forrásnyelvi és célnyelvi szöveg szegmensenként..... | 69 |
| 7. Forrásnyelvi és célnyelvi 2000 karakteres szöveg fordítói megjegyzésekkel, minimális és maximális utószerkesztésekkel..... | 106 |
| Felhasznált irodalom..... | 112 |
| Nyilatkozatok..... | 114 |
| Szerzői nyilatkozat..... | 115 |
| Engedélykérés..... | 116 |
| Konzulensi nyilatkozat..... | 117 |

1. Fordítói elemzés

1.1. A szöveg fontosabb adatai

Eredeti cím: The future of of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets

Célnyelvi cím: A vízi állatok termelése/tenyésztése során használt fehérjék jövője: Az akvakultúrában használt takarmányok fehérjéinek lehetséges forrásai

Szerzők: Katheline Hua, Jennifer M. Cobcroft, Andrew Cole, Kelly Condon, Dean R. Jerry, Arnold Mangott, Christina Praeger, Matthew J. Vucko, Chaoshu Zeng, Kyall Zenger, and Jan M. Strugnell

Az eredeti megjelenés helye: One Earth 1, Published by Elsevier Inc. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Nemzetközi tudományos folyóirat. (Az Elsevier a világ egyik leggyorsabban növekvő, legnagyobb és legkiválóbb nyílt hozzáférésű folyóirat kiadója).

Kiadás dátuma: 2019. november 22.

Témája: A vízi állatok termelésének hozzávetőlegesen 70%-a akvakultúrából származik, amelynek során az állatokat magas fehérjetartalmú takarmányokkal látják el. Jelenleg a keveréktakarmányok halliszten és vadon befogott takarmányhalakból származó halolajon alapulnak. A takarmányhalak növekvő felhasználása azonban nem fenntartható, így alternatív fehérjeforrásokra van szükség. A növényi alapú összetevőkön túl a halászati és akvakultúra melléktermékei, valamint a rovarlisztek rendelkeznek a legnagyobb lehetőséggel a vízi takarmányok által igényelt fehérje biztosítására a következő 10–20 évben. Az élelmiszerhulladék szintén potenciállal rendelkezik a nyers hulladékanyagok biotranszformációja és/vagy biokonverziója révén, míg a mikrobiális és makroalgák biomasszája korlátokba ütközik a méretezhetőség és a fehérjetartalom tekintetében.

Ebben a tanulmányban leírjuk a takarmányozott akvakultúra hatékonyságának javításának lehetőségeit, és megvitátjuk az akvakultúra-ágazat társadalmilag és környezetileg fenntartható

jövőjét biztosító alternatív fehérjeforrások fejlesztését és optimalizálását az akvakultúra számára. A publikáció címe nagyon jól lefedi annak tartalmát.

1.1.1 Műfaji jellemzés

A szöveg műfaja: tartalomközpontú, tudományos publikáció.

A szöveg nyelve: szaknyelv, tudományos, néhol bonyolult összetett, szakmai mondatokat tartalmaz, de tartalmaz könnyedebb, olvasmányosabb (példák esetében) részeket is.

A szöveg szerkezete: időrendi bemutatás. Szerkesztését tekintve néhol több hasábos, ahol párhuzamos, kiegészítő információkat közöl a szerző (táblázatok és ábrák is találhatóak benne).

A szöveg nehézsége: nehéz, bonyolult.

1.2. Kommunikációs szint

1.2.1. A fordítási utasítás

Mivel a fordítás a képzés keretei között zajlott, fordítási utasítást (megbízást) nem kaptunk. A fordítandó szöveget konzulensem választotta nekem, de igyekezett, hogy a fordítás témája kutatási területemnek és érdeklődési körömnek is megfelelő legyen. Valójában ez az első nagyobb lélegzetvételű fordításom és szempont volt az is, hogy elegendő mennyiségű párhuzamos szöveg és ismeretanyag (hazai, de leginkább nemzetközi) álljon rendelkezésemre. A választott cikk esetében ez megvalósult, hiszen napjainkban egy igen fontos és jelentős problémával foglalkozik, amit nem hagyhatunk sem hazai sem nemzetközi viszonylatban figyelmen kívül. Számos külföldi irodalom, monográfia és akvakultúrán alapuló cikk foglalkozik a vízi termelésben használt takarmányok fehérje forrásainak alternatív megoldásaival.

A szöveg szerkesztésével akadtak kisebb gondjaim. Az dolgozathoz előírt 2,5 cm-es margó nem tette lehetővé az eredetivel száz százalékban megegyező formátumot. Az olvashatóság érdekében kissé növelnem kellett a betűméretet, illetve a szöveget PDF-ről átkonvertálva kiderült, hogy a Word-ben nem található meg a cikkben alkalmazott betűtípus. Mindezek ellenére a szövegeket próbáltam az eredetivel leginkább megegyező formára szerkeszteni.

A kommunikációs funkciója: elbeszélő, leíró

A szöveg megjelenési módja: írott (és on-line is elérhető).

A szöveg kommunikációs színtere: tudományos.

A szöveg szakterülete: természettudományi, biológia és ökológia, illetve takarmányozási-állattenyésztési vonatkozású.

Megbízó: elképzelt állattenyésztési/akvakultúra takarmányozási szaklap szerkesztője.

1.2.2 A szerzők

A cikk szerzői a fenntartható halászat és akvakultúra (garnélaráktenyésztés), valamint a különböző erőforrások és felhasználásuk témakörével foglalkozó James Cook Egyetem szingapúri (James Cook Egyetem, Szingapur) és ausztrál (James Cook Egyetem, Ausztrália) kutatócsoportjainak tagjai (http1). A társszerzők kivétel nélkül ennek az Egyetemnek a szakképzett munkatársai és professzorai.

http1: <https://www.jcu.edu.au/tropical-fisheries-and-aquaculture/our-people/academic-staff/>

http2: <https://research.jcu.edu.au/portfolio/jan.strugnell/>

Retorikai cél: ismeretterjesztés. Az akvakultúrában egyre inkább problémaként felmerülő fehérjeforrás utánpótlás nehézségeinek és lehetséges megoldásainak bemutatása a cél.

1.2.3. Írói szándék és attitűd

Az írói szándék feltételezhetően elsősorban az információk átadása és a figyelemfelkeltés. A szöveg egy olyan tudományos szakcikk, amely összegzi az akvakultúrában eddig használt fehérjék forrásainak megfogatkozását és új, lehetséges források alkalmasságát, alkalmazhatóságát tárja az olvasók elé. Ennek megfelelően az írók nem azonosultak a tartalommal, ehelyett az objektív ismeretközlésre törekedtek, melyet teljes mértékben sikerült közölniük.

1.2.4. A célközönség

A szöveg a téma iránt érdeklődő szakemberek szélesebb körét célozza meg. Egy olyan áttekintést nyújt az akvakultúrában eddig használt fehérjeforrások megfogatkozásáról valamint a jövőben alkalmazható lehetséges alternatív fehérjeforrások hatásairól, amely a

kutatókat, illetve a szakterület komolyabb érdeklődőit segíti eligazodni a témán belül. A célközönség köre természetesen meghatározta a fordítói döntéseimet is. Elsősorban abban, hogy a szakszavaknak gyakran az idegenes alakját alkalmaztam. Például bioremediáció, azaz veszélyes anyagok lebontása nem mérgező anyagokká a biotechnológia segítségével pl. x szegmens, az alábbi példa szerint:

*FNy: While detailed knowledge is required to balance multiple species, these systems have the added benefits of nutrient **bioremediation** and positive consumer perception.*

*CNy: Bár több faj termelési egyensúlyának megértéséhez részletesebb ismeretekre van szükség, azonban ezeknek a rendszerek további előnye a **tápanyag-bioremediáció** és a pozitív fogyasztói megítélés*

Illetve több helyen eltekintettem a szaknyelvi terminusok (pl. pellet-labdacs) magyarázó fordításától. Bár esetenként, ahol a magyarázat beszúrását egyszerűen meg lehetett oldani és így a szöveg is könnyebben érthetővé vált, kivételt tettem_(Pl.: aquaculture species – akvakultúrában termelt fajok).

1.2.5. A szöveg szakterülete

A szöveg természettudományi szakterületen íródott, ezen belül állattenyésztés és takarmányozás témát ölel fel. Az akvakultúrában az állatokat magas fehérjetartalmú takarmányokkal látják el, és jelenleg a keveréktakarmányok halliszten és vadon befogott takarmányhalakból származó halolajon és halfehálaérijén alapulnak. A takarmányhalak növekvő felhasználása azonban nem fenntartható, mivel 2025-ig további 37,4 millió tonna vízi takarmányra lenne szükség, így alternatív fehérjeforrásokra van szükség. A növényi alapú összetevőkön túl a halászati és akvakultúra melléktermékei, valamint a rovarlisztek rendelkeznek a legnagyobb lehetőséggel, hogy lehetséges forrásai legyenek az akvakultúra termelésnek.

1.2.6. A szöveg típusa

A szöveg erősen szakmai, ezáltal tipikusan tartalomközpontú és leíró jellegű. Meglehetősen nehéz és nagy komplexitással rendelkező takarmányozástani szakszövegről van szó. A fordítás emiatt kevés kreativitást engedett meg, egyértelmű volt, hogy idegenítő fordítást szükséges alkalmaznom. Törekedni kellett az információk minél pontosabb átadására a tartalmi veszteség kiküszöbölése miatt. Ennek érdekében a szövegre jellemző, hogy a:

A szöveg típusa: tartalomközpontú

A szöveg kifejezésének módja: leíró, elbeszélő

A szöveg kifejezésének logikája: kifejtő, magyarázó

A szöveg retorikai célja: ismertetés, ismeretterjesztés (lásd fent)

A szöveg expresszív-stilisztikai jegyei: stilisztikailag nem színezett szöveg

1.3. A szöveg műfaja és a műfaj jellemzői

1.3.1. Általános jellemzők, nyelvezet

A szöveg műfaja összefoglaló szakcikk (*review*), ennek megfelelően lényegretörő és tárgyilagos nyelvezetű. A mondatok információtartalma jóval jelentősebb hangsúly kapott, mint a könnyű olvashatóság, gördülékenység. Felépítése azonban jól szerkesztett, logikus, jól megfigyelhető a tematikus progresszió. Szinte minden egyes bekezdés egy tételmondatból indul, majd a bekezdés további részében megtörténik a tételmondat magyarázata, illetve bővebb kifejtése. Egy véletlenszerűen kiválasztott példa erre, melyben a tételmondat a következő (15. szegmens):

FNY: *In fact, aquaculture has been the fastest growing food production sector by annual growth rate over the last three decades, with annualized growth rates of 10% in the 1990s and 5.8% yearly between 2000 and 2016.*

CNY: *Valójában, az éves növekedési ütemét tekintve, az akvakultúra volt a leggyorsabban növekvő élelmiszertermelési ágazat az elmúlt három évtizedben, az 1990-es években 10%-os éves növekedési rátával, 2000 és 2016 között pedig évi 5,8%-kal.*

Ennek kifejtése, illetve magyarázata alapján a szerzőgárda szám adatokkal támasztja alá az érzékelhetőségét az élelmiszertermelési ágazatban bekövetkező változásnak, amit az akvakultúra fellendülése okozott az utóbbi évtizedben. Gyakorlatilag globális vonatkozásban ad képet a világot érintő élelmiszerellátási változásokról, és szám adatokkal támasztja alá ezt a kijelentését.

1.3.2. Grammatikai regiszter, stílus

A szövegben gyakoriak a hosszú, többszörösen összetett mondatok, pl.:

FNy: A sustainable solution would be for farmed animals to be fed renewable plant-sourced and emerging alternative protein and oil products, while at the same time improving FCRs and other production traits through husbandry, species-specific feed formulation, functional feed additives, and selective breeding practices and their interaction (i.e., genotype × diet interaction).

CNy: Fenntartható megoldást jelentene, ha a tenyésztett állatokat megújuló növényi eredetű és újonnan megjelenő alternatív fehérje- és olajtermékekkel takarmányoznánk. Az ilyen típusú takarmányozás mellett a nevelési technológia, a fajspecifikus takarmányelőállítás, a funkcionális takarmányadalékok, a szelektív tenyésztési gyakorlatok és ezek kölcsönhatása (azaz a genotípus x takarmányhasznosulás kölcsönhatása) révén javíthatjuk eredményesen az FCR-t és más termelési jellemzőket. (190. szegmens).

A műfaj (áttekintő szakcikk) jellegéből adódóan rengeteg hivatkozást tartalmaz, amely akadályozhatja a gördülékeny olvasást. Ilyenkor célszerűbb a hivatkozásoknak egy sorszámot adni, és csak azokat használni a szövegben. Ezt azonban az adott folyóirat határozza meg, nem szerzői döntés. A képezítőfordításra kapott szakcikk ezt a megoldást alkalmazza.

A tudományos cikkekre jellemzően, nagyon sok passzív (műveltetés) szerkezetű mondatot van a szövegben. Tőmondatok és a rövid határozott jellegű mondatok a követendők.

1.3.3. Lexikai regiszter, stílus

A szöveg formális stílusban íródott, nagyon sok szakszót (szó szerkezetet és szókapcsolatot) tartalmaz. Gördülékenység és logikusan felépített mondatfűzések jellemzik a szövegtörzset. A cikk témája szakmán belül viszonylag “széles” témakörnek számít, így számos párhuzamos szöveget találtam, ami jelentős könnyebbséget jelentett a fordítás során. Fordítási nehézséget éppen emiatt leginkább nem is a terminusok megfelelő fordítása okozta, hanem a hosszú, többszörösen összetett mondatok logikai értelmezése és visszaadása. Emiatt előfordult, hogy egy-egy angol nyelvű mondatból két vagy akár több (esetenként többszörösen összetett) magyar mondatot alkottam. Például:

FNY: *Given the projected increase in production of these species and associated aquafeed demand, substituting fish meal by alternative protein sources in these diets will result in a considerable reduction in the total quantity of fish meal used.*

CNY: *Az előrejelzések szerint az előbb felsorolt édesvízi fajoknak a termelési mennyiségeinek növekedésére lehet számítani, amelyhez szorosan kapcsolódik a fokozódó takarmány igény is. A halliszt alternatív fehérjeforrásokkal való helyettesítése ezekben a takarmányokban a felhasznált halliszt teljes mennyiségének jelentős csökkenését eredményezi.*

(237. szegmens).

Vagy plusz magyar magyarázatra szoruló angol mondat például:

FNY: *Therefore, the inclusion of even low levels of fish meal results in substantial quantities of fish meal overall.*

CNY: *Az alacsonyabb halliszt mennyisége a takarmányban jelentős mennyiségű hallisztet eredményez a végtermékben.* (236. szegmens)

1.3.4. Gépi fordítás tapasztalatai

Az esetek többségében a Deepl fordítót hívtam segítségül. Alapvetően nem voltak rosszak a tapasztalataim, de sok esetben nem volt egyértelmű, tartalmilag megfelelő a fordítás. Volt olyan eset, amikor az egész szegmensen belül jól fordított, helyes volt a szórend és megfelelő a szegmens értelmezése. De voltak olyan szegmensek és mondatok, leginkább a hosszú körmondatok esetében, amikor rosszul értelmezte a gép a mondat logikáját és az üzenetét. A gépi fordítómotor továbbá nem tudja értelmezni a szöveg érzelmi konnotációját, jelentéseit. Több tartalmi félrefordítás volt a konklúzióknál. A gépi fordítómotor többször félrefordította a szakzsargont, amely egy igen szűk szakmai terület szakmai nyelvhasználatát tükrözte.

Pozitív tapasztalataim alapján viszont a terminus kezelése nem kifejezetten rossz, néhány esetet tekintve kifejezetten jó az akvakultúra szakterületein belüli szakszavak alkalmazása. A szövegösszefüggés és kohézió esetében sajnos sok esetben használhatatlan volt a gépi fordítás.

Azonban találtam megfelelő gépi fordítást is:

FNY: *Modern aquafeeds are a sophisticated, engineered mix of ingredients (raw materials) that provide the nutritional requirements that facilitate the intensive and efficient production of aquaculture species.*

CNY: *A modern aquakultúrában használt tápok olyan összetevőket (nyersanyagokat) tartalmaznak, amelyek olyan tápanyagigényt biztosítanak, amely elősegíti az akvakultúrában tenyésztett fajok intenzív és hatékony termelését.* (Szövegdoboz 1)

Bár a gépi fordítómotor szó szerinti tükörfordítást adott, mégis ezekben az esetekben a mondatok fordítása helyes.

FNY: *At present, soybean meal is a primary source of vegetable protein in aquafeeds*

CNY: *Jelenleg a szójaliszt a növényi fehérje elsődleges forrása a haltakarmányokban.* (197. szegmens)

vagy

FNY: *Consumer acceptance also varies among these raw materials.*

CNY: *A fogyasztói elfogadottság is eltérő az egyes nyersanyagok esetében.* (243. szegmens)

Terminológia: nem állt rendelkezésre terminológiai adatbázis, meg kellett alkotni.

2. Terminológiagyűjtemény

A fejezetben bemutatott terminusok felsorolását az alábbi táblázat tartalmazza:

| Forrásnyelvi terminus | Célnyelvi terminus |
|------------------------------|---|
| 1. aquaculture | akvakultúra |
| 2. aquafeed | haltakarmány |
| 3. pellet | labdacs, golyócska |
| 4. microbial biomass | mikrobiális biomassza |
| 5. detritivores | törmelékevők |
| 6. seafood labeling | tengeri eredetű élelmiszerek címkézése |

3. Terminológia kezelésének és fordításának dokumentálása

1. terminus: aquaculture - akvakultúra

Szófaj: noun, főnév

Angol terminus: aquaculture

Definíció: Aquaculture: 1. **Aquaculture** (less commonly spelled **aquiculture**), also known as **aquafarming**, is the controlled cultivation ("farming") of aquatic organisms such as fish, crustaceans, mollusks, algae and other organisms of value such as aquatic plants (e.g. lotus).

Aquaculture involves cultivating freshwater, brackish water and saltwater populations under controlled or semi-natural conditions, and can be contrasted with commercial fishing, which is the harvesting of wild fish.

Mariculture, commonly known as marine farming, refers specifically to aquaculture practiced in seawater habitats and lagoons, as opposed to freshwater aquaculture. Pisciculture is a type of aquaculture that consists of fish farming to obtain fish products as food.

Definíció forrása: In brief, The State of World Fisheries and Aquaculture, 2018 FAO, <https://www.fao.org/3/ca0191en.pdf>

2. Aquaculture is breeding, raising, and harvesting fish, shellfish, and aquatic plants. Basically, it's farming in water. U.S. aquaculture is an environmentally responsible source of food and commercial products, helps to create healthier habitats, and is used to rebuild stocks of threatened or endangered species.

Definíció forrása: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/aquaculture.html>

3. Aquaculture or farming in water is the aquatic equivalent of agriculture or farming on land. Defined broadly, agriculture includes farming both animals (animal husbandry) and plants (agronomy, horticulture and forestry in part). Similarly, aquaculture covers the farming of both animals (including crustaceans, finfish and molluscs) and plants (including seaweeds and freshwater macrophytes). While agriculture is predominantly based on use of freshwater, aquaculture occurs in both inland (freshwater) and coastal (brackishwater, seawater) areas.

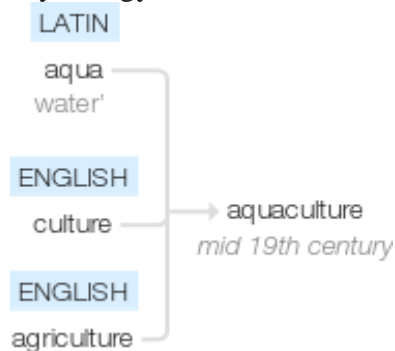
FAO (1988) introduced a definition of aquaculture which reduces its confusion with capture fisheries:

Aquaculture is the farming of aquatic organisms, including fish, molluscs, crustaceans and aquatic plants. Farming implies some form of intervention in the rearing process to enhance

production, such as regular stocking, feeding, protection from predators, etc. Farming also implies individual or corporate ownership of the stock being cultivated. For statistical purposes, aquatic organisms which are harvested by an individual or corporate body which has owned them throughout their rearing period contribute to aquaculture, while aquatic organisms which are exploitable by the public as a common property resources, with or without appropriate licences, are the harvest of fisheries.

Definíció forrása: <https://www.fao.org/3/x6941e/x6941e04.htm>

Etymology:



mid 19th century: from Latin *aqua* 'water' + culture, on the pattern of words such as *agriculture*

Statistical search: 59 900 000 (0,33 sec)

Kontextus: “**Aquaculture**, also called **fish farming**, **fish culture**, or **mariculture**, the propagation and husbandry of aquatic plants, animals, and other organisms for commercial, recreational, and scientific purposes. Aquaculture is an approximate aquatic equivalent to agriculture—that is, the rearing of certain marine and freshwater organisms to supplement the natural supply.”

Kontextus forrása: "Aquaculture, fishery"

<https://www.britannica.com/topic/aquaculture> Last Updated: Oct 5, 2023.

Magyar terminus: akvakultúra

Definíció: 1. Akvakultúra: a tengeri és édesvízi élőlények ellenőrzött körülmények közötti tenyésztését jelenti.

Definíció forrása:

https://www.parlament.hu/documents/10181/4464848/Infojegyzet_2020_71_halgazdalkodas_es_akvakultura.pdf

2. Az **édesvízi akvakultúra** érdekeinek érvényesítésére az Európai Unióban Magyarország több munkacsoportban és szakmai szervezetben képviselteti magát, például: „The Friends of Freshwater Fishes” (FFF), Agrárkutatói Állandó Bizottság Halászati Munkacsoportja (SCAR-Fish), Közép- és Kelet-európai Halászat Fejlesztéséért létrehozott Nemzetközi Szervezet (EUROFISH), Európai **Akvakultúra** Technológiai és Innovációs Platform (EATIP), Európai **Akvakultúra** Termelők Szövetsége (FEAP).

Statisztikai keresés: Nagyjából 295 000 találat (0,31 másodperc)

Kontextus: “A tengerparttal nem rendelkező uniós országok (Csehország, Magyarország, Ausztria és Szlovákia) összes halgazdasági terméke az **akvakultúrából** származik.”
„Magyarországon a halgazdálkodási ágazat magában foglalja a halastavak és zárt rendszerek haltermelését valamint a természetes vizekből történő horgászati tevékenységet is.”

Kontextus forrása:

https://www.parlament.hu/documents/10181/4464848/Infojegyzet_2020_71_halgazdalkodas_es_akvakultura.pdf



1. kép: Édesvízi és tengeri akvakultúra

forrás: <https://www.globalseafood.org/blog/what-is-aquaculture-why-do-we-need-it>
<https://www.britannica.com/topic/aquaculture>

Indoklás: Az angol és a magyar definíció, valamint a terminus szakirodalmi szövegkörnyezete is arra utalnak, hogy a forrásnyelvi és a célnyelvi fogalom, honosító fordítást alkalmazva,

teljesen fedi egymást. Ezért jelen esetben egyértelmű volt a magyar megfelelő megtalálása. Mikrostratégiai átváltási művelettel, honosító fordítást alkalmaztam.

A problémát az okozhatja, hogy magyarországi viszonylatban az akvakultúra szűkebb szegmensét használják, **édesvizi akvakultúra** meghatározással. Ezen definíción belül is leginkább a haltermelésre és a halászatra értendő ez a kifejezés. ok, szép

2. terminus: aquafeed – haltakarmány

Szófaj: noun, főnév

Angol terminus: aquafeed

Definíció: 1. “Aquafeeds refer to any feed given to aquatic farmed animals as part of aquaculture. Fish (both farmed and wild) require a balanced mix of essential nutrients such as amino acids, fatty acids, and vitamins to thrive.”

Definíció: 2. Sustainable aquafeeds provide a balanced mix of essential nutrients that farmed and wild fish need to thrive.

Definíciók forrása: <https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/5-things-know-about-aquafeeds>

Definíció: 3. The identification, evaluation, and development of ingredients is a key step in the development of effective formulation strategies for all **aquaculture feeds**.

Definíció forrása:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128008737000038>

Definíció: 4. Etymology: aqua + feed

aquafeed (countable and uncountable, plural **aquafeeds**), (agriculture) Any feed for aquatic organisms as part of aquaculture.

Definíció forrása: “A Novel Lipase as Aquafeed Additive for Warm-Water Aquaculture”, in *PLOS ONE*. Lastly, LipG1 was evaluated as an **aquafeed** additive for juvenile common carp (*Cyprinus carpio*). 2015 July 6,

Kontextus: “However, as the demand for these ingredients for aquafeeds and other livestock activities has increased, so has their cost, making its utilization in aquafeeds unprofitable”

Kontextus forrása: New additives and ingredients in the formulation of aquafeeds 2012. *Tacon A.G.J. and Metian M. (2008)* in Sustainable Aquafeeds Technological Innovation and Novel Ingredients, Edited By Jose M. Lorenzo, Jesus Simal-Gandara, Copyright 2022.

Statistical search: app. 1 310 000 (0,28 sec)

Magyar terminus: (hal)takarmány

Definíció: 1. takarmány, (tak-ar-mány) fn. tt. takarmány-t, tb. ~ok. A házi barmok, ú. m. ökrök, tehenek, juhok, lovak tartására begyűjtött eleség, vagyis széna, szalma, sarjú stb

Definíció forrása: osnyelv.hu

2.A takarmány fogalma: takarmányon azokat a növényi, állati vagy mikrobiális eredetű anyagokat értjük, amelyeket önmagukban vagy más anyagokkal kombinálva azért etetünk, hogy velük az állatok energia, fehérje, vitamin és ásványi anyag szükségletét kielégítsük.

Definíció forrása: A takarmányok ismeret és tartósításuk, A takarmányozástani előadások temetikája, Ménesgazda szak I. évfolyama, Kiadta: Szalainé Borbála, 2011

Kontextus: “A takarmány befolyásolja leginkább a halak növekedését, a környezeti hatást, valamint a termelési költségeket. Ahhoz, hogy megbecsüljük egy mintagazdaság környezeti hatását döntő fontosságú, hogy pontosan meghatározzuk a takarmánynak a vízminőségére gyakorolt hatását, az úgynevezett “takarmányhatást”, még mielőtt a víz keresztülhaladna a telep vízkezelésre használt víztisztító berendezésein.”

Kontextus forrása: https://haki.naik.hu/sites/default/files/uploads/2018-09/sustainaqua_handbook_hu.pdf

Statisztikai keresés: Nagyjából 8 660 találat (0,41 másodperc)

Indoklás: Az angol definícióból ugyan egyértelmű, hogy a kifejezés a vízi környezetben termelt/tenyésztett szervezetek takarmányát jelenti, azonban magyar vonatkozásban a haltakarmány kifejezésre semmilyen definíciót nem találtam. Ugyanakkor a fogalom általában a kontextusból könnyen érthető, és nem szorul különösebb magyarázatra. Mi több, magyar vonatkozásban szinte csak szövegekörnyezetben találtam megemlítve az adott definíciót. Magyar nyelvben azért is különösen fontos, hogy leszűkítsük a jelentését, mert magyarországi viszonylatban a vízi környezetben termelt szervezetek alatt kizárólag a halakat értjük és a szakma is ezt használja. Konzulensem szóbeli közlése alapján szűkítettem le a jelentését

teljesen a halak takarmányára, ahelyett, hogy a teljes vízi szervezetek takarmányának fordítottam volna a szövegben, ugyanis az akvakultúra, világszinten, sokkal jelentősebb hányada foglalkozik a haltermeléssel semmint az egyéb vízi szervezetek (rákok, kagylók, csigák, algák) termelésével. Szótári ekvivalenst használtam.

3. terminus: Pellet – labdac

Szófaj: noun, főnév

Angol terminus: Pellet

Definíció: “Usually a 1. small, 2. compressed, 3. symmetrical and 4. hard chunk of matter.”

Definíció forrása: <https://hu.glosbe.com/en/hu/pellet>

Kontextus: “Pellets were produced from feedstock at four different moisture content levels, through two press channel lengths and three replicate steady-state sampling periods. A total of 192 batches of 8 mm diameter **pellets** were produced within a press channel length and moisture content range of 30–60 mm and 9–17% respectively.”

Kontextus forrása: Agar, D. A., Rudolfsson, M., Kalén, G., Campargue, M., Perez, D. D. S., & Larsson, S. H. (2018). A systematic study of ring-die pellet production from forest and agricultural biomass. *Fuel Processing Technology*, 180, 47-55.

Statistical search: app. 268 000 000 (0,24 sec)

Magyar terminus 1. : labdac

Magyar terminus 2. : pellet (idegenszó átvétele)

Definíció és kontextus: “A **pellet** olyan 2. nagynyomáson préselt 5. szálás, rostos anyag, amelyet vagy 6. saját anyaga, vagy belekevert kötőanyag tart össze. A **pelletet** 1. néhány milliméteres átmérőtől több centiméteres átmérőig terjedő 4. anyagrudak alkotják az alapanyag és a használt pelletálási technológia függvényében. A gyógyszeriparban a **pellet** ún. felépítéses granulálással készült kompakt, sima felületű, 3. gömbszimmetrikus gyógyszerforma. Számos gyógyszerkészítmény tartalmaz **pelleteket** kapszulában, de tablettában is.”

Definíció és kontextus forrása: : A **pellet**. Kisalföld újság Építész Magazin III. évf./12. szám 16. oldal ISSN 1787-0674



2. kép Haltakarmány pellet szemcsék

forrás: <https://www.feed-pellet-mill.com/news/how-to-choose-feed-pellets.html>

Indoklás: Általános takarmányozási, és ezen belül haltakarmányozási, vonatkozásban is fontos ennek a főnévnek a jelentése. A takarmányozási gyakorlatban egyértelműen a 2. magyar terminust, azaz az idegenes alakot használják. Ráadásul a hazai irodalom, az egyértelmű terminushasználat miatt is, ugyancsak az idegenes alakot használja. Nagyjából 223 000 000 találat (0,31 másodperc).

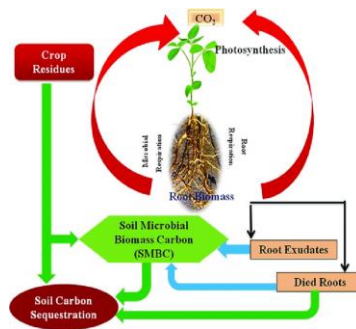
4. terminus: Microbial biomass – mikrobiális biomassza

Szófaj: noun

Angol terminus: microbial biomass (szószerkezetes szakkifejezés)

- **Microbial biomass** (bacteria and fungi) is a measure of the mass of the living component of soil organic matter.
- The **microbial biomass** decompose plant and animal residues and soil organic matter to release carbon dioxide and plant available nutrients.

Statistical search: app. 48 800 000 Google (0,38 másodperc)



3. kép A talaj biomasszája

forrás: https://www.researchgate.net/figure/Soil-microbial-biomass-carbon-and-sequestration-through-legumes_fig3_326230403

Kontextus: 1. The **microbial biomass** consists mostly of bacteria and fungi, which decompose crop residues and organic matter in soil.

Kontextus forrása: <https://www.soilquality.org.au/factsheets/microbial-biomass>

Magyar terminus: mikrobiális biomassza

Szófaj: főnév (szakmai szószerkezet)

Definíció: nehezen meghatározható a szószerkezet pontos definíciója, leginkább „mikrobákkal kapcsolatos”-ként tudnám értelmezni. Csak szövegkörnyezetben, kontextusban találtam meg a

teljes kifejezést az interneten, ezért következő lépésként a **mikroba** kifejezés pontos meghatározását kerestem.

Mikroba:

1.definíció: A **mikrobák** többnyire olyan organizmusok, melyek szabad szemmel nem láthatók. A földi élet nélkülözhetetlen elemei, melyek egyaránt lehetnek hasznosak (élelmiszergyártás) az ember számára, de ugyanakkor hátrányosak is (fertőző betegségek, ételmérgezések).

1.definíció forrása: <https://mtzrt.hu/mi-a-mikroba/>

2.definíció: Nagyon kis élőlény, amely szabad szemmel láthatatlan és gyakran betegségek előidézője; mikroorganizmus. (Általában többes számban használjuk.) A **mikrobák** közt találunk különféle baktériumokat és gombákat, de a vírusokat nem tekintik **mikrobáknak**. A **mikrobákat** mikroszkóppal vizsgálják. A **mikrobák** léte a mikroszkóp feltalálása előtt ismeretlen volt. Sok hasznos **mikroorganizmus** él az ember bélrendszerében. A tejet is **mikroorganizmusok** alakítják át aludttejjé. A képen **mikrobák** (baktériumok) láthatók 10000-szeres nagyításban, ahol minden egyes hengerszerű forma egy-egy **mikroba**.

Eredet [mikroba < francia: microbe (mikroba) < görög: mikrosz (kicsi, mikro) + biosz (élet)]

Eredet [mikroorganizmus < mikro- (kicsi) + organizmus]

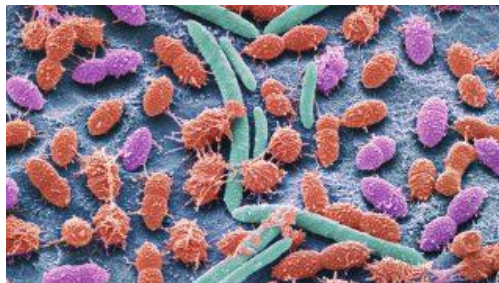
2.definíció forrása: <https://wikiszotar.hu/ertelmezo-szotar/Mikroba>

3.definíció: **mikroba** [o v. ó] főnév *..bát, ..bája* (rends. többes számban) (**biológia**)

Egysejtű növényi v. állati élőlény. A talajban levő mikrobák.

3.definíció forrása: <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/m-3C77D/mikroba-3FA4B/>

Statisztikai keresés: Nagyjából 5 820 000 Google találat (0,26 másodperc)



4. kép Mikroba

forrás:<https://24.hu/tag/mikroba/>

Indoklás: Ebből következik, hogy a mikroba=mikroorganizmus, azonban a „mikroorganizmos biomassa” kifejezést értelemszerűen nem használjuk, az interneten nem találtam meg ebben a formában.

Nagy valószínűséggel, a jelentéseiket figyelembevéve, a „mikrobiális” kifejezést a „mikroorganizmusokkal kapcsolatos” kifejezésként vezették be, az idegen nyelvből magyarosítva emelték át.

Ebből az következik, hogy a **mikrobiális biomassa** nem más, mint a mikroorganizmusok biomasszája, összessége, mely élő egészet alkot.

Statisztikai keresés: Nagyjából 9 710 Google találat (0,29 másodperc)

Kontextus: A **mikrobiális biomassa** kis sűrűségű, csekély mechanikai erősséggel és merevséggel rendelkező kicsiny részecskékből áll. A hagyományos operációs rendszerekben történő nagyterefogatú szennyvizek kezelése mikroorganizmusokkal nem praktikus, leginkább a szilárd/folyadék elválasztási problémáknak köszönhetően.

Kontextus forrása: <http://eta.bibl.u-szeged.hu> > [bioremediacio](#)

Kontextus: Jelen összefoglaló aktualitását az adja, hogy 30 évvel ezelőtt jelent meg a Jenkinson által vezetett rothamstedi kutatócsoport öt cikkből álló sorozata a Soil Biology & Biochemistry folyóiratban a **mikrobiális biomassa** kloroform fumigációs módszerrel történő meghatározásáról, illetve 40 éve az ezt megalapozó tanulmány.

Kontextus forrása: <https://core.ac.uk>

Indoklás: Mivel a terminusok alakta és jelentése megegyezik, a fordítás és értelmezhetősége ennek tudatában viszonylag egyszerű. Figyelembevéve a terminus szövegekörnyezetben való előfordulását és értelmét, valamint szakemberrel folytatott szakmai konzultációt követően a magyaros alak használatát alkalmaztam tükörfordításban. Mikrostratégiai terminusfordítási átváltási művelet, szótári alak.

5. terminus: detritivores – detritivorok vagy törmelékevők

Szófaj. noun, főnév

Angol terminus: detritivores

Definíció 1: A detritivore is a *heterotrophic organism*, which obtains its nutrition by feeding on *detritus*. Detritus is the organic matter made up of dead plant and animal material. Detritivores may also obtain nutrition by *coprophagy*, which is a feeding strategy involving the consumption of feces.

Definíció 2: Detritivores are often **invertebrate insects** such as mites, beetles, butterflies and flies; mollusks such as slugs and snails; or soil-dwelling earthworms, millipedes and woodlice.

Definíció 3: Examples of detritivores in marine environments are **crustaceans** such as crabs and lobsters, echinoderms such as sea stars or sea cucumbers. Many of these marine detritivores occupy a similar niche to terrestrial soil-dwellers, living on or within the seabed known as the *benthos*. These organisms are often called “bottom-feeders”. Alternatively in aquatic ecosystems, stationary polychaete worms, barnacles and some corals derive their energy through *filter feeding* on floating organic detritus called “marine snow”.

Definíció forrása: <https://biologydictionary.net/detritivore/>

Kontextus 1.: Detritivores are heterotrophic organisms that feed on detritus (decaying plant or animal matter). Detritivores may also obtain nutrition by coprophagy, which is a feeding strategy involving the consumption of feces.

Kontextus forrása: <https://soil.evs.buffalo.edu/index.php/Detritivores>

Kontextus 2.: In aquatic environments, detritivores are usually crustaceans, such as lobsters and fiddler crabs, or echinoderms, which include sea cucumbers or sea stars.

Kontextus forrása: <https://www.scienceabc.com/nature/animals/what-are-detritivores.html>

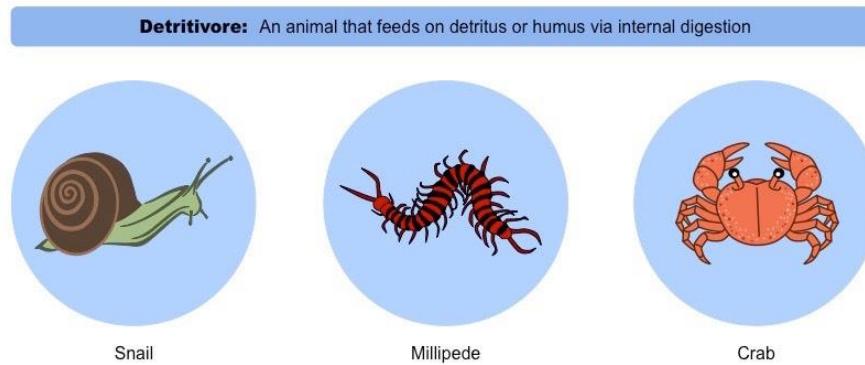
Magyar terminus: detritivorok vagy törmelékevők

Definíció 1.: A detritivorok olyan élőlények, amelyek szájon át elhalt szerves anyagokat vesznek fel, hogy tápanyagokat és energiát nyerjenek.

Definíció forrása: <https://microbiologynote.com/hu/decomposers/>

Definíció2.: A következő szint a törmelékevők, melyek nagy tömegben élő alsóbbrendű rákok, vízben élő rovarlárvák, üledéklakó férgek révén képviseltetik magukat ezen a szinten.

Definíció forrása: <https://ttmbio.hu/tudomany-a-horgaszat-vilagaban-4-resz/>



5. kép. Szárazföldi és vízi törmelékevők

forrás: <https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-4-ecology/41-species-communities-and/heterotrophs.html>

Indoklás: A környezettudományi szakirodalomban a „*detritivores*” kifejezés fordítására a „törmelékevők” kifejezés mellett a „detritivorok” kifejezést is használják. A cikkfordítása során én a magyaros alakot használtam, tehát lexikai cserét, illetve definíciószerű fordítást (makrostratégiai átváltási műveletet) alkalmaztam.

Statisztikai keresés:

törmelékevők: Nagyjából 520 találat (0,27 másodperc)

detritivorok: Nagyjából 6 070 találat (0,25 másodperc)

6. terminus: seafood labeling – tengeri eredetű élelmiszerek címkézése

Szófaj: noun, főnév, szó szerkezeti kapcsolat

Angol terminus: seafood labeling

Definíció 1.: Fish and shellfish products are subject to general labelling rules which apply to all foodstuffs, as well as some more specific regulations. Seafood traceability and labelling regulations ensure that seafood can be tracked through the supply chain and is described accurately to consumers. Seafood traceability is the ability to fully trace a product from the point of sale back to its point of origin. This is required to follow general food law, fisheries control and fish marketing.

Definíció forrás: <https://www.seafish.org/trade-and-regulation/seafood-traceability-and-labelling-regulations/the-fish-labelling-regulations/>

Kontextus: “There is strong interest from Australian seafood consumers for clear and reliable labelling of seafood products (i.e., including the species identity, country of origin and production method”

Kontextus forrása: ME Cundy, J Santana-Garcon, AG McLennan, ME Ayad, PE Bayer, M Cooper, S Corrigan. Seafood label quality and mislabelling rates hamper consumer choices for sustainability in Australia *Scientific Reports* volume 13, Article number: 10146 (2023)

Statistical search: app. 90 400 000 (0,21 sec)

Magyar terminus: tengeri eredetű élelmiszerek címkézése, nyomonkövethetősége

Definíció: Az EU-ban a halakat és a tengeri eredetű élelmiszereket rengeteg információval látják el. Ezek az információk növelik az átláthatóságot, és segítik a fogyasztókat választásuk megalapozásában.

A halászati és akvakultúra-termékek címkéin a következőknek kell szerepelniük:

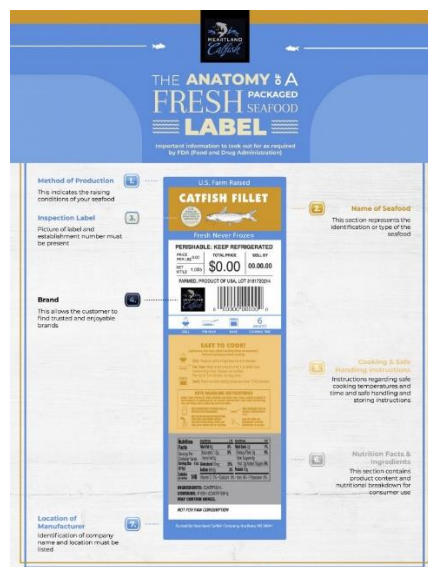
- A hal kereskedelmi megnevezése és tudományos neve.
- A termelés módja, amely ismerteti, hogy a hal tengervízben halászott, édesvízben halászott, vagy tenyésztett.

- Az a terület, ahol a terméket halászták vagy tenyésztették. Tengervízben halászott hal esetében a halászati körzetet azonosító kód.
- A hal kifogásához használt halászeszköz. Az alkalmazott halászeszköz rendkívül fontos a tengeri ökoszisztémára gyakorolt hatás szempontjából. A szelektív eszközök segítenek a célzott fajú és méretű halak kifogásában, ezáltal pedig a járulékos fogás (azaz a tengeri állatok és madarak nem szándékos kifogásának) elkerülésében.
- Az, hogy kiolvasztott termékről van-e szó.
- Minőségmegőrzési idő/fogyaszthatósági idő, hogy biztonságos élelmiszert fogyasszon.

Definíció forrása: https://taste-the-ocean.campaign.europa.eu/sustainable-fish-and-seafood_hu

Kontextus: “Azok a már tanúsított vállalatok, amelyek MSC készítményeket kívánnak használni, ún. lánc tanúsításnak vetik alá magukat, ami garantálja az MSC címkével ellátott tengeri eredetű élelmiszer nyomon követhetőségét, ezáltal biztosítva, hogy azt a nem tanúsított termékektől elkülönítve kezelik a termelési folyamat minden fázisában a halászhajótót egészen a fogyasztó tányérjáig. Ezek a vállalatok jogot szereznek arra, hogy termékeiken feltüntethessék az MSC logót. ”

Kontextus forrása: <https://eoq.hu/evik/evik06-2.pdf>



6. kép Tengeri eredetű élelmiszerek címkéje

forrás: <https://www.heartlandcatfish.com/the-anatomy-of-a-fresh-packaged-seafood-label/>

Indoklás: Az ok, amiért a „tenger gyümölcseinek címkézése” kifejezésre esett a választásom, hogy a definíció jóval többet jelent egy szókapcsolatnál. Ennek a fogalomnak a középpontjában maga az eredetmegjelölés áll, míg a befogadás inkább a az összes feltüntetendő információra utal és a cikkben a legtöbb esetben a globális jelentésre utal a szerző. Nagyjából 21 100 találat (0,25 másodperc).

4. A forrásnyelvi szöveg

The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets

Katheline Hua,^{1,2} Jennifer M. Cobcroft,² Andrew Cole,^{2,3} Kelly Condon,² Dean R. Jerry,^{1,2,4} Arnold Mangott,² Christina Praeger,^{2,3} Matthew J. Vucko,^{2,3} Chaoshu Zeng,² Kyall Zenger,^{2,4} and Jan M. Strugnell^{2,5,*}

¹Tropical Futures Institute, James Cook University, Singapore, Singapore

²Centre for Sustainable Tropical Fisheries and Aquaculture, James Cook University, Townsville, QLD 4810, Australia

³MACRO – Centre for Macroalgal Resources and Biotechnology, James Cook University, Townsville, QLD 4810, Australia

⁴ARC Research Hub for Advanced Prawn Breeding, Townsville, QLD 4810, Australia

⁵Twitter: @janstrugnell

*Correspondence: jan.strugnell@jcu.edu.au

<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>

Approximately 70% of the aquatic-based production of animals is fed aquaculture, whereby animals are provided with high-protein aquafeeds. Currently, aquafeeds are reliant on fish meal and fish oil sourced from wild-captured forage fish. However, increasing use of forage fish is unsustainable and, because an additional 37.4 million tons of aquafeeds will be required by 2025, alternative protein sources are needed. Beyond plant-based ingredients, fishery and aquaculture byproducts and insect meals have the greatest potential to supply the protein required by aquafeeds over the next 10–20 years. Food waste also has potential through the biotransformation and/or bioconversion of raw waste materials, whereas microbial and macroalgal biomass have limitations regarding their scalability and protein content, respectively. In this review, we describe the considerable scope for improved efficiency in fed aquaculture and discuss the development and optimization of alternative protein sources for aquafeeds to ensure a socially and environmentally sustainable future for the aquaculture industry.

Introduction

The growth of the human population leading into the middle of the 21st century poses significant challenges to the supply of high-quality, nutrient-rich food whereby a population of 9.7 billion by 2050¹ will require an increase in the supply of food by 25%–70%.² This is all in the face of a deteriorating natural resource base and competing interests for agriculturally based input commodities.³ Concurrent with population growth is the “rise of the middle class,” whereby increased affluence (mainly in China and southeast Asia) comes with a shift to diets that incorporate an increasing proportion of protein from animal sources.^{4–6} Although livestock food sectors are intensifying production in an attempt to meet demand, this comes with significant challenges including overgrazing, water shortages, and loss of natural biodiversity.^{3,7,8} It is now recognized that the farming of aquatic species (i.e., aquaculture) will provide an increasingly significant component of the global animal-derived protein budget. In fact, aquaculture has been the fastest growing food production sector by annual growth rate over the last three decades, with annualized growth rates of 10% in the 1990s and 5.8% yearly between 2000 and 2016.⁹ On an edible animal-source food basis, sector growth is second only to poultry.¹⁰

Aquaculture production can be classified as “unfed” or “fed.” Unfed aquaculture relies on supplying animals (e.g., filter-feeders such as silver carp, grass carp, and bivalves) with food from the production ecosystem itself.¹¹ Fed aquaculture is the largest and fastest growing component of the sector (excluding sea-weeds) and usually involves supplying animals with formulated aquafeeds or whole or processed fish. The diets of fed species have historically relied on high concentrations of fish meal (protein source) and fish oil (lipid source, typically rich in long-chain poly-

unsaturated fatty acids of the omega-3 series) derived from the capture of small pelagic fish, known as forage fish (Box 1). Unfortunately, the rapid rise of aquaculture has placed a significant amount of pressure on forage fish stocks,¹² whereby a peak in the wild fisheries production volume was reached in 1995 followed by a consistent decline.¹³ At the same time, global fish consumption is increasing at a rate of 1.5% per year on a per capita basis and wild fisheries currently are static.⁶ This raises concerns regarding the disruption of aquatic food webs and the sustainability of supply of this global commodity, whereby about 10% of fish biomass caught from wild-capture fisheries is used to feed high-value, and often carnivorous, species.⁹ High-value product is commonly exported to affluent countries, reflected in the value of seafood trade between global regions (Figure 1). However, the estimated domestic consumption of aquaculture production volume in 2011 was 85%–89% among the top ten aquaculture-producing countries (representing 87% of global aquaculture production, 51% of the total population, and 52% of the undernourished population),¹⁴ highlighting the importance of aquaculture (unfed and fed) for the provision of protein for human consumption (Figure 1). As such, the future expansion of the aquaculture industry is critical for sustained human nutrition, and a balance between the expanding production of resource-intensive carnivorous species and the continued production of high-yielding, low-value species (e.g., herbivores or detritivores) that support local communities is required¹⁵ (Figures 1 and 2).

Although the production of fish meal and fish oil from forage fish has been steadily decreasing over the last 20 years and the proportion of these ingredients within aquafeeds is demonstrating a downward trend, they are still important feed components for many carnivorous fishes and crustaceans.²⁰ The total



Box 1. Components of Aquafeeds beyond Dietary Protein

Fish are valuable sources of nutrients and micronutrients, and play an important role in human nutrition and the global food supply.^{9,16,17} In addition to being a rich source of high-quality protein and essential amino acids, fish are a dietary source of health-promoting omega-3 or n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-PUFA), eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), essential minerals (calcium, phosphorus, zinc, iron, selenium, and iodine), and vitamins (A, B, and D).⁹ Even with increased prevalence of alternative ingredients in aquafeeds, fish products from aquaculture must continue to maintain the levels of these fatty acids and micronutrients for healthy and nutritious human diets.^{9,18}

Modern aquafeeds are a sophisticated, engineered mix of ingredients (raw materials) that provide the nutritional requirements that facilitate the intensive and efficient production of aquaculture species. These raw ingredients include commodity meals, oils, vitamins, pigments, minerals, and concentrates, which, when combined, satisfy an organism's demand for macronutrients and micronutrients. In addition, these ingredients ensure rapid rates of growth, support animal health, and, importantly, result in a product with sensory and quality properties that meet consumer demands.

Traditionally, forage fish have been the foundation ingredient of aquafeeds, as they contain high-quality protein, micronutrients, and lipids, and are an important source of LC-PUFA. In addition to finding alternative sources of protein to alleviate the pressure on forage fish, we recognize that alternative sources of micronutrients and lipids will be essential.^{18,19} Fish-oil use in aquaculture is projected to increase by ~14% due to the growing demand in the marine finfish and crustacean aquaculture sectors as they expand.^{9,20,21} As such, global fish-oil supply is one of the limiting factors for the aquaculture feed industry.^{18,19,22} Alternative lipid sources to fish oil include vegetable oils, animal fats, single-cell oils, algae oils, transgenic oils, and fish byproduct oil.^{18,22} However, discussions of alternative lipid and micronutrient sources are beyond the scope of this review.

annual production of fish meal was ~4.5 million tons, and the total annual production of fish oils 0.9-million tons in 2016, of which 69% and 75%, respectively, are used in aquafeeds.²⁰ An additional 23% and 5% of this fish meal is used in pig and chicken feeds.²⁰ Notably, the total production of aquafeeds for all aquaculture species is predicted to increase by 75% from 49.7 million tons in 2015 to 87.1 million tons in 2025¹¹ (Figure 2). The volume of wild-caught forage fish required for this increase is unattainable based on current feed formulations, while uncertainty of future access to this resource is a key issue. The availability of sustainably fished small pelagics for fish meal and oil has not increased in 24 years,¹³ and their inclusion levels in aquafeeds must be decreased at a greater rate for aquaculture to provide an increasingly large proportion of healthy seafood to an expanding global population. A variety of plant protein ingredients (e.g., soybean meal, corn gluten meal, rapeseed meal) and animal byproducts (e.g., meat and bone meal, poultry meal) are being used as alternative protein sources to fish meal in aquafeeds. While these terrestrial, plant-based proteins (e.g., soy concentrate) will continue to be important components of aquafeeds, they have significant limitations, often containing anti-nutritional elements, and the industry itself has limited potential to expand production without putting additional stress on land, water, and phosphorous resources.²⁷ As such, to meet the demand of the additional 37.4 million tons of aquafeeds required by 2025, finding alternative, cost-effective sources of protein is critical. In this review we consider emerging, alternative feed ingredients to replace the protein provided by forage fish and highlight the opportunities and challenges to their implementation. We also suggest areas for improved efficiencies in aquaculture through breeding and disease resistance and suggest future directions to support the rapid and sustainable growth of the aquaculture industry.

Fishery and Aquaculture Byproducts

Fishery and aquaculture byproducts are the raw materials that remain after the industrial-scale processing of fish for human

consumption. After processing, between 50% and 70% of the byproducts are considered "inedible" and typically consist of trimmings (i.e., viscera, heads, skin, bones, and blood).²⁸ This inedible portion is increasingly being considered as a practical option to replace the use of fish meal from reduction fisheries (i.e., wild-catch specifically caught for producing fish meal) in aquafeeds.^{28–30} Currently, around 20% of the global production of fish meal is supplied through the use of fishery byproducts.^{9,31,32} Conversely, about 10% of the global production of fish meal is supplied through the use of aquaculture byproducts.^{9,31,32} The continual growth and intensification of the aquaculture industry therefore provides an opportunity to develop the processing capacity of aquaculture to intercept additional byproducts and increase the proportion used for fish meal. This would also result in additional advantages including increasing perceived environmental sustainability of the industry, providing economic and social benefits through the valorization of waste products and creating downstream processing jobs, which will ultimately contribute to the long-term sustainability of fed aquaculture.²⁸

The nutrient content of fish meal depends on the type of raw materials and manufacturing processes used in its production. In general, high-quality fish meal produced using whole fish contains 68%–74% crude protein, 8%–11% crude lipids, and <12% ash.³³ In contrast, fish meal produced from byproducts contains 52%–67% crude protein, 7%–14% crude lipids, and 12%–23% ash. For example, white fish meal produced from byproducts contains 60%–67% crude protein, 7%–11% crude lipids, and 21%–23% ash,^{18,34} and tuna fish meal produced from byproducts contains 57%–60% crude protein, 8%–14% fat, and 12%–21% ash.^{35–38} The lower protein content and higher ash content in byproduct fish meals are not unexpected, as the nutrient composition differs between whole fish, filets, and other parts of the body (viscera, heads, skin, bones, and blood). The different proportions of various byproducts that are used to produce fish meal will therefore also contribute to the nutrient variability of the fish meal made from byproducts.

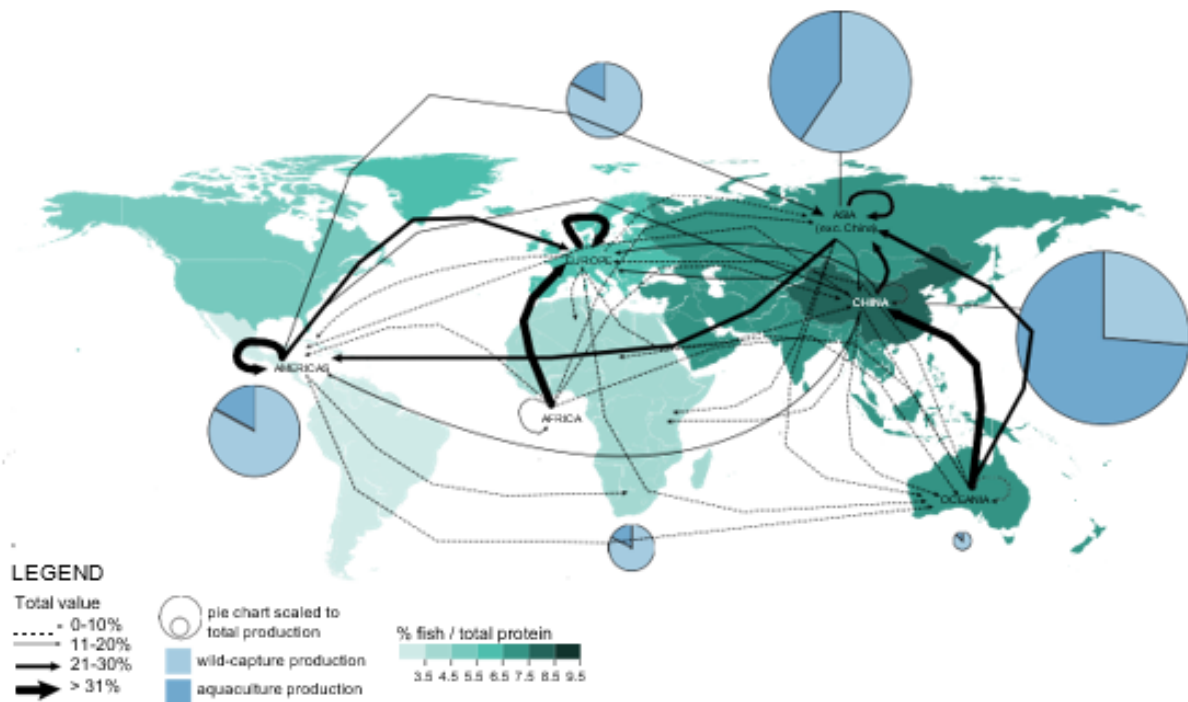


Figure 1. Aquaculture and Wild-Capture Fishery Production in Global Regions and Value of Seafood Flows

Production volume from global regions (pie charts) demonstrating the value of export flows (lines with arrows represent the percentage of the total value exported from each region), and the contribution of fish to human protein consumption (percentage of fish in total protein represented by each region's color). Data sources: aquaculture and wild-capture fishery production,²³ export flows,²⁵ and human consumption of protein from fish.²⁴

Despite this, fish meal derived from fishery and aquaculture byproducts has been successfully used in aquafeeds, and its use is common practice in some countries.^{6,12,31,32} Research on the nutritive values of byproduct fish meals has demonstrated their good potential as alternative raw materials. Fish meal from tuna byproducts can substitute 25%–30% of the protein from premium-grade fish meal without affecting the growth performance of spotted rose snapper (*Lutjanus guttatus*) when included at a rate of 15.8%–21.4%.³⁷ For olive flounder (*Paralichthys olivaceus*), 30% of fish meal could be substituted by tuna byproduct meal at a dietary inclusion rate of 21%.³⁸ For Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*), 75% of fish meal could be substituted by tuna byproduct meal at a dietary inclusion rate of 58.1%, without compromising growth and feed utilization.³⁹ The less than ideal nutritional profile of byproduct fish meals presents challenges in the complete replacement of high-quality fish meal. Nevertheless, byproduct fish meal is still a viable alternative to conventional fish meal, and, more importantly, is a more economical and sustainable protein source.³⁰

The industrial-scale production of fish meal and fish oil involves considerable capital investment and running costs,¹⁶ while prolonged economic efficiency requires a constant supply of raw materials in large volumes. These factors present significant challenges when it comes to byproducts,^{32,40} and it can be economically unjustifiable when raw materials need to be collected from fish-processing plants located in remote areas or when only small daily quantities are produced.^{28,30,40} As

such, fully benefiting from the use of byproducts will require a coordinated strategy to ensure that suitable facility infrastructures are available, that economies of scale can be achieved, and that transport networks are available—three factors that currently limit the use of aquaculture byproducts in some countries.²⁸ Regardless, the rising prices of fish meal and fish oil combined with positive consumer perception of byproducts will increase their viability. At present 7.5 million tons of byproducts are processed for the production of fish meal and fish oil, and it is estimated that an additional 11.7 million tons of byproducts are wasted.³² Since capture fisheries production and aquaculture production are projected to reach 91 and 109 million tons in 2030,⁹ respectively, there is enormous potential to increase the production volume of fish meal and fish oil from byproducts.

Food Waste

Food loss and food waste is estimated to be 1.3 billion tons per annum globally, accounting for 30% of all food produced.⁴¹ According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO),⁴¹ food loss is defined as any food lost in the supply chain and food waste is defined as discarded food items fit for human consumption. The share of food waste in municipal solid wastes can be >50% in some larger cities.⁴²

Since food wastes can be generated from various sources, their nutrient composition also varies considerably. The main nutrients in food wastes are proteins from fishmongers, carbohydrates from greengrocers, and fats from butchers, whereas the

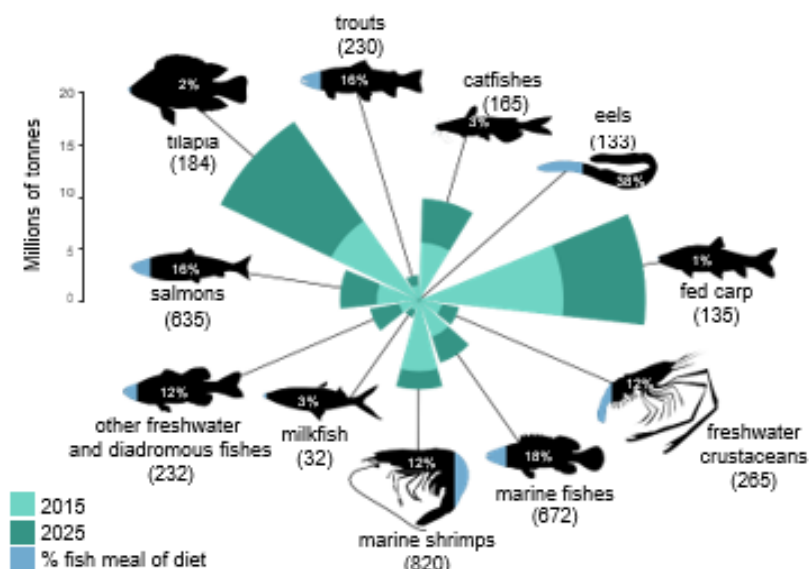


Figure 2. Projected Demand for Fish Meal in Fed-Aquaculture Diets

The estimated aquafeed volume demand (millions of tons) of the major fed-aquaculture species groups in 2015 and 2025, and the use of fish meal in the diet of each group in 2015 (represented by the blue portion of each animal). The values (percentage) inside each species group symbol are the estimated fish meal inclusion in 2015. The values in brackets beside each species group symbol are the estimated volume of fish meal included in the diets in 2015 (thousands of tons). Data sources: fish meal proportion in diets in 2015;⁴³ estimated aquafeed volume demand.¹¹

nutrients in household and restaurant wastes are mixed.⁴³ The crude fat and carbohydrate content in mixed food wastes can vary between 7%–12% and 52%–68%, respectively.⁴⁴ While the crude protein level can vary from 3% to 38% depending on the type of food waste, it is possible to reduce this variation to 20%–26% by industrial processing.⁴⁴

Food wastes have been used by some countries (e.g., China) in freshwater polyculture systems, but are not widely used within aquaculture feed pellets.⁴² The growth performance of the fish is highly dependent on the species being cultured and the type of food waste being used. Pellets containing 70% sorted food waste can support adequate growth of low-trophic-level fish, including grass carp (*Ctenopharyngodon idella*), bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*), and mud carp (*Cirrhinus molitor-ella*),^{45,46} but have also resulted in reduced growth performance in grass carp.⁴⁷ Similarly, pellets with 36.5% and 73% kitchen wastes result in significantly lower weight gain in tilapia (*Oreochromis niloticus* 3 *Oreochromis aurea*) and giant grouper (*Epinephelus lanceolatus*), respectively, compared with fish meal controls.⁴⁸ The inclusion of kitchen waste at rates of %20 in the feed of orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) can support adequate growth compared with a fish meal control diet, whereas inclusion rates of 30% or 40% results in reduced growth.⁴⁸

There are a number of challenges when using food wastes in aquaculture feeds. Food wastes are high in moisture and are perishable, and microorganisms or pathogens may be present, which can be a health and safety concern.^{42,49} Plant-based wastes can also contain anti-nutritional elements.⁴² Initial waste separation can also be difficult, in terms of not only separating different types of food wastes but also separating from wastes other than food wastes, which results in high variability in nutrient composition as well as contamination. These problems can be mitigated through the sterilization of pathogens,^{42,49} by using feed additives (e.g., enzymes) to enhance nutritive values, or even by improving the collection infrastructure of food waste to

increase separation and traceability. Alternatively, instead of using food wastes directly, there are additional options including bioconversion and biotransformation. Bioconversion uses the food waste as a nutrient source for insects and/or algae, which can subsequently be used as a feed resource;^{42,48} while biotransformation uses food waste as a

nutrient source for microorganisms through solid-state fermentation⁴² with the same objective (see **Insects** and **Microbial Biomass** below).

The use of food wastes in animal feed is well accepted and regulated in many Asian countries, but elsewhere there exists negative stereotypes of using waste as a feed source.⁴⁰ Regulatory barriers also exist in some countries (e.g., the European Union), and food losses rather than food wastes may be more acceptable as feed ingredients.^{42,50} Although further economic analyses are required to determine the feasibility of using food losses in animal feed, it may prove suitable for lower-trophic-level freshwater fish due to their low requirements of protein and the low protein content in food wastes.

Insects

Production of insects as a protein feed input to aquafeeds does not compete with human food sources or human food production. Insects have short life cycles and can grow on a wide range of substrates with high productivity and high feed conversion factors.^{51,52} Combined with relatively good nutritional profiles, the potential of insect meal as a suitable aquafeed ingredient is receiving increasing attention in many countries. The European Union approved processed animal protein from insects (i.e., insect meals) to be used in aquafeed in Regulation (EU) 2017/ 893 from July 2017. There are seven approved insect species, which must be raised with feed-grade substrates. Although all of these species are considered non-pathogenic, non-vectors of pathogens, and non-invasive,⁵³ research has mostly focused on the black soldier fly (*Hermetia illucens*), the common housefly (*Musca domestica*), and the yellow mealworm (*Tenebrio molitor*). The crude protein level in most insects ranges from 40% to 63%; however, defatted insect meal can contain up to 83% crude protein.⁵⁴ The amino acid profiles are taxon dependent and vary with species, with the Diptera group (true flies) demonstrating similar profiles to that of fish meal.^{55–57} The crude lipid content of insects ranges from 8.5% to 36%, while the fatty acids profiles

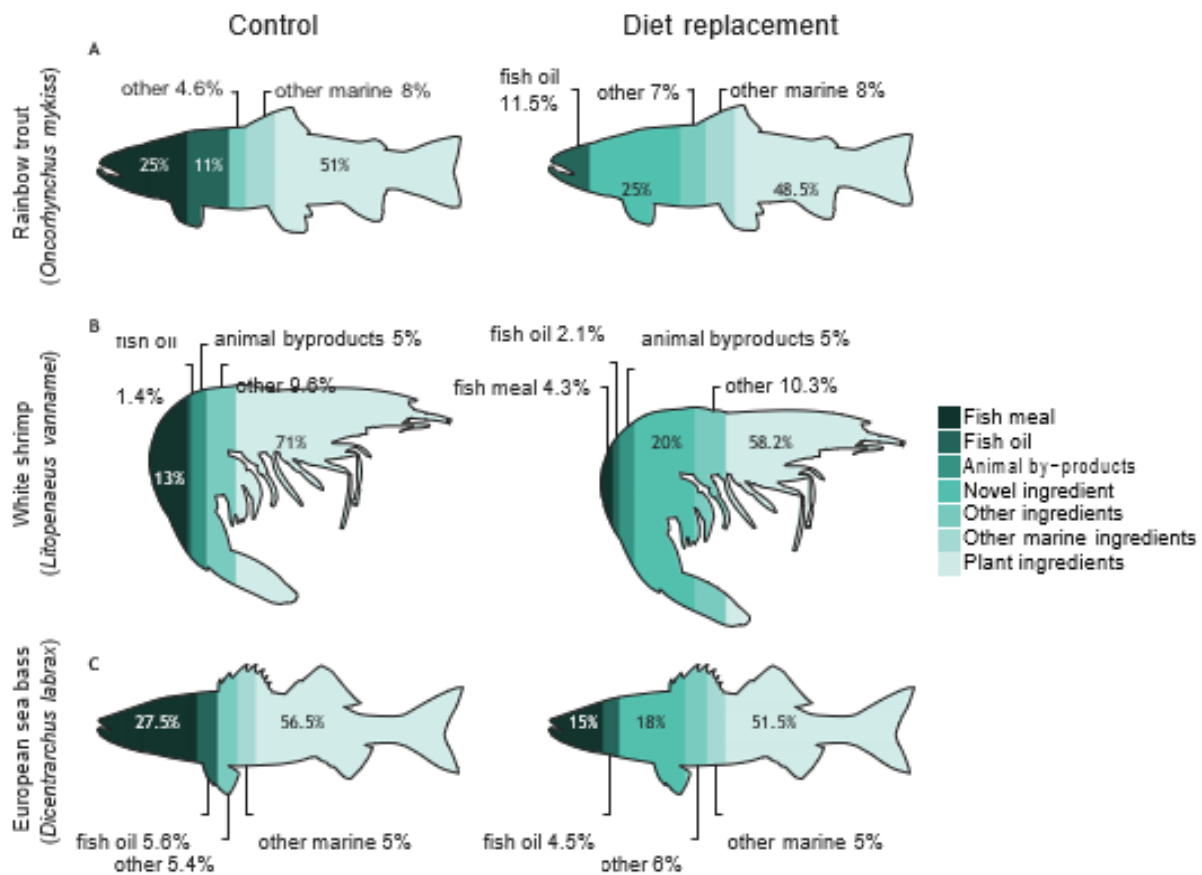


Figure 3. Case Studies of Fish Meal Replacement in the Diets for Fed-Aquaculture Species

The complete or partial replacement of fish meal using alternative protein sources demonstrated equivalent or higher growth in the animals than the control fish meal diets. Shading represents the proportion of dietary ingredients.

(A) Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) were fed a control diet with 25% fish meal or an experimental diet with 25% yellow mealworm protein meal.⁶¹

(B) Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) were fed a control diet with 13% fish meal or an experimental diet with 20% microbial biomass and 4.3% fish meal.⁶⁶

(C) European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) were fed a control diet with 27.5% fish meal or an experimental diet with 18% freeze-dried microalgae and 15% fish meal.⁶⁷

are variable and dependent on developmental stage and the substrates used as a nutrient source.^{65,67} Insects contain negligible amounts of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), lower levels of omega-3, and higher levels of omega-6 fatty acids compared with fish meal. Lipid quality can be manipulated by the substrates used to raise the insects, and it is possible to enrich the EPA and DHA content by feeding insects with fish oil;⁶⁸ however, this might be economically less advantageous than feeding fish byproducts directly to fish.⁶⁷ Vitamin and mineral content are also highly dependent on substrate type.⁶⁷ Insects are low in carbohydrates (<20%), which are mostly in the form of chitin, a polymer of glucosamine^{65–67} generally considered as anti-nutritional, that fish cannot digest.⁶⁹ However, there has been research demonstrating that low levels of chitin could act as an immunostimulant.⁶⁷

Most studies that replace fish meal with insect meal recommended partial replacement (reviewed by Tran et al.⁶⁸ and Henry et al.⁶⁷). However, an increasing number of recent studies are reporting that a 100% replacement of fish meal can be successful, even for carnivorous fish. For example, in Atlantic salmon (*Salmo*

salar), insect meal produced using black soldier fly larvae replaced 100% of the fish meal at a dietary inclusion rate of 14.75%.⁶⁰ Insect meal produced using yellow mealworm at graded levels from 5% to 25% improved the growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and achieved a 100% replacement of fish meal⁶¹ (Figure 3A). Similar observations were made with red sea bream (*Pagrus major*) using insect meal produced using defatted yellow mealworm larvae, whereby inclusion rates of 25%–65% improved growth performance and disease resistance.⁶² Conflicting results exist regarding the effects of insect meal on sensory attributes of fish fillets in the literature. Insect meal was reported to affect sensory profile of the fillets of Atlantic salmon⁶⁰ and rainbow trout,⁶³ but other studies did not observe any sensory differences in Atlantic salmon,⁶⁴ rainbow trout,⁶⁸ or common carp.⁶⁵

Challenges of incorporating insect meal into aquaculture feeds include the variable and sometimes less ideal nutritional profiles.^{60,66} Moreover, insect meal is currently not a price-competitive raw material for aquafeeds.⁶² Economic analysis with the case of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) demonstrate

that the incorporation of yellow mealworm into aquafeeds resulted in increased feeding costs.⁶⁰ Furthermore, production levels of insect meal are currently insufficient for constant supply,^{52,66} although global production is increasing. For example, production of black soldier fly increased from 7,000 to 8,000 tons in 2014–2015 to 14,000 tons in 2016⁶⁰ and, if this continues, the price of insect meal is forecast to be competitive with that of fish meal by 2023.⁶⁰ While it will be important to scale up production to improve price competitiveness and production stability,⁵² marketing strategies to brand the fish that are fed insect meals as socially and environmentally responsible could also help boost the use of insects in aquafeeds.⁶⁶

The nutritive value of insects can be enhanced by combining insect meals with complementary nutritional profiles or by manipulating the substrate used as a nutrient source to improve fatty acid content, digestibility, and even palatability.⁵⁷ Defatting the insect source can also increase protein levels in the final insect meal produced.⁵⁷ In addition, improved resource efficiency can be achieved by using food waste as a substrate for insects and converting those waste streams into feed protein for aquaculture in countries where legislation does not prohibit such substrates. While technological improvements are required to produce a consistently high-quality product, the use of insect meal in aquafeeds has long-term potential if the price is competitive and supply can be maintained.

Microbial Biomass

The microbial biomass produced from various microorganisms, also known as “microbial protein” or “single-cell protein,” is a promising substitute for animal- or plant-derived ingredients for aquafeeds^{19,70–74} (Figure 3B). Among the highly diversified group of microorganisms, bacteria, yeasts, and microalgae are generally regarded as having the highest potential for aquafeeds.^{70–73} To achieve this potential there should be a focus on improving the scale of production, which will ensure the process chain is environmentally sustainable and reduce the cost of production.^{70–72}

Bacteria and yeasts have a relatively high protein content (50%–65% and 45%–55%, respectively), with amino acid profiles that are comparable with fish meal^{70,72,73} and can potentially be used as either functional feed additives or as alternative raw materials.^{70,72–77} The nutritional profile of bacteria and yeasts can also be manipulated or enhanced by modifying the culture media, growth conditions, and post-harvest treatments.^{70,72} The resulting microbial biomass produced can provide excellent nutritional characteristics for aquatic animals.^{70,72–77} For example, yeasts derived from hydrolyzed lignocellulosic biomass through fermentation are a suitable source of protein for the diets of fishes, including carnivorous species such as Atlantic salmon and rainbow trout, with the caveat that additional synthetic methionine would have to be supplemented in the feed.⁷² There is also a range of commercial products available in the marketplace^{70,72,74}, including Novacq, a potent microbial bioactive that can reduce the quantity of fish meal required in the feed of the black tiger prawn (*Penaeus monodon*) while maintaining growth rates.⁷⁵ However, even though bacteria and yeasts have high potential as an alternative source of protein for aquafeeds, their use is still limited due to the high cost of production.⁷³ Their suitability and inclusion rates will

also need to be evaluated at the species level, with a focus on their digestibility and the bioavailability of nutrients contained within the microbial biomass.^{70,72,73,75,76}

Microalgae are cultivated and used as a feed resource in the aquaculture industry and are invaluable during the larval rearing stage of many aquaculture species.⁷⁷ The nutritional quality of microalgae is high, with a crude protein content of up to 71% and a lipid content of up to 40%, which are comparable with that of terrestrial plant and animal sources.^{78–80} Microalgae have the potential to replace fish meal and fish oil in aquafeeds^{71,77,81} and many studies have demonstrated the successful use of microalgal biomass as a feed additive or fish meal replacement for a range of aquaculture species, generally with positive effects on growth and quality^{70,81–87} (Figure 3C). The biological capacity of microalgae, underpinned with positive research findings on the replacement efficacy in aquafeeds across many aquaculture species, suggests that there is high potential for the use of microalgae as a protein source. However, this potential is diminished by the technical, biological, and economic difficulties regarding the continuous production of high-quality microalgal biomass, and its downstream processing, at scale.^{40,79,88–90} The current world production of microalgae (auto- and heterotrophic) is estimated to be approximately 40,000 tons per year,⁹⁰ only 0.7% of what would actually be needed to replace the protein from fish meal in aquaculture. In addition, the current price of microalgae is between US\$10 and \$30 per kg, several magnitudes higher than soybean meal (\$0.30 per kg), hence global production is limited to high-value niches in the human supplement and nutraceutical markets.^{19,90–92} Although attempts have been made to model the cost and production of microalgae to satisfy the protein demand of aquaculture,^{93–96} such efforts can only be considered as academic exercises as they do not take into account the difficulties of upscaling production from medium scale (<1 hectare) to large scale (>10,000 hectare). Therefore, due to the current low volumes, high production costs, and cultivation challenges, it is highly unlikely that microalgae will become a viable alternative source of protein for aquafeeds in the next decade.

Macroalgae

The production of marine macroalgae (also termed seaweeds) is an established industry that accounts for nearly 30% of global aquaculture production, with an output volume of 30 million tons per year that is worth more than \$6 billion.⁹⁶ Nearly 90% of all cultivated seaweeds are produced in China and Indonesia.^{9,96} The main species of seaweed, which account for 95% of the total production, are *Euclima* spp., *Laminaria japonica* (Japanese kelp), *Gracilaria* spp., *Undaria pinnatifida* (Japanese wakame), *Kappaphycus alvarezii*, and *Porphyra* spp. (Japanese nori).^{9,96,97} the majority of which are produced almost exclusively for human consumption.^{9,96,98} In addition to targeting high-value applications, recent developments have demonstrated the bioremediation capacity of both seaweeds and freshwater macroalgae, and their integration into existing sources of nutrient-rich waste water from agriculture, aquaculture, municipal wastewater treatment, and power generation.^{99–104} The key to this concept is that, as these macroalgae grow they assimilate dissolved nutrients (particularly inorganic nitrogen and phosphorous), which would otherwise be wasted, from the

water column and convert them into biomass and, consequently, a source of protein. This provides a unique opportunity to recover waste nutrients, allowing these industries to expand and intensify production while minimizing their environmental impact. The potential scale of this resource is impressive, with a demonstrated biomass production rate of 45–70 tons of dry weight hectare⁻¹ per year and an average crude protein content of ~22%.^{103,105}

The proportion of crude protein in macroalgae, particularly when harvested from the wild, is highly variable, ranging from <1% to 48% of the biomass dry weight,^{99,106–109} and depends on both species and environmental conditions. It should be noted that many of the crude protein values reported in the literature are overestimated,¹¹⁰ and the true crude protein content, representing a more realistic range, is 10%–30% when grown under non-limiting nutrient conditions.^{111–113} Despite this, macroalgae are considered to be a high-quality source of protein, with the majority of species having equivalent, or higher, total essential amino acids as a proportion of total amino acids than traditional agricultural crops and fish meal.^{99,113–115} For example, one of the first limiting amino acids in plant-based diets of fish and crustaceans is methionine,¹¹⁶ which makes up a higher proportion of the total amino acids in macroalgae compared with soybean meal and can be up to twice as high.^{99,110,114} In contrast, the absolute concentration of essential amino acids on a whole biomass basis is substantially lower in macroalgae (5.5% dry weight) than in soybean meal (22.3% dry weight) and fish meal (31.2% dry weight),¹¹³ due to high concentrations of complex polysaccharides (up to 76% dry weight),¹¹⁷ also known as dietary fiber. Dietary fiber limits the digestibility of the algal protein fractions and affects the overall nutritional value when incorporated into aquafeeds.^{118–120} Accordingly, inclusion levels of macroalgae at rates >10% generally have negative effects on growth and feed conversion of commercial fish species.^{121–124} However, macroalgae is still suitable when incorporated as a functional feed ingredient at low levels and, when included at rates <10%, there are often positive effects on the animals being cultivated.^{122,125,126} The bioactive compounds found in macroalgae are associated with health-promoting effects including improved stress resistance and enhanced immune function.^{127–131} In addition, macroalgae enhance the flavor of farmed fish^{132,133} and act as a feeding stimulant, which indirectly boosts protein intake.^{127,134,135} As such, using whole macroalgal biomass as a functional feed additive for aquatic animals is a promising application.

Using whole macroalgal biomass as an alternative protein source has been successful in conjunction with herbivorous aquatic animal species.^{136–140} This has been particularly successful for abalone, whereby seaweeds are cultivated in the discharge water and then used as feed.¹⁰⁰ There is also potential for its use with omnivorous species,¹⁴¹ as these animals have lower protein requirements compared with carnivorous fish.¹⁴² Currently, the opportunity and value of using macroalgae in aquafeed for carnivorous fish lies more in its application as a functional feed ingredient to improve the health and welfare of these animals rather than as a viable large-scale alternative protein source. If macroalgae are to replace fish meal in aquafeeds, processing of the biomass is required to deliver a more concentrated form of the protein. This can be achieved either through

the direct extraction and isolation of protein or by removing non-protein components, such as ash and soluble carbohydrates, thus increasing the relative proportion of protein in the residual macroalgal biomass.^{105,143–146} However, these processes are still being developed and while not yet commercialized,¹⁴⁵ they have been successfully applied to *Ulva ohnoi*, a commercially grown bioremediation species, to increase its protein content from 22% to 45% on a dry-weight basis.¹⁰⁵ Importantly, the quality of the concentrated protein in that study was comparable with that of soybean meal and white fish meal, suggesting that it would be a suitable protein replacement option, with the caveat that it still must be tested *in vivo*.¹⁰⁵ Although this process is currently in its infancy, the development of macroalgae as a source of protein will provide a net increase to the supply of protein for the world. Macroalgae cultivated through bioremediation represents an environmentally friendly alternative to many traditional sources of protein and will help to alleviate some of the competition for protein resources between aquaculture and terrestrial livestock production.

Improvements in Efficiency

Improving animal performance and animal health is a key to not only reducing aquaculture production costs but also reducing environmental impacts including decreasing carbon footprints.^{147,148} Traditionally, in aquaculture to date, this has been implemented through the optimization of feed formulations to achieve the most efficient feed conversion ratios (FCRs), which represent the quantity of feed consumed to produce one unit of animal biomass gain. The optimization of FCRs is based on maximizing animal survival and growth traits.¹⁴⁸ However, for species that require relatively large quantities of fish meal and fish oil in their diets, this can be environmentally and economically unsustainable given the limited fishery resources.^{149,150} A sustainable solution would be for farmed animals to be fed renewable plant-sourced and emerging alternative protein and oil products, while at the same time improving FCRs and other production traits through husbandry, species-specific feed formulation, functional feed additives, and selective breeding practices and their interaction (i.e., genotype × diet interaction).^{148,151} Consequently, there is considerable scope for improved efficiency in fed-aquaculture production.

The transition toward plant-based diets has been challenging, and the effects of plant ingredients on animal growth and health have been widely studied.^{152–154} Plant-based diets typically contain carbohydrates that have low digestibility in carnivorous animals as well as anti-nutritional elements that affect feed intake, feed efficiency, metabolism, and health.^{155,156} While many aquaculture species are carnivorous (e.g., salmon and tuna), others are omnivorous or herbivorous (e.g., shrimp, tilapia, catfish, and carp species); therefore, different species vary in their capacity to effectively use different kinds of animal or plant feed ingredients. Recently, feed formulations have improved, allowing complete substitution of animal-based diets with plant-based ones in some species.¹⁵⁷ However, these results are species specific, and total substitution with plant-based ingredients can still negatively affect survival and growth rates in other species.¹⁵⁸ Based on modern advances in feed ingredient processing and gene technology, there is now the capability to process and/or engineer plant crops as feed ingredients that specifically

address the challenges of incorporating plant-based products into aquafeeds.^{159,160}

At present, soybean meal is a primary source of vegetable protein in aquafeeds.¹⁵⁶ In an attempt to negate the negative effects of soybean inclusion, biotechnology (i.e., gene expression and silencing) is being used to suppress anti-nutritional elements or to alter seed protein composition for increased digestibility.^{159–161} In addition, biotechnology can be used to value-add by genetically modifying soybean to produce unique products for specific animal requirements. For example, soybean with higher proportions of omega-3 fatty acids can be used for enhanced animal growth and human health benefits,^{89,162} and soybean with carotenoid gene enhancements can be used to enhance the flesh pigment of salmon.^{161,163} There is also research demonstrating the use of prototype vaccines engineered by plant biotechnology for inclusion in plant-based aqua-feeds for species requiring mass oral immunization.^{161,164}





































In addition to the modification of soybean, there has been an emergence of functional feed additives in aquaculture diets.^{75,165–167} Functional feed additives can indirectly act as growth promoters by improving immune function, reducing oxidative stress, and enhancing disease resistance, rather than directly providing extra nutrients essential to growth. There is an array of products sold under commercial trademarks (e.g., Novacq, ALIMET, and Sanocare) that report improved survival and growth,^{168–171} and while the active ingredients of these can include bioactives obtained from plant-derived purifications, the majority appear to be from microbial biomass-derived sources. In the absence of recombinant engineering of microbes, most of the processes used to produce functional feed additives are discoveries of biological action and lack the enforceable protections of a patent (e.g., US H2218H). Consequently, there is a high level of commercial secrecy around their production and mode of action. After reviewing a number of patents that exist relating to microbial biomass products, it is apparent that their mode of action is through immune stimulation, gut microbial/microbiome modulation, or improved expressers of nutrient elements including selenium (Patent EP1602716A1), glucosamine (Patent US H2218H), and essential fatty acids (Patents JP599852B2 and US6255505B1). Considering that the majority of functional feeds promote immune response and growth, it is perhaps misleading to consider them “optional additives” within the context of aquafeed preparation. Rather, they could be considered as additives that ameliorate deficiencies in current diet formulations. Recognizing that aquafeeds must supply the full spectrum of nutritional factors to support the action of multiple biological pathways within an animal (including immune competence under typical culture conditions) will facilitate a more logical and systematic approach toward the replacement of fish meal.

Many studies have sought to improve diet formulations, whereas others have focused on improving the performance of the animals fed a variety of diets through genetic improvement programs.^{147,151} Several studies have demonstrated the existence of genetic variability in different wild stocks as well as domesticated animals fed different proportions of fish meal and, therefore, protein. For example, divergent wild stocks (i.e., discrete genetic pools) of the freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*),¹⁷² alternative genetic strains of tilapia

(*Oreochromis* spp.),¹⁷³ and selected groups of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*)¹⁷⁴ have different capacities to use different animal proteins. Furthermore, the mean heritability (h^2) estimates for feed efficiency traits (FCR and reduced residual feed intake [RFI]) in farmed fish range from 0.07 to 0.47, providing support for genetic improvement through selective breeding programs.^{148,175} In these studies, rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*; h^2 FCR 0.12; h^2 RFI 0.13–0.23)^{175,176}, sea bass (h^2 FCR 0.23 pedigree and 0.47 genomic),¹⁷⁷ European whitefish (*Coregonus lavaretus*; h^2 FCR 0.07),¹⁷⁸ and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*; h^2 FCR 0.32)¹⁷⁹ had moderate heritability estimates sometimes comparable with terrestrial animals (h^2 range of 0.12–0.67).^{179–181}

While heritability estimates for feed efficiency are starting to emerge for farmed fish species, the lack of comprehensive heritability measurements among other aquatic animals is partly due to the difficulty in obtaining accurate trait measurements.¹⁸² Although the concept of measuring aquaculture feed efficiency for selective breeding is long-standing, it lags behind terrestrial animal production, as recording feed intake routinely in individual animals in commercial aquatic systems is a considerable challenge.^{176,182} Therefore, feed efficiency improvement using phenotypic trait selection in aquaculture can be difficult. The development of genomic approaches such as “genomic selection” can increase the precision of estimated breeding values for feed efficiency traits, which can then be used in selective breeding programs.¹⁸³ In this approach, large numbers of genome-wide genetic markers aid in animal selection. Here, most quantitative trait loci (QTL) regulating feed efficiency will be in strong linkage disequilibrium with at least one genomic marker. As such, genomic selection methodology simultaneously estimates the combined genetic effects of all relevant QTL and provides accurate predictions of genetic merit for an animal.¹⁸⁴

Of particular interest is the selective breeding of aquaculture animals that can effectively use plant-based ingredients without negative side effects. For example, there is significant genetic variability around growth traits of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) when provided a plant-based diet (including high heritability estimates for body weight; e.g., 0.43–0.69),¹⁸⁵ suggesting that genetic progress is achievable.^{186–187} Furthermore, additional studies have demonstrated genetic improvement in growth traits by selectively breeding animals on a plant-based diet (e.g., rainbow trout¹⁸⁷ and salmon¹⁸⁸). However, when transitioning production animals from conventional feed ingredients to plant-based diets, the interaction of genetics and diet (i.e., re-ranking of family performance on specific diets) needs to be considered, particularly in established breeding programs. Significant genotype (animal performance) by diet (plant-based diets) interactions have been observed in fish whereby some animals can more effectively accept and use the diets than others.^{189,190} It is apparent that animals that performed well on traditional animal-based diets may not necessarily perform equally well on a plant-based or modified diet. However, exposing fish to plant-based diets early in life improves later-life fish performance when fed the same diet again.^{191,192} Regardless, to ensure optimum genetic gain and productivity, the aquaculture industry needs to develop selective breeding programs specific to plant-based diets from first feeding.

| |  Protein content |  Environmental sustainability |  Consumer acceptance |  Feasibility |
|--|--|---|--|--|
|  Fishery and aquaculture by-products |  |  |  |  |
|  Insect meals |  |  |  |  |
| Microbial biomass |  Bacteria and dry bio-floc |  |  |  |
| |  Yeast |  |  |  |
| |  Microalgae |  |  |  |
|  Macroalgae |  |  |  |  |
|  Food wastes |  |  |  |  |

Future Directions

Feeds for lower-trophic-level freshwater fish species (e.g., catfish, tilapia, and herbivorous carp) contain considerably lower levels of fish meal compared with those for carnivorous species (e.g., salmon, other marine fishes, diadromous fishes, eels, and marine shrimps; Figure 2). Therefore, consumer awareness, labeling, and interest in seafood sustainability may help increase consumption rates of farmed freshwater fish at the expense of species with greater protein demands. As a caveat, to date there is limited evidence for an increase in consumer demand for sustainable seafood as a result of sustainable seafood labeling.¹⁹³

Although the percentage inclusion level of fish meal in feeds is low for farmed freshwater fish in comparison with marine fish and

Figure 4. Qualitative Feasibility Assessment of Alternative Protein Sources for Fed-Aquaculture Diets

The broad-level qualitative assessments of alternative protein sources were based on a combination of the current-day realities and the future potential (10–20 years) of each protein source. Positive (+) represents a protein source with high potential to meet demand, while negative (−) represents a protein source that has obstacles that will need to be overcome before development. The assessments were subjective and based on a relative comparison with fish meal from wild-capture fisheries (for proximate composition see Figure S1). The assessment for “feasibility” was determined by considering the economics of commercial-scale production, the relative limit of the resource, the likelihood of meeting consistent supply, the short-term prediction of commodity price, and the legal ease of implementation.

crustaceans, the global production of these fed carp, catfish, and tilapia is very high¹¹ (Figure 2). Therefore, the inclusion of even low levels of fish meal results in substantial quantities of fish meal overall. Given the projected increase in production of these species and associated aquafeed demand (Figure 2), substituting fish meal by alternative protein sources in these diets will result in a considerable reduction in the total quantity of fish meal used. Simulations by Froehlich et al.¹² suggest that this sector has the highest potential to mitigate the use of forage fish by mid-century.

Significant gains in aquaculture production to supply additional protein, especially for freshwater fish, may also be made by combining unfed aquaculture with fed aquaculture or through the development, promotion, and expansion of polyculture-based systems, resulting in the simultaneous culture of multiple fed species in a single system.¹⁹⁴ In the related integrated multi-trophic aquaculture systems, which combine fed aquaculture with extractive aquaculture, a higher yield

of protein is achieved through the production of several products.^{100,101,195} While detailed knowledge is required to balance multiple species,¹⁹⁶ these systems have the added benefits of nutrient bioremediation and positive consumer perception.

The greatest challenges to alternative protein sources in aquafeeds include variable protein content (see Figure S1) and the feasibility of increasing production, which is a function of available processing technologies, cost, and scalability (Figure 4 includes a subjective assessment of ingredient potential). Consumer acceptance also varies among these raw materials. Given these challenges, there is enormous potential for technological improvements to consistently produce high-quality alternative protein products with enhanced nutritional profiles, while

economies of scale can result in improved price competitiveness. Some protein sources, such as fish byproducts and insect meals, are viable and promising alternatives to conventional fish meal, whereas some raw materials such as food waste may still need to overcome a number of obstacles before becoming a staple in formulated aquafeeds (Figure 4) and may find greater use in bioconversion/biotransformation.

It is important to bear in mind that aquaculture feeds are formulated using a multitude of ingredients and it is unlikely, nor necessary, that a single protein source will meet the requirements of the cultured species or fully replace fish meal. Multiple protein sources can also be used in combination to benefit from their complementary nutritional profiles. Feed supplements can also be used to balance the nutrient composition of the feeds and functional ingredients can be used to facilitate the replacement of fish meal with alternative ingredients. Furthermore, using multiple protein sources allows flexibility in feed formulations when ingredient prices fluctuate,¹⁹² as feed manufacturers often use cost as a determinant in selecting ingredients.

There has been a 4-fold increase in fed-aquaculture production from 12.2 million tons to 50.7 million tons from 1995 to 2015.¹⁹⁷ In parallel, the increase in aquafeed production was 6-fold, from 7.6 million tons to 47.7 million tons from 1995 to 2015.^{25,197} Even though aquafeeds only account for a small proportion (less than 4%) of total global animal feed production, the ingredients used are also used in terrestrial livestock feed, pet food, and human food.^{11,25,192} Therefore, developing and optimizing alternative sources of protein for aquafeeds will play an important role in ensuring a socially and environmentally sustainable future for the aquaculture industry.

SUPPLEMENTAL INFORMATION

Supplemental Information can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>.

ACKNOWLEDGMENTS

The figures for this article were created by Hillary Smith.

REFERENCES

- United Nations (2019). World population prospects. <https://population.un.org/wpp/>.
- Hunter, M.C., Smith, R.G., Schipanski, M.E., Atwood, L.W., and Mortensen, D.A. (2017). Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience* 67, 386–391.
- Benton, T.G., Bailey, R., Froggatt, A., King, R., Lee, B., and Wellesley, L. (2018). Designing sustainable land use in a 1.5°C world: the complexities of projecting multiple ecosystem services from land. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 37, 88–95.
- Yotopoulos, P.A. (1985). Middle-income classes and food crises: the “new” food-feed competition. *Econ. Dev. Cult. Change* 33, 463–483.
- World Health Organization (WHO)/Food and Agriculture Organization (FAO) (2003). Diet, Nutrition, and the Prevention of Chronic Diseases: Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation, Vol. 970 (WHO).
- Kharas, H. (2010). The emerging middle class in developing countries. OECD Development Centre. Working Paper 285.
- Rivera-Ferre, M.G., Lo’pez-i-Gelats, F., Howden, M., Smith, P., Morton, J.F., and Herrero, M. (2016). Re-framing the climate change debate in the livestock sector: mitigation and adaptation options. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* 7, 889–892.
- Michalk, D.L., Kemp, D.R., Badger, W.B., Wu, J., Zhang, Y., and Thomassin, P.J. (2019). Sustainability and future food security—a global perspective for livestock production. *Land Degrad. Dev.* 30, 561–573.
- FAO (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018—Meeting the Sustainable Development Goals (FAO).
- Edwards, P., Zhang, W., Belton, B., and Little, D.C. (2019). Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Mar. Policy* 100, 103547.
- Tacon, A.G.J., and Metian, M. (2015). Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 23, 1–10.
- Froehlich, H.E., Sand Jacobsen, N., Essington, T.E., Clavelle, T., and Halpern, B.S. (2018). Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nat. Sustain.* 1, 298–303.
- Shepherd, C.J., and Jackson, A.J. (2013). Global fish meal and fish-oil supply: inputs, outputs and markets. *J. Fish Biol.* 83, 1046–1066.
- Belton, B., Bush, S.R., and Little, D.C. (2018). Not just for the wealthy: rethinking farmed fish consumption in the Global South. *Glob. Food Sec.* 10, 85–92.
- Tran, N., Rodriguez, U.-P., Chan, C.Y., Phillips, M.J., Mohan, C.V., Henriksson, P.J.G., Koeshendrajana, S., Suri, S., and Hall, S. (2017). Indonesian aquaculture futures: an analysis of fish supply and demand in Indonesia to 2030 and role of aquaculture using the AsiaFish model. *Mar. Policy* 79, 25–32.
- Tacon, A.G., and Metian, M. (2018). Food matters: fish, income, and food supply—a comparative analysis. *Rev. Fish. Sci.* 20, 1–14.
- Hicks, C.C., Cohen, P.J., Graham, N.A.J., Nash, K.L., Allison, E.H., D’Lima, C., Mills, D.J., Roscher, M., Thilsted, S.H., Thorne-Lyman, A.L., and MacNeil, M.A. (2019). Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies. *Nature* 574, 95–98.
- National Research Council (NRC) (2011). Nutrient Requirements of Fish and Shrimp (National Academies Press).
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chia, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldburg, R.J., and Hua, K. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 106, 15103–15110.
- Auchterlonie, N. (2018). The continuing importance of fishmeal and fish oil in aquafeeds. Presented at the Aquafarm Conference, Pordenone, Italy, 15–16 February. www.iffo.net/iffopresentations.
- OECD/FAO (2019). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019–2028 (OECD Publishing), p. 140.
- Tocher, D.R., Betancor, M.B., Sprague, M., Olsen, R.E., and Napier, J.A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: bridging the gap between supply and demand. *Nutrients* 11, 89.
- FAO (2018). FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2016 (FAO).
- FAO (2013). The role of aquaculture in improving nutrition Working Document COFI: AQ/III/2013/7, Saint Petersburg, Russia. <http://www.fao.org/cofi/30795-073768ef886213e5bbe595157c65066b.pdf>.
- Tacon A.G.J., Hasan, M.R., and Metian M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans—trends and prospects. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 564. Rome. pp. 87.
- Turchini, G.M., Trushenski, J.T., and Glenross, B.D. (2019). Thoughts for the future of aquaculture nutrition: realigning perspectives to reflect contemporary issues related to judicious use of marine resources in aquafeeds. *N. Am. J. Aquac.* 87, 13–39.
- Malcorps, W., Kok, B., van’t Land, M., Fritz, M., van Doren, D., Servin, K., van der Heijden, P., Palmer, R., Auchterlonie, N.A., Riekerk, M., et al. (2019). The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients in shrimp feeds. *Sustainability* 11, 1212.
- Stevens, J.R., Newton, R.W., Trusty, M., and Little, D.C. (2018). The rise of aquaculture by-products: increasing food production, value, and sustainability through strategic utilisation. *Mar. Policy* 90, 115–124.
- Rastad, T., Storm, I., and Silizyte, R. (2011). Possibilities for the utilisation of marine by-products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46, 2001–2014.
- Olsen, R.L., Toppe, J., and Karunasagar, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends Food Sci. Technol.* 30, 144–151.
- Ytrestøl, T., Aas, T.S., and Åsgård, T. (2015). Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture* 448, 365–374.
- Jackson, A., and Newton, R.W. (2016). Project to Model the Use of Fisheries By-product in the Production of Marine Ingredients with Special Reference to Omega-3 Fatty Acids (EPA and DHA, Institute of Aquaculture, University of Stirling & IFFO, the Marine Ingredients Organisation).

33. Heuze, V., Tran, G., and Kaushik, S. (2015). Fish meal, Feedipedia animal feed resources information system. <https://www.feedipedia.org/node/208>.
34. Ween, O., Stangeland, J.K., Fylling, T.S., and Aas, G.H. (2017). Nutritional and functional properties of fishmeal produced from fresh by-products of cod (*Gadus morhua* L.) and saithe (*Pollachius virens*). *Helvion* 3, e00343.
35. Goddard, S., Al-Shagaa, G., and Ali, A. (2008). Fisheries by-catch and processing waste meals as ingredients in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquac. Res.* 39, 518–525.
36. Jeon, G., Kim, H., Myung, S., and Cho, S. (2014). The effect of the dietary substitution of fishmeal with tuna by-product meal on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquac. Nutr.* 20, 753–761.
37. Hernáiz, C., Hardy, R., Contreras-Rojas, D., López-Molina, B., González-Rodríguez, B., and Domínguez-Jiménez, P. (2014). Evaluation of tuna by-product meal as a protein source in feeds for juvenile spotted rose snapper *Lutjanus guttatus*. *Aquac. Nutr.* 20, 574–582.
38. Kim, H.S., Jung, W.-G., Myung, S.H., Cho, S.H., and Kim, D.S. (2014). Substitution effects of fishmeal with tuna byproduct meal in the diet on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 437, 92–98.
39. Kim, K.-D., Jang, J.W., Kim, K.-W., Lee, B.-J., Hur, S.W., and Han, H.-S. (2018). Tuna by-product meal as a dietary protein source replacing fishmeal in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Fish. Aquat. Sci.* 21, 29.
40. Olsen, R.L., and Hasan, M.R. (2012). A limited supply of fishmeal: impact on future increases in global aquaculture production. *Trends Food Sci. Technol.* 27, 120–128.
41. FAO (2019). Food Loss and Food Waste (Food and Agriculture Organization of the United Nations). <http://www.fao.org/food-loss-and-food-waste/en/>.
42. Mo, W.Y., Bon Man, Y., and Hung Wong, M. (2018). Use of food waste, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: needs and challenge. *Sci. Total Environ.* 613–614, 635–643.
43. Garcia, A.J., Esteban, M.B., Mañriquez, M.C., and Ramos, P. (2005). Biodegradable municipal solid waste: characterization and potential use as animal feedstuffs. *Waste Manag.* 25, 780–787.
44. Sayeki, M., Kitagawa, T., Matsumoto, M., Nishiyama, A., Miyoshi, K., Mochizuki, M., Takasu, A., and Abe, A. (2001). Chemical composition and energy value of dried meal from food waste as feedstuff in swine and cattle. *Anim. Sci. J.* 72, 34–40.
45. Mo, W.Y., Cheng, Z., Choi, W.M., Man, Y.B., Liu, Y., and Wong, M.H. (2014). Application of food waste based diets in polyculture of low trophic level fish: effects on fish growth, water quality and plankton density. *Mar. Pollut. Bull.* 65, 803–809.
46. Cheng, J.Y., and Lo, J.M. (2016). Investigation of the available technologies and their feasibility for the conversion of food waste into fish feed in Hong Kong. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23, 7169–7177.
47. Choi, W.M., Lam, C.L., Mo, W.Y., and Wong, M.H. (2016). The use of food waste as feed ingredients for culturing grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in Hong Kong. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23, 7178–7185.
48. Hsieh, M.-J. (2010). Effects of Fish Meal Replacement by Kitchen Waste on the Growth and Body Composition of Tilapia (*Oreochromis nilotica* x *Oreochromis aurea*), Giant Grouper (*Epinephelus lanceolatus*) and Orange-Spotted Grouper (*Epinephelus coioides*). Masters thesis (National Taiwan Ocean University).
49. Duo, Z., Toth, J.D., and Westendorf, M.L. (2018). Food waste for livestock feeding: feasibility, safety, and sustainability implications. *Glob. Food Sec.* 17, 154–161.
50. zu Ermgassen, E.K., Kelly, M., Bladon, E., Saleemdeen, R., and Balmford, A. (2018). Support amongst UK pig farmers and agricultural stakeholders for the use of food losses in animal feed. *PLoS One* 13, e0196288.
51. Berggren, Å., Jansson, A., and Low, M. (2019). Approaching ecological sustainability in the emerging insects-as-food industry. *Trends Ecol. Evol.* 34, 132–138.
52. IPIFF, 2018. International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). The European insect sector today: challenges, opportunities and regulatory landscape; IPIFF: Brussels, Belgium, 2018.
53. Wang, Y.-S., and Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods* 6, 91.
54. Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V., and Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 1–33.
55. Barroso, F.G., de Haro, C., Sánchez-Maros, M.-J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., and Pérez-Bañón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422, 193–201.
56. Tran, G., Heuze, V., and Makkar, H. (2015). Insects in fish diets. *Anim. Front.* 5, 37–44.
57. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., and Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 203, 1–22.
58. Sealey, W.M., Gayford, T.G., Barrows, F.T., Tomberlin, J.K., McGuire, M.A., Ross, C., and St-Hilaire, S. (2011). Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *J. World Aquacult. Soc.* 42, 34–45.
59. Rust, M.B. (2002). Nutritional physiology. In *Fish Nutrition*, J.E. Halver and R.W. Hardy, eds. (The Academic Press), pp. 368–446.
60. Belghit, I., Liland, N.S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Waagbø, R., Krogdahl, Å., and Lock, E.-J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503, 609–619.
61. Rema, P., Saravanan, S., Armenjon, B., Motte, C., and Dias, J. (2019). Graded incorporation of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet improves growth performance and nutrient retention. *Animals* 9, 187.
62. Ido, A., Hashizume, A., Ohta, T., Takahashi, T., Miura, C., and Miura, T. (2019). Replacement of fish meal by defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae in diet improves growth performance and disease resistance in red seabream (*Pagrus major*). *Animals* 9, 100.
63. Borgogno, M., Dinella, C., Iaconisi, V., Fusi, R., Scarpaleggia, C., Schiavone, A., Monteleone, E., Gasco, L., and Parisi, G. (2017). Inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on sensory profile according to static and dynamic evaluations. *J. Sci. Food Agric.* 97, 3402–3411.
64. Lock, E.R., Ariswala, T., and Waagbø, R. (2016). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquac. Nutr.* 22, 1202–1213.
65. Nandeesha, M.C., Gangadhara, B., Varghese, T.J., and Keshavanath, P. (2000). Growth response and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* fed with high levels of non-defatted silk worm pupae. *Asian Fish. Sci.* 13, 235–242.
66. Kuhn, D.D., Lawrence, A.L., Crockett, J., and Taylor, D.P. (2016). Evaluation of bioflocs derived from confectionary food effluent water as a replacement feed ingredient for fishmeal or soy meal for shrimp. *Aquaculture* 454, 66–71.
67. Chinali, G., Messina, M., Bruno, M., Tullì, F., Poli, B.M., Giorgi, G., Chini-Zitelli, G., Tredici, M., and Tibaldi, E. (2018). Effects of graded levels of a blend of *Tisochrysis lutea* and *Tetraselmis suecica* dried biomass on growth and muscle tissue composition of European sea bass (*D. labrax*) fed diets low in fish meal and oil. *Aquaculture* 485, 173–182.
68. Arru, B., Furesi, R., Gasco, L., Madua, F.A., and Pulina, P. (2019). The introduction of insect meal into fish diet: the first economic analysis on European sea bass farming. *Sustainability* 11, 1697.
69. Hilken, W., De Klerk B. (2016). Insectenweek: kleine sector met grote kansen. Rapport ABN AMRO en Brabantse Ontwikkelings Maatschappij. p. 37.
70. Gamboa-Delgado, J., and Mañriquez-Reyes, J.M. (2018). Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Rev. Aquacult.* 10, 224–246.
71. Shah, M.R., Laitz, G.A., Alam, A., Sarker, P., Chowdhury, M.K., Parsaemehr, A., Liang, Y., and Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *J. Appl. Phycol.* 30, 197–213.
72. Øverland, M., and Skrede, A. (2017). Yeast derived from lignocellulosic biomass as a sustainable feed resource for use in aquaculture. *J. Sci. Food Agric.* 97, 733–742.
73. Delamare-Deboutteville, J., Batstone, D.J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salmi, M., Tabrett, S., Smullen, R., Barnes, A.C., and Helsen, T. (2019). Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fishmeal replacement in aquaculture. *Water Res.* 4, 100031.
74. Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., and Verstraete, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microb. Biotechnol.* 9, 568–575.
75. Glencross, B., Irvin, S., Arnold, S., Blyth, D., Bourne, N., and Preston, N. (2014). Effective use of microbial biomass products to facilitate the complete replacement of fishery resources in diets for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 431, 12–19.

76. Poli, M.A., Legarda, E.C., de Lorenzo, M.A., Martins, M.A., and do Nascimento Vieira, F. (2019). Pacific white shrimp and Nile tilapia integrated in a biofloc system under different fish-stocking densities. *Aquaculture* **498**, 83–89.
77. Sirakov, I., Velichkova, K., Stoyanova, S., and Staykov, Y. (2015). The importance of microalgae for aquaculture industry. *Rev. Int. J. Fish. Aquat. Stud.* **2**, 81–84.
78. Becker, W. (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*, A. Richmond, ed. (Blackwell Science), pp. 312–351.
79. Becker, E. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnol. Adv.* **25**, 207–210.
80. Ravindran, B., Gupta, S., Cho, W.-M., Kim, J., Lee, S., Jeong, K.-H., Lee, D., and Choi, H.-C. (2016). Microalgae potential and multiple roles—current progress and future prospects—an overview. *Sustainability* **8**, 1215.
81. Kiron, V., Phromkuntong, W., Huntley, M., Archibald, I., and De Schreemaker, G. (2012). Marine microalgae from biorefinery as a potential feed protein source for Atlantic salmon, common carp and whiteleg shrimp. *Aquac. Nutr.* **18**, 521–531.
82. Ju, Z.-Y., Deng, D.F., and Domsig, W. (2012). A detailed microalgae (*Haematococcus pluvialis*) meal as a protein ingredient to partially replace fishmeal in diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931). *Aquaculture* **354–355**, 50–55.
83. Vizcaino, A., Lopez, G., Sa'ez, M., Jimenez, J., Barros, A., Hidalgo, L., Camacho-Rodríguez, J., Marli'nez, T., Cero'n-García, M., and Alarcón, F. (2014). Effects of the microalga *Scenedesmus almeriensis* as fishmeal alternative in diets for gilthead sea bream, *Sparus aurata*, juveniles. *Aquaculture* **431**, 34–43.
84. Kissinger, K.R., García-Ortega, A., and Trushenski, J.T. (2016). Partial fish meal replacement by soy protein concentrate, squid and algal meals in low fish-oil diets containing *Schizochytrium limacium* for longfin yellowtail *Seriola lalandi*. *Aquaculture* **452**, 37–44.
85. Pakravan, S., Akbarzadeh, A., Sajadi, M.M., Hajmoradloo, A., and Noori, F. (2017). Partial and total replacement of fish meal by marine microalgae *Spirulina platensis* in the diet of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: growth, digestive enzyme activities, fatty acid composition and responses to ammonia and hypoxia stress. *Aquac. Res.* **48**, 5576–5586.
86. Wang, Y., Li, M., Flier, K., Xie, Y., Ai, Q., and Mai, K. (2017). Evaluation of *Schizochytrium* meal in microdiets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Aquac. Res.* **48**, 2328–2336.
87. Sarker, P.K., Kapuscinski, A.R., Bae, A.Y., Donaldson, E., Sitek, A.J., Fitzgerald, D.S., and Edelson, O.F. (2018). Towards sustainable aquafeeds: evaluating substitution of fishmeal with lipid-extracted microalgal co-product (*Mannochloropsis oculata*) in diets of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PLoS One* **13**, e0201315.
88. Ratledge, C. (2011). Are algal oils realistic options for biofuels? *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **113**, 135–136.
89. Tocher, D.R. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture* **440**, 94–107.
90. Benemann, J.R., Woertz, I., and Lundquist, T. (2018). Autotrophic micro-algae biomass production: from niche markets to commodities. *Ind. Biotechnol.* **14**, 3–10.
91. Ugoala, E., Ndakwe, G., Mastapha, K., and Ayo, R. (2012). Constraints to large scale algae biomass production and utilization. *J. Algal Biomass Util.* **3**, 14–32.
92. Enzing, C., Ploeg, M., Barbosa, M., and Sijtsma, L. (2014). Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. *JRC Scientific and Policy Reports*, 19–37.
93. Beal, C.M., Gerber, L.N., Sils, D.L., Huntley, M.E., Machesky, S.C., Walsh, M.J., Tesler, J.W., Archibald, I., Granados, J., and Greene, C.H. (2015). Algal biofuel production for fuels and feed in a 100-ha facility: a comprehensive techno-economic analysis and life cycle assessment. *Algal Res.* **10**, 266–279.
94. Huntley, M.E., Johnson, Z.I., Brown, S.L., Sils, D.L., Gerber, L., Archibald, I., Machesky, S.C., Granados, J., Beal, C., and Greene, C.H. (2015). Demonstrated large-scale production of marine microalgae for fuels and feed. *Algal Res.* **10**, 249–265.
95. Beal, C.M., Gerber, L.N., Thongrod, S., Phromkuntong, W., Kiron, V., Granados, J., Archibald, I., Greene, C.H., and Huntley, M.E. (2018). Marine microalgae commercial production improves sustainability of global fisheries and aquaculture. *Sci. Rep.* **8**, 15064.
96. FAO (2018). *The Global Status of Seaweed Production, Trade and Utilization*, Vol. 124 (Globefish Research Programme), p. 120.
97. FAO (2012). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012* (FAO).
98. FAO (2014). *The State of World Fisheries and Aquaculture—Opportunities and Challenges 2014* (FAO).
99. Cole, A.J., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015). Biorecovery of nutrient waste as protein in freshwater macroalgae. *Algal Res.* **7**, 58–65.
100. Bolton, J., Robertson-Anderson, D., Shuuluka, D., and Kandjengo, L. (2009). Growing *Ulva* (Chlorophyta) in integrated systems as a commercial crop for abalone feed in South Africa: a SWOT analysis. *J. Appl. Phycol.* **21**, 575–583.
101. Ben-Ari, T., Neori, A., Ben-Ezra, D., Shauli, L., Odintsov, V., and Shpigel, M. (2014). Management of *Ulva lactuca* as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system. *Aquaculture* **434**, 493–498.
102. Roberts, D.A., Paul, N.A., Bird, M.L., and de Nys, R. (2015). Bioremediation for coal-fired power stations using macroalgae. *J. Environ. Manage.* **153**, 25–32.
103. Cole, A.J., Neveux, N., Whelan, A., Morton, J., Vis, M., de Nys, R., and Paul, N.A. (2016). Adding value to the treatment of municipal wastewater through the intensive production of freshwater macroalgae. *Algal Res.* **20**, 100–109.
104. Wilkie, A.C., and Mulbry, W.W. (2002). Recovery of dairy manure nutrients by benthic freshwater algae. *Bioresour. Technol.* **84**, 81–91.
105. Magnusson, M., Glasson, C.R., Vucko, M.J., Angell, A., Neoh, T.L., and de Nys, R. (2019). Enrichment processes for the production of high-protein feed from the green seaweed *Ulva ohnoi*. *Algal Res.* **47**, 101555.
106. Israel, A., Gavriel, J., Glazer, A., and Friedlander, M. (2005). Utilization of flue gas from a power plant for tank cultivation of the red seaweed *Gracilaria cornea*. *Aquaculture* **249**, 311–316.
107. Plaza Cazo'n, J., Viera, M., Sala, S., and Donati, E. (2014). Biochemical characterization of *Macrocyctis pyrifera* and *Ulvaria pinnatifida* (Phaeophyceae) in relation to their potentiality as biosorbents. *Phycologia* **53**, 100–108.
108. Yildiz, G., Dere, E., and Dere, S. (2014). Comparison of the antioxidative components of some marine macroalgae from Turkey. *Pak. J. Bot.* **40**, 753–757.
109. Angell, A.R., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015). The nitrogen, protein and amino acid content of seaweeds [dataset]. <https://doi.org/10.4225/28/55776D8F45871>.
110. Angell, A.R., Mata, L., de Nys, R., and Paul, N.A. (2016). The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *J. Appl. Phycol.* **28**, 511–524.
111. Mata, L., Magnusson, M., Paul, N.A., and de Nys, R. (2016). The intensive land-based production of the green seaweeds *Derbesia tenuissima* and *Ulva ohnoi*: biomass and bioproducts. *J. Appl. Phycol.* **28**, 365–375.
112. Neveux, N., Magnusson, M., Maeschmeyer, T., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015). Comparing the potential production and value of high-energy liquid fuels and protein from marine and freshwater macroalgae. *Glob. Change Biol. Bioenergy* **7**, 673–689.
113. Angell, A.R., Angell, S.F., de Nys, R., and Paul, N.A. (2018). Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends Food Sci. Technol.* **54**, 74–84.
114. Nielsen, M.M., Bruhn, A., Rasmussen, M.B., Olesen, B., Larsen, M.M., and Møller, H.B. (2012). Cultivation of *Ulva lactuca* with manure for simultaneous bioremediation and biomass production. *J. Appl. Phycol.* **24**, 449–458.
115. Øverland, M., Mydland, L.T., and Skrede, A. (2019). Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *J. Sci. Food Agric.* **99**, 13–24.
116. Nunes, A.J., Sa', M.V., Browdy, C.L., and Vazquez-Anon, M. (2014). Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. *Aquaculture* **431**, 20–27.
117. Holdt, S.L., and Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.* **23**, 543–597.
118. Fleurence, J., Moranc,ais, M., Dumay, J., Decottignies, P., Turpin, V., Muirier, M., Garcia-Bueno, N., and Jaouen, P. (2012). What are the prospects for using seaweed in human nutrition and for marine animals raised through aquaculture? *Trends Food Sci. Technol.* **27**, 57–61.
119. Wells, M.L., Polin, P., Craigie, J.S., Raven, J.A., Merchant, S.S., Hellwell, K.E., Smith, A.G., Camire, M.E., and Brawley, S.H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *J. Appl. Phycol.* **29**, 949–982.
120. Pereira, R., Valente, L.M., Sousa-Pinto, I., and Rema, P. (2012). Apparent nutrient digestibility of seaweeds by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Algal Res.* **1**, 77–82.
121. Valente, L., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E., and Pinto, I. (2006). Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva*

- rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture* 252, 85–91.
122. Shapawi, R., Safin, N.S.Z., and Senoo, S. (2015). Improving dietary red seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex. P. Silva meal utilization in Asian seabass *Lates calcarifer*. *J. Appl. Phycol.* 27, 1661–1668.
 123. Marinho, G., Nunes, C., Sousa-Pinto, I., Pereira, R., Rema, P., and Valente, L.M. (2013). The IMTA-cultivated Chlorophyta *Ulva* spp. as a sustainable ingredient in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. *J. Appl. Phycol.* 25, 1359–1367.
 124. Younis, E.-S.M., Al-Quffail, A.S., Al-Asgah, N.A., Abdel-Warith, A.-W.A., and Al-Hafedh, Y.S. (2018). Effect of dietary fish meal replacement by red algae, *Gracilaria arcuata*, on growth performance and body composition of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Saudi J. Biol. Sci.* 25, 198–203.
 125. Ragaza, J.A., Koshio, S., Marnauag, R.E., Ishikawa, M., Yokoyama, S., and Villamor, S.S. (2015). Dietary supplemental effects of red seaweed *Eucheuma dendiculatum* on growth performance, carcass composition and blood chemistry of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquac. Res.* 40, 647–657.
 126. Ergün, S., Soyudürk, M., Gıroy, B., Gıroy, D., and Merrifield, D. (2009). Influence of *Ulva* meal on growth, feed utilization, and body composition of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at two levels of dietary lipid. *Aquac. Int.* 17, 355.
 127. Kamunde, C., Sappal, R., and Melegy, T.M. (2019). Brown seaweed (AquaVom) supplementation increases food intake and improves growth, antioxidant status and resistance to temperature stress in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *PLoS One* 14, e0219792.
 128. Peixoto, M.J., Salas-Leite, E., Pereira, L.F., Queiroz, A., Magalhães, F., Pereira, R., Abreu, H., Reis, P.A., Gonçalves, J.F.M., and de Almeida Ozo, R.O. (2018). Role of dietary seaweed supplementation on growth performance, digestive capacity and immune and stress responsiveness in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquacult. Rep.* 3, 189–197.
 129. Araújo, M., Rema, P., Sousa-Pinto, I., Cunha, L.M., Peixoto, M.J., Pires, M.A., Seixas, F., Brotas, V., Beltrão, C., and Valente, L.M. (2016). Dietary inclusion of IMTA-cultivated *Gracilaria vermiculophylla* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on growth, intestinal morphology, tissue pigmentation, and immunological response. *J. Appl. Phycol.* 28, 679–689.
 130. Chotigeat, W., Teagsupa, S., Suparatayak, K., and Phongdara, A. (2004). Effect of fucoidan on disease resistance of black tiger shrimp. *Aquaculture* 233, 23–33.
 131. Yin, G., Li, W., Lin, Q., Lin, X., Lin, J., Zhu, Q., Jiang, H., and Huang, Z. (2014). Dietary administration of laminarin improves the growth performance and immune responses in *Epinephelus coloides*. *Fish Shellfish Immun.* 41, 402–406.
 132. Ma, W.C., Chung, H.Y., Ang, P.O., Jr., and Kim, J.S. (2005). Enhancement of bromophenol levels in aquacultured silver seabream (*Sparus sarba*). *J. Agric. Food Chem.* 53, 2133–2139.
 133. Jones, B., Smullen, R., and Carlton, A. (2016). Flavour enhancement of freshwater farmed barramundi (*Lates calcarifer*), through dietary enrichment with cultivated sea lettuce, *Ulva ohnoi*. *Aquaculture* 454, 192–198.
 134. Cyrus, M., Bolton, J., Scholtz, R., and Macey, B. (2015). The advantages of *Ulva* (Chlorophyta) as an additive in sea urchin formulated feeds: effects on palatability, consumption and digestibility. *Aquac. Nutr.* 21, 578–591.
 135. Allen, V.J., Marsden, I.D., Ragg, N.L., and Gieseg, S. (2006). The effects of tactile stimulants on feeding, growth, behaviour, and meat quality of cultured Blackfoot abalone, *Haliotis iris*. *Aquaculture* 257, 294–308.
 136. Mulvaney, W.J., Winberg, P.C., and Adams, L. (2013). Comparison of macroalgal (*Ulva* and *Gracilaria* spp.) and formulated terrestrial feed on the growth and condition of juvenile abalone. *J. Appl. Phycol.* 25, 815–824.
 137. Vieira, M., De Vicoso, G.C., Gomez-Pinchetti, J., Bilbao, A., Fernandez-Palacios, H., and Izquierdo, M. (2011). Comparative performances of juvenile abalone (*Haliotis tuberculata cocinea* Reeve) fed enriched vs non-enriched macroalgae: effect on growth and body composition. *Aquaculture* 310, 423–429.
 138. Qi, Z., Liu, H., Li, B., Mao, Y., Jiang, Z., Zhang, J., and Fang, J. (2010). Suitability of two seaweeds, *Gracilaria lemaneiformis* and *Sargassum pallidum*, as feed for the abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture* 300, 189–193.
 139. Xia, S., Yang, H., Li, Y., Liu, S., Zhou, Y., and Zhang, L. (2012). Effects of different seaweed diets on growth, digestibility, and ammonia-nitrogen production of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture* 338, 304–308.
 140. Vucko, M.J., Cole, A.J., Moorhead, J.A., Pit, J., and de Nys, R. (2017). The freshwater macroalgae *Oedogonium intermedium* can meet the nutritional requirements of the herbivorous fish *Ancistrus cirrhosus*. *Algal Res.* 27, 21–31.
 141. Cruz-Suares, L.E., León, A., Peña-Rodríguez, A., Rodríguez-Peña, G., Moll, B., and Riquie-Marie, D. (2010). Shrimp/*Ulva* co-culture: a sustainable alternative to diminish the need for artificial feed and improve shrimp quality. *Aquaculture* 307, 64–68.
 142. Craig, S., Hellrich, L.A., Kuhn, D., and Schwarz, M.H. (2017). *Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding* (Virginia Cooperative Extension).
 143. Angel, A.R., Paal, N.A., and de Nys, R. (2017). A comparison of protocols for isolating and concentrating protein from the green seaweed *Ulva ohnoi*. *J. Appl. Phycol.* 29, 1011–1026.
 144. Kazir, M., Abahassira, Y., Robin, A., Nahor, O., Luo, J., Israel, A., Golberg, A., and Livney, Y.D. (2019). Extraction of proteins from two marine macroalgae, *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. *Food Hydrocoll.* 87, 194–203.
 145. Bleakley, S., and Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods* 6, 33.
 146. Glasston, C.R., Sims, L.M., Camachan, S.M., de Nys, R., and Magnusson, M. (2017). A cascading biorefinery process targeting sulfated polysaccharides (Ulvan) from *Ulva ohnoi*. *Algal Res.* 27, 383–391.
 147. Kim, S.W., Less, J.F., Wang, L., Yan, T., Kiron, V., Kaushik, S.J., and Lei, X.G. (2019). Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 7, 221–243.
 148. de Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J.A., and Vandeputte, M. (2018). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Rev. Aquacult.* 10, 833–851.
 149. Naylor, R.L., Goldberg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., and Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017.
 150. Tacon, A.G., and Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 285, 146–158.
 151. Le Boucher, R., Dupont-Nivet, M., Vandeputte, M., Kerneis, T., Goardon, L., Labbe, L., Chatain, B., Bothaire, M.J., Larroquet, L., and Medale, F. (2012). Selection for adaptation to dietary shifts: towards sustainable breeding of carnivorous fish. *PLoS One* 7, e44898.
 152. Torrecillas, S., Mompel, D., Caballero, M., Montero, D., Merrifield, D., Rodiles, A., Robaina, L., Zamorano, M., Karalazos, V., and Kaushik, S. (2017). Effect of fishmeal and fish oil replacement by vegetable meals and oils on gut health of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 458, 386–396.
 153. Torrecillas, S., Robaina, L., Caballero, M., Montero, D., Calandra, G., Mompel, D., Karalazos, V., Kaushik, S., and Izquierdo, M. (2017). Combined replacement of fishmeal and fish oil in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): production performance, tissue composition and liver morphology. *Aquaculture* 474, 101–112.
 154. Gozsa, I., Fejérik, M.L., da Silva, F.S.D., Davis, D.A., Samocha, T.M., Morris, T.C., Wilkenfeld, J.S., and Perez-Velazquez, M. (2010). Replacement of fish oil in plant based diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 300, 152–158.
 155. Glencross, B.D., Booth, M., and Allan, G.L. (2007). A feed is only as good as its ingredients—a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquac. Nutr.* 13, 17–34.
 156. Gallin, D.M., III, Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gayford, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogh, A., and Nelson, R. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquac. Res.* 38, 551–579.
 157. Callet, T., Medale, F., Larroquet, L., Sarget, A., Aguirre, P., Kerneis, T., Labbe, L., Quillet, E., Geardien, I., and Skiba-Cassy, S. (2017). Successful selection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on their ability to grow with a diet completely devoid of fishmeal and fish oil, and correlated changes in nutritional traits. *PLoS One* 12, e0186705.
 158. Daniel, N. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.* 6, 164–179.
 159. Herman, E.M., and Schmidt, M.A. (2016). The potential for engineering enhanced functional-feed soybeans for sustainable aquaculture feed. *Front. Plant Sci.* 7, 440.
 160. Drew, M., Borgeson, T., and Thiessen, D. (2007). A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Anim. Feed Sci. Technol.* 138, 118–136.
 161. Herman, E.M., and Schmidt, M.A. (2015). Towards using biotechnology to modify soybean seeds as protein bioreactors. In *Recent Advancements in Gene Expression and Enabling Technologies in Crop Plants*,

- K. Azhakanandam, A. Silverstone, H. Daniell, and M. Davey, eds. (Springer), pp. 193–212.
162. Sprague, M., Dick, J.R., and Tocher, D.R. (2016). Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015. *Sci. Rep.* **6**, 21892.
 163. Pierce, E.C., LaFayette, P.R., Ortega, M.A., Joyce, B.L., Kopsell, D.A., and Parrott, W.A. (2015). Ketocarotenoid production in soybean seeds through metabolic engineering. *PLoS One* **10**, e0138196.
 164. Daniell, H., Singh, N.D., Mason, H., and Streatfield, S.J. (2009). Plant-made vaccine antigens and biopharmaceuticals. *Trends Plant Sci.* **14**, 669–679.
 165. Piazzon, M.C., Caldach-Giner, J.A., Foaz, B., Estensoro, I., Simo´-Mira-bet, P., Payalfo, M., Karalazos, V., Palenzuela, O., Stija´-Bobadilla, A., and Pe´rez-Sa´nchez, J. (2017). Under control: how a dietary additive can restore the gut microbiome and proteomic profile, and improve disease resilience in a marine teleostean fish fed vegetable diets. *Microbiome* **5**, 164.
 166. Soto, J.O., de Jesu´s Paniagua-Michel, J., Lopez, L., and Ochoa, L. (2015). Functional feeds in aquaculture. In *Springer Handbook of Marine Biotechnology*, S.-K. Kim, ed. (Springer), pp. 1303–1319.
 167. Palenzuela, O., Del Pozo, R., Piazzon, M., Isem-Subich, M., Ceulemans, S., Couteau, P., and Stija´-Bobadilla, A. (2017). Functional feed additives can reduce the impact of an *Enteromyxum jeikei* infection on performance and disease severity: evidence from an experimental challenge with gilt-head sea bream. *Int. Aquafeed*, 14–19, (July).
 168. Sellars, M.J., Rao, M., Polymeris, N., Irvin, S.J., Cowley, J.A., Preston, N.P., and Glencross, B.D. (2015). Feed containing Novacoq improves resilience of black tiger shrimp, *Penaeus monodon*, to gill-associated virus-induced mortality. *J. World Aquacult. Soc.* **46**, 328–336.
 169. Goodall, J.D., Wade, N.M., Merritt, D.J., Sellars, M.J., Salee, K., and Coman, G.J. (2016). The effects of adding microbial biomass to grow-out and maturation feeds on the reproductive performance of black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture* **450**, 206–212.
 170. Val´quez-An´on, M., and Giesen, A. (2004). The use of methionine hydroxy analog in aquaculture feeds. Paper presented at the *Avances en nutrici3n acuic3la VII. Memorias del VII Simposio Internacional de Nutrici3n Acuic3la*, 14, 1–9.
 171. Cordero, H., Esteban, M.A., and Caesta, A. (2014). Use of probiotic bacteria against bacterial and viral infections in shellfish and fish aquaculture. In *Sustainable Aquaculture Techniques*, M. Hernandez-Vergara and C. Perez-Rostro, eds. (IntechOpen). Chapter 8. <https://doi.org/10.5772/57198>.
 172. Sagar, V., Saha, N.P., Pal, A.K., Hassan, M., Jain, K.K., Salim, H.S., Kumar, V., and El-Haroun, E.R. (2019). Effect of different stock types and dietary protein levels on key enzyme activities of glycolysis-gluconeogenesis, the pentose phosphate pathway and amino acid metabolism in *Macrobrachium rosenbergii*. *J. Appl. Ichthyol.* **35**, 1016–1024.
 173. Santos, A.L., Nguyen, N.H., Ponzoni, R.W., Yee, H.Y., Hamzah, A., and Ribeiro, R.P. (2014). Growth and survival rate of three genetic groups fed 28% and 34% protein diets. *Aquac. Res.* **45**, 353–361.
 174. Glencross, B., Tabrett, S., Irvin, S., Wade, N., Anderson, M., Blyth, D., Smith, D., Coman, G., and Preston, N. (2013). An analysis of the effect of diet and genotype on protein and energy utilization by the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*—why do genetically selected shrimp grow faster? *Aquac. Nutr.* **19**, 128–138.
 175. Kause, A., Kessling, A., Martin, S.A., Houlihan, D., and Ruohonen, K. (2016). Genetic improvement of feed conversion ratio via indirect selection against lipid deposition in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum). *Br. J. Nutr.* **116**, 1656–1665.
 176. Knap, P.W., and Kause, A. (2018). Phenotyping for genetic improvement of feed efficiency in fish: lessons from pig breeding. *Front. Genet.* **9**, 184.
 177. Besson, M., Allal, F., Vergnet, A., Ciota, F., and Vandeputte, M. (2019). Combining individual phenotypes of feed intake with genomic data to improve feed efficiency in sea bass. *Front. Genet.* **10**, 219.
 178. Quinton, C., Kause, A., Ruohonen, K., and Koskela, J. (2007). Genetic relationships of body composition and feed utilization traits in European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) and implications for selective breeding in fishmeal-and-soybean meal-based diet environments. *J. Anim. Sci.* **85**, 3198–3208.
 179. de Verdal, H., Vandeputte, M., Melkawy, W., Chatain, B., and Benzie, J.A. (2018). Quantifying the genetic parameters of feed efficiency in juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *BMC Genet.* **19**, 105.
 180. Hoque, M., and Suzuki, K. (2009). Genetics of residual feed intake in cattle and pigs: a review. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* **22**, 747–755.
 181. Willems, O., Miller, S., and Wood, B. (2013). Aspects of selection for feed efficiency in meat producing poultry. *World Poult. Sci. J.* **69**, 77–88.
 182. Fry, J.P., Mailloix, N.A., Love, D.C., Mill, M.C., and Cao, L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environ. Res. Lett.* **13**, 024017.
 183. Zenger, K.R., Khatkar, M.S., Jones, D.B., Khaliliani, N., Jerry, D.R., and Raadsma, H.W. (2018). Genomic selection in aquaculture: application, limitations and opportunities with special reference to marine shrimp and pearl oysters. *Front. Genet.* **9**, 693.
 184. Meuwissen, T.H., Hayes, B.J., and Goddard, M.E. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* **157**, 1819–1829.
 185. Le Boucher, R., Quillet, E., Vandeputte, M., Lecalvez, J.M., Goardon, L., Chatain, B., Me´dale, F., and Dupont-Nivet, M. (2011). Plant-based diet in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum): are there genotype-diet interactions for main production traits when fish are fed marine vs. plant-based diets from the first meal? *Aquaculture* **321**, 41–48.
 186. Overdorf, K., Barrows, F.T., and Hardy, R.W. (2013). Effect and interaction of rainbow trout strain (*Oncorhynchus mykiss*) and diet type on growth and nutrient retention. *Aquac. Res.* **44**, 604–611.
 187. Le Boucher, R., Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M., Quillet, E., Mazurais, D., Robin, J., Vergnet, A., Me´dale, F., Kaushik, S., and Chatain, B. (2011). A first insight into genotype 3 diet interactions in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L. 1756) in the context of plant-based diet use. *Aquac. Res.* **42**, 583–592.
 188. Yamamoto, T., Murashita, K., Matsunari, H., Oku, H., Furuta, H., Okamoto, H., Amano, S., and Suzuki, N. (2016). Amago salmon *Oncorhynchus masou* (Shikawa) juveniles selectively bred for growth on a low fishmeal diet exhibit a good response to the low fishmeal diet due largely to an increased feed intake with a particular preference for the diet. *Aquaculture* **405**, 380–386.
 189. Pierce, L.R., Palti, Y., Silverstein, J.T., Barrows, F.T., Hallerman, E.M., and Parsons, J.E. (2008). Family growth response to fishmeal and plant-based diets shows genotype3 diet interaction in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* **278**, 37–42.
 190. Dupont-Nivet, M., Me´dale, F., Leonard, J., Le Gallou, S., Tiquet, F., Quillet, E., and Geurden, I. (2009). Evidence of genotype-diet interactions in the response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) clones to a diet with or without fishmeal at early growth. *Aquaculture* **295**, 15–21.
 191. Geurden, I., Borchert, P., Balasubramanian, M.N., Schrama, J.W., Dupont-Nivet, M., Quillet, E., Kaushik, S.J., Panerat, S., and Me´dale, F. (2013). The positive impact of the early-feeding of a plant-based diet on its future acceptance and utilisation in rainbow trout. *PLoS One* **8**, e83162.
 192. Pelletier, N., Klinger, D.H., Sims, N.A., Yoshioka, J.-R., and Killinger, J.N. (2018). Nutritional attributes, substitutability, scalability, and environmental intensity of an illustrative subset of current and future protein sources for aquaculture feeds: joint consideration of potential synergies and trade-offs. *Environ. Sci. Technol.* **52**, 5532–5544.
 193. Hallstein, E., and Villas-Boas, S.B. (2013). Can household consumers save the wild fish? Lessons from a sustainable seafood advisory. *J. Environ. Econ. Manag.* **66**, 52–71.
 194. Wang, M., and Lu, M. (2016). Tilapia polyculture: a global review. *Aquac. Res.* **47**, 2363–2374.
 195. Holdt, S.L., and Edwards, M.D. (2014). Cost-effective IMTA: a comparison of the production efficiencies of mussels and seaweed. *J. Appl. Phycol.* **26**, 933–945.
 196. Park, M., Shin, S.K., Do, Y.H., Yarish, C., and Kim, J.K. (2018). Application of open water integrated multi-trophic aquaculture to intensive monoculture: a review of the current status and challenges in Korea. *Aquaculture* **407**, 174–183.
 197. Hasan, M.R. (2017). Feeding global aquaculture growth. *FAO Aquaculture Newsletter* **50**, ii–iii.

ONEEAR, Volume 1

Supplemental Information









The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets

Katheline Hua, Jennifer M. Cobcroft, Andrew Cole, Kelly Condon, Dean R. Jerry, Arnold Mangott, Christina Praeger, Matthew J. Vucko, Chaoshu Zeng, Kyall Zenger, and Jan M. Strugnell

Figure S1. Proximate composition of emerging alternative protein sources for aquafeeds.

Related to Figure 4.

Data are % dry matter. The microbial biomass is separated into three components: Bacteria biomass and dry bio-flocculated materials (Bacteria and dry bio-floc), Yeast, and Microalgae.

| | Crude protein (%) | Crude fat (%) | Crude fibre (%) | Ash (%) | |
|--|---|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------|
|  Fishmeal ¹ | 66 - 74 | 8 - 11 | 0 | < 12 | |
|  Fishery and aquaculture byproducts ²⁻⁷ | 52 - 67 | 7 - 14 | 0 - 1 | 12 - 23 | |
|  Insect meals ⁸⁻¹⁰ | 42 - 83 | 5 - 36 | 4 - 16 | 3 - 21 | |
| Microbial biomass |  Bacteria and dry bio-floc ¹¹⁻¹² | 50 - 65 | 1 - 3 | 0 - 1 | 3 - 7 |
| |  Yeast ¹¹⁻¹² | 45 - 55 | 1 - 6 | 0 - 1 | 5 - 10 |
| |  Microalgae ¹³ | 13 - 71 | 2 - 40 | 3 - 64 | 6 - 17 |
|  Macroalgae | <1 - 48 ^{14,15} | <1 - 15 ^{16,17} | 16 - 62 ^{17,18} | 7 - 55 ¹⁸ | |
|  Food wastes ^{18,21} | 3 - 57 | 2 - 70 | 0 - 37 | 5 - 22 | |

Supplemental References

1. Heuzé V., Tran, G., and Kaushik, S. (2015). Fish meal. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/208> Last updated on May 11, 2015, 14:32, accessed on July 30, 2019.
2. National Research Council (NRC) (2011). Nutrient requirements of fish and shrimp: National Academies Press, Washington, D.C. USA.
3. Ween, O., Stangeland, J.K., Fylling, T.S., and Aas, G.H. (2017) Nutritional and functional properties of fishmeal produced from fresh by-products of cod (*Gadus morhua* L.) and saithe (*Pollachius virens*). *Heliyon* 3, e00343.
4. Goddard, S., Al-Shagaa, G., and Ali, A. (2008). Fisheries by-catch and processing waste meals as ingredients in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research* 39, 518–525.
5. Jeon, G., Kim, H., Myung, S., and Cho, S. (2014). The effect of the dietary substitution of fishmeal with tuna by-product meal on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture Nutrition* 20, 753–761.
6. Hernández, C., Hardy, R., Contreras-Rojas, D., López-Molina, B., González-Rodríguez, B., and Domínguez-Jimenez, P. (2014). Evaluation of tuna by-product meal as a protein source in feeds for juvenile spotted rose snapper *Lutjanus guttatus*. *Aquaculture Nutrition* 20, 574–582.
7. Kim, K.-D., Jang, J.W., Kim, K.-W., Lee, B.-J., Hur, S.W., and Han, H.-S. (2018). Tuna by-product meal as a dietary protein source replacing fishmeal in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Fisheries and Aquatic Sciences* 21, 29.
8. Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V., and Ankers P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 197, 1–33.
9. Bruni, L., Pastorelli, R., Viti, C., Gasco, L., and Parisi, G. (2018). Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source. *Aquaculture* 487, 56–63.
10. Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M.T., Biasato, I., Biasibetti, E., et al. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8, 57.
11. Gamboa-Delgado, J. and Márquez-Reyes, J.M. (2018). Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Reviews in Aquaculture* 10, 224–246.
12. Lee, S.-M. (2002). Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture* 207, 79–95.
13. Shah, M.R., Lutz, G.A., Alam, A., Sarker, P., Chowdhury, M.K., Parsaeimehr, A., Liang, Y., and Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology* 30, 197–213.
14. Angell, A.R., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015) The nitrogen, protein and amino acid content of seaweeds [data set]. doi:10.4225/28/55776D6F45871
15. Angell, A.R., Mata, L., de Nys, R., and Paul, N.A. (2016). The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *Journal of Applied Phycology* 28, 511–524.
16. Sánchez-Machado, D.I., López-Cervantes, J., López-Hernández, J., and Paseiro-Losada, P. (2004). Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry* 85, 439–444.
17. Mata, L., Magnusson, M., Paul, N.A., and de Nys, R. (2016). The intensive land-based production of the green seaweeds *Derbesia tenuissima* and *Ulva ohnoi*: biomass and bioproducts. *Journal of Applied Phycology* 28, 365–375.

18. Dawczynski, C., Schubert, R., and Jahreis, G. (2007). Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chemistry* 103, 891–899.
19. Holdt, S.L. and Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology* 23, 543–597.
20. Garcia, A.J., Esteban, M.B., Márquez, M.C., and Ramos, P. (2005). Biodegradable municipal solid waste: characterization and potential use as animal feedstuffs. *Waste Management* 25, 780–787.
21. Sayeki, M., Kitagawa, T., Matsumoto, M., Nishiyama, A., Miyoshi, K., Mochizuki, M., Takasu, A., and Abe, A. (2001). Chemical composition and energy value of dried meal from food waste as feedstuff in swine and cattle. *Animal Science Journal* 72, 34–40.

5. A célnyelvi szöveg

A vízi állatok termelése során használt fehérjék jövője: Az akvakultúrában használt takarmányok fehérjéinek lehetséges forrásai

Katheline Hua,^{1,2} Jennifer M. Cobcroft,² Andrew Cole,^{2,3} Kelly Condon,² Dean R. Jerry,^{1,2,4} Arnold Mangott,² Christina Praeger,^{2,3} Matthew J. Vucko,^{2,3} Chaoshu Zeng,² Kyall Zenger,^{2,4} és Jan M. Strugnell^{2,5,*}

¹Trópusi Jövő Intézet, James Cook Egyetem, Szingapúr, Szingapúr]

²Fenntartható Trópusi Halászat és Akvakultúra Központ, James Cook Egyetem, Townsville, QLD 4810, Ausztrália

³MACRO – Makroalga-Erőforrások és Biotechnológia Központja, James Cook Egyetem, Townsville, QLD 4810, Ausztrália

⁴ARC Fejlesztett Garnélaráktenyésztés Kutatási Központ, Townsville, QLD 4810, Ausztrália

⁵Twitter: @janstrugnell

*Levelezési cím: jan.strugnell@jcu.edu.au

<https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>

A vízi állatok termelésének hozzávetőlegesen 70%-a akvakultúrából származik, amelynek során az állatokat magas fehérjetartalmú takarmányokkal látják el. Jelenleg a keveréktakarmányok halliszten és vadon befogott takarmányhalakból származó halolajon alapulnak. A takarmányhalak növekvő felhasználása azonban nem fenntartható, mivel 2025-ig további 37,4 millió tonna haltakarmányra lenne szükség, így alternatív fehérjeforrásokra van szükség. A növényi alapú összetevőkön túl a halászat és akvakultúra melléktermékei, valamint a rovarlisztek rendelkeznek a legnagyobb potenciállal a vízi takarmányoknál előírt fehérje biztosítására a következő 10–20 évben. Az élelmiszer-hulladékok szintén alkalmasak lehetnek erre a célra a nyers hulladékanyagok biotranszformációja és/vagy biokonverziója révén, míg a mikrobiális és makroalgák biomaszája csak korlátozottan használható a mértezettségük és a fehérjetartalomuk miatt. Ebben a tanulmányban leírjuk a takarmányozott akvakultúra hatékonyságának javítási lehetőségeit, és megvitatjuk az akvakultúra-ágazat társadalmilag és környezetileg fenntartható jövőjét biztosító alternatív fehérjeforrások fejlesztését és optimalizálását az akvakultúrában.

Bevezetés

A 21. század közepén már jelentkező emberi populáció növekedése miatt fontos feladat lesz a jó minőségű, tápanyagban gazdag élelmiszerekkel való ellátottság, mivel 2050-re¹ várhatóan 9,7 milliárd lakos lesz a világon, akiknek az élelmiszerellátása 25-70%-os növelését teszi szükségessé². Mindez a természeti erőforrások romlása és a mezőgazdasági alapú alapanyagok iránt folytatott egyre élesedő verseny kialakulásával egyszerre zajlik³. A népességnövekedéssel párhuzamosan a „középosztály felemelkedése” következik be, amelynek következtében a megnövekedett jólét (főleg Kínában és Délkelet-Ázsiában) az állati eredetű fehérjét egyre nagyobb arányban tartalmazó étrendre való áttéréssel jár együtt^{4,5}. Bár az állattenyésztési élelmiszer-ágazat fokozza a termelést a kereslet kielégítése érdekében, ez jelentős kihívásokkal jár, ilyen például a túllegeltetés, a vízhiány és a természetes biológiai sokféleség csökkenése^{6,7,8}. Ma már felismerték, hogy a vízi fajok tenyésztése (azaz az akvakultúra) egyre jelentősebb forrása lesz a globális állati eredetű fehérje-bevitelnek. Valójában az akvakultúra lett a leggyorsabban növekvő élelmiszer-termelési ágazat éves növekedési ütemét tekintve az elmúlt három évtizedben, az 1990-es években 10%-os éves növekedési rátával, 2000 és 2016 között pedig évi 5,8%-os éves növekedési rátával⁹. Az állati eredetű élelmiszereket tekintve az ágazat növekedése a baromfiágazat után a második helyen áll¹⁰.

Az akvakultúra-termelés a „nem takarmányozott” és a „takarmányozott” kategóriába sorolható. A nem takarmányozott akvakultúrában termelt állatok csoportja (pl. a szűrőtáplálékkal táplálkozó állatok, mint az ezüstkárász, az amur és a kagylók) a táplálékellátás szempontjából magára a termelési ökoszisztémára támaszkodik¹¹. A takarmányozott akvakultúra az ágazat legnagyobb és leggyorsabban növekvő szektora (kivéve a tengeri algákat), ahol az állatoknak általában granulált haltakarmányt adtak, vagy egész vagy feldolgozott hallal táplálták őket. Az etetett fajok étrendje szokásosan nagy koncentrációjú hallisztblől

(fehérjeforrás) és halolajból (lipidforrás, jellemzően az omega-3 sorozat hosszú szénláncú, többszörösen telítetlen zsírsavakban gazdag) állt, amelyek a kis nyílt tengeri halak befogásából származtak (Szövegdoboz 1). Sajnálatos módon az akvakultúra gyors növekedése jelentős nyomást gyakorolt a takarmányhal-állományokra¹², aminek következtében a vadon élő halászat termelési volumene 1995-ben csúcsosodott, amelyet folyamatos csökkenés követett¹³. Ugyanakkor a globális halfogyasztás azóta is évente 1,5%-kal nő az egy főre jutó halfogyasztás alapján, a vadon élő halászat pedig jelenleg stagnál¹⁴. Ez aggodalomra ad okot a vízi táplálék-hálózatok sérülésével és globális nyersanyag ellátásának fenntarthatóságával kapcsolatban, mivel a vadon fogott halakból származó biomasza körülbelül 10%-át nagy értékű, gyakran hűsevő fajok táplálására használják¹⁵. A nagy értékű terméket általában a gazdagabb országokba exportálják, ami a globális régiók közötti tenger gyümölcsei kereskedelem értékében tükröződik (1. ábra). A tíz legnagyobb akvakultúra-termelő országban (amik a globális akvakultúra-termelés 87%-át, a teljes népesség 51%-át és az alultáplált népesség 52%-át jelentik),¹⁴ az akvakultúra-termékek becsült belföldi fogyasztása 2011-ben 85%-80% volt, ami rávilágít az akvakultúra (nem takarmányozott és takarmányozott) jelentőségére az emberi fogyasztásra szánt fehérje biztosításában (1. ábra).

Az akvakultúra-ágazat jövőbeli bővülése kritikus fontosságú a fenntartható emberi táplálkozás szempontjából, és meg kell találni az egyensúlyt az erőforrás-igényes hűsevő fajok bővülő termelése és a helyi közösségeket támogató, magas hozamú, alacsony értékű fajok (pl. növényevők, vagy tömlelékevők) folyamatos termelése között¹⁶ (1. és 2. ábra).

Bár a takarmányhalakból származó halliszt és halolaj előállítása az elmúlt 20 évben folyamatosan csökkent, és az összetevők aránya a keveréktakarmányokban csökkenő tendenciát mutat, továbbra is fontos takarmánykomponensek számos ragadozó hal és a rákfélék számára²⁰.

A vízi takarmányok összetevői a táplálékfehérjén túlmenően

A halhús értékes tápanyag- és mikrotápanyag forrás, és igen fontos szerepet játszik az emberi táplálkozásban, valamint a globális élelmiszerellátásban^{9,16,17}. Amellett, hogy a halhús igen gazdag kiváló minőségű fehérjék és esszenciális aminosavakban, az egészséghez nélkülözhetetlen omega-3 vagy n-3 hosszú láncú, többszörösen telítetlen zsírsavakat (LC-PUFA), az eikozapentaénsavat (EPA) és a dokozahexaénsavat (DHA), az esszenciális ásványi anyagokat (kalcium, foszfor, cink, vas, szelén és jód), valamint a vitaminokat (A, B és D) is tartalmazza. Az akvakultúrában használt alternatív tápösszetevők egyre növekvő elterjedése mellett az haltermékeknek továbbra is fontos szerepük, hogy biztosítsák ezeknek a zsírsavaknak és mikrotápanyagoknak az egészséges szintjét az emberi táplálkozásban^{9,18}.

A modern, akvakultúrában használt tápok olyan összetevőket (nyersanyagokat) tartalmazó igényes, kikísérletezett keverék takarmányok, amelyek biztosítják a tenyésztett fajok intenzív és hatékony termelését elősegítő takarmányozási követelményeket. Ilyen nyersanyagok például a tápok alapjait képező lisztek, olajok, vitaminok, pigmentek, ásványi anyagok és koncentrátumok, amelyek jól kombinálva kielégítik a szervezet makro- és mikrotápanyagokra vonatkozó igényét. Ezek az összetevők biztosítják az egyedek gyors növekedését, támogatják az egészséges állapot fenntartását, és ezáltal olyan késztermék jön létre, amely érzékszervi és minőségi tulajdonságai alapján messzemenőig megfelel a fogyasztói igényeknek.

Hagyományosan az akvakultúrában alkalmazott takarmányok alapösszetevői a halak (takarmányhalak), mivel kiváló minőségű fehérjét, mikrotápanyagokat és lipideket tartalmaznak és kiemelkedő forrásai az többszörösen telítetlen zsírsavaknak. A takarmányhalakra nehezítő túlhalászás miatti nyomás enyhítése érdekében az alternatív fehérjeforrások kutatása mellett, a mikrotápanyagok és lipidek alternatív forrásai is alapvető fontosságúak lesznek^{18,19}. Előrejelzések szerint, a halolaj felhasználása az akvakultúrában 14%-kal növekedni fog a tengeri halak és rákfélék akvakultúra-ágazatának bővülése, és ezáltal a termékek iránti növekvő kereslete miatt. Így a globális halolajellátás az egyik korlátozó tényező az akvakultúra-takarmányipar számára^{18,19,22}. A halolaj alternatív lipidforrásai közé tartoznak a növényi olajok, állati zsírok, egyséjű olajok, algaolajok, transzgenikus olajok és hal-melléktermék olaj^{18,22}. Az alternatív lipid- és mikrotápanyagforrások tárgyalása azonban meghaladja a vizsgálat kereteit.

A halliszt teljes éves termelése 2016-ban 4,5 millió tonna, a halolajé pedig 0,9 millió tonna volt, amelyeknek 89%-át, illetve 75%-át az akvakultúra takarmányozásban használják fel²⁰. A halliszt további 23%-át, illetve 5%-át sertés- és csirkenevelésben alkalmazzák²⁰. Az előrejelzések szerint az összes akvakultúra fajra szánt takarmányok teljes termelése 75%-kal, a 2015. évi 49,7 millió tonnáról 2025-re 87,1 millió tonnára fog nőni¹¹ (2. ábra). Az ehhez a növekedéshez szükséges vadon fogott takarmányhalak mennyisége a jelenlegi takarmányösszetételek alapján elérhetetlen, miközben az ehhez az erőforráshoz való jövőbeli hozzáférés bizonytalansága kulcsfontosságú kérdés. A fenntartható módon halászott kis, nyílt tengeri halak elérhetősége a halliszt és a halolaj tekintetében 24 éve nem növekedett¹³, így az akvakultúra termelésnek egyre nagyobb arányban kell csökkentenie a takarmányokban való felhasználásuk arányát ahhoz, hogy a növekvő globális lakosság számára egyre nagyobb arányban tudjon egészséges tengeri élelmiszert biztosítani. Az akvakultúra nevelésénél alkalmazott takarmányokban így a hallisztet helyettesítő alternatív fehérjeforrásként számos növényi fehérjeösszetevőt (pl. szójaliszt, kukoricagluténliszt, repcemagliszt) és állati mellékterméket (pl. hús- és csontliszt, baromfi hús) használnak. Bár ezek a szárazföldi, növényi eredetű fehérjék (pl. szójakoncentrátum) továbbra is fontos összetevői lesznek az akvakultúrában alkalmazott takarmányoknak, de jelentős korlátokkal is rendelkeznek, mivel gyakran tartalmaznak nem tápláló elemeket, és maga az iparág is csak korlátozott mértékben képes bővíteni a termelést anélkül, hogy a föld-, víz- és foszforforrásaira további terhelést jelentenének²⁷. A 2025-ig szükséges további 37,4 millió tonna takarmány igény kielégítése érdekében kulcsfontosságú az alternatív, költségkímélő fehérjeforrások megtalálása. Ebben a tanulmányban a takarmányhalak által biztosított fehérje helyettesítésére szolgáló, újonnan megjelenő, alternatív takarmány-összetevőket vizsgáljuk, és rávilágítunk a megvalósításukkal kapcsolatos lehetőségekre és kihívásokra. Javaslatot teszünk továbbá az akvakultúra hatékonyságának a tenyésztés és a betegségekkel szembeni ellenállóképeség révén történő javítására, valamint az

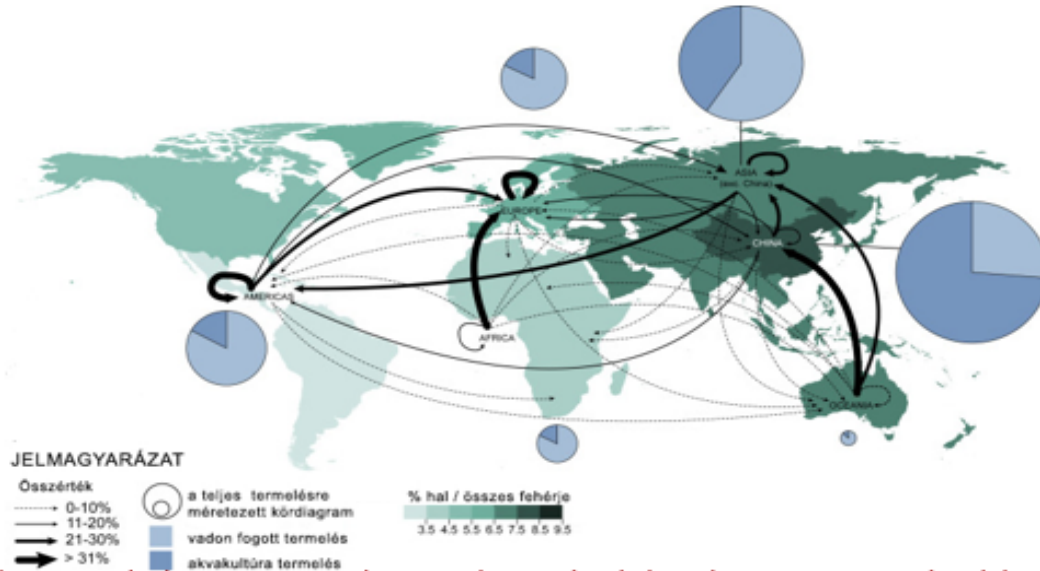
akvakultúra-ágazat gyors és fenntartható növekedésének támogatását célzó jövőbeli irányokra.

Halászati és akvakultúra-melléktermékek

A halászati és akvakultúra melléktermékei azok a nyersanyagok, amelyek az emberi fogyasztásra szánt ipari méretű halfeldolgozása után maradnak vissza. A feldolgozás után a melléktermékek 50–70%-a „elhetetlennek” minősül, és jellemzően nyesedékből áll (azaz zsigerek, fej, bőr, csont és vér)²⁸⁻³⁰. Erre a fogyaszthatatlan részre egyre inkább gyakorlati lehetőségként tekintenek (visszaszoruló természetes halászat) a halliszt helyettesítésére a keveréktakarmányokban. Jelenleg a világ halliszt-termelésének körülbelül 20%-át halászati melléktermékek felhasználásával biztosítják^{31,32}. Ezzel szemben a globális halliszt-termelésnek mintegy 10%-át az akvakultúra melléktermékeinek felhasználásával biztosítják^{31,32}. Az akvakultúra ipar folyamatos növekedése és intenzívebbé válása tehát lehetőséget ad az akvakultúra feldolgozó kapacitásának fejlesztésére, hogy további melléktermékekkel járuljanak hozzá a felhasználható halliszt arány növeléséhez. Mindez további előnyökkel is járna, többek között növelné az ágazat környezeti fenntarthatóságát, a hulladéktermékek hasznosítása révén pedig gazdasági és társadalmi előnyökkel járna, valamint a feldolgozási lánc következő szintjén új munkahelyek létesülnének, amely végső soron hozzájárulna az akvakultúra ágazat hosszú távú fenntarthatóságához²⁸.

A halliszt tápanyagtartalma az előállítás során felhasznált alapanyagok típusától és gyártási folyamatától függ. Általában az egész hal felhasználásával készült, jó minőségű halliszt 68–74% nyersfehérjét, 8–11% nyers zsírt és <12% hamut tartalmaz³³. Ezzel szemben a melléktermékekből előállított halliszt 52–87% nyersfehérjét, 7–14% nyers zsírt, valamint 12–23% hamut tartalmaz. Például a melléktermékekből előállított fehér halliszt 60–67% nyersfehérjét, 7–11% nyers zsírt és 21–23% hamut^{18,34}, a melléktermékekből előállított tonhaliszt 57–60% nyersfehérjét, 8–14% zsírt és 12–21% hamut³⁵⁻³⁸. A melléktermékekből előállított hallisztek alacsonyabb fehérje- és magasabb hamutartalma nem váratlan, mivel a tápanyag-összetétel különbözik az egész hal, a filé és más testrészek (zsigerek, fejek, bőr, csontok és vér) esetében. A halliszt

előállításához felhasznált melléktermékek eltérő aránya tehát szintén hozzájárul a melléktermékekből készült halliszt tápanyagtartalmának változatosságához.



1. ábra Akvakultúra és vadon befogott halászat termelése a globális régiókban és a tenger gyümölcsei áramlásának nagysága

A globális régiók termelési mennyisége (kördiagramok), amelyek bemutatják az exportáramlás értékét (a nyilakkal ellátott vonalak az egyes régiókból exportált teljes érték százalékos arányát jelzik), valamint a halak hozzájárulása az emberi fehérjefogyasztáshoz (a halak százalékos arányát a fehérjeigény kielégítéséhez az egyes színárnyalatok jelzik az egyes régiókban). Adatforrások: akvakultúra és vadon fogott halászati termelés^{9,23}, exportáramlás, és a halból származó fehérje emberi fogyasztása²³⁻²⁴.

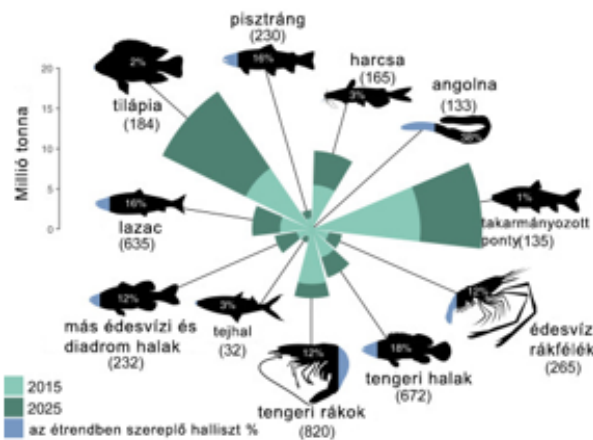
Ennek ellenére a halászati és akvakultúra-melléktermékekből származó hallisztet sikeresen alkalmazzák a vízi élőlények takarmányozásában, használata bevett gyakorlat néhány országban^{8,12,31,32}. A melléktermékekből származó hallisztek tápanyagtartalmára vonatkozó kutatások bebizonyították, hogy alternatív nyersanyagként jók használhatók. A tonhal melléktermékeiből származó halliszt a prémium minőségű hallisztból származó fehérje 25–30%-át képes helyettesíteni anélkül, hogy befolyásolná a pl. a rájaúszójú halak (*Lutjanus guttatus*) növekedési erélyét, amennyiben 15,8–21,4 százalékos arányban tartalmazza³⁷. A koreai lepényhal (*Paralichthys olivaceus*) esetében a halliszt 30%-a helyettesíthető tonhal melléktermékkel 21%-os fehérjetartalom igény mellett³⁸. A koreai szikahal (*Sebastes schlegelii*) esetében a halliszt 75%-a helyettesíthető tonhal melléktermékkel 58,1%-os étrendi beviteli arány mellett, a növekedés és a takarmány-értékesítő képesség csökkenése nélkül³⁹. A melléktermékekből származó hallisztek nem ideális tápértékű profilja kihívást jelent a kiváló minőségű halliszt teljeskörű helyettesítésében. Mindazonáltal a melléktermékekből származó halliszt még mindig életképes alternatívája a hagyományos hallisztnek és ami még fontosabb, gazdaságosabb és fenntarthatóbb fehérjeforrás³⁹.

A halliszt és halolaj ipari méretű előállítása jelentős beruházási és üzemeltetési költségekkel jár¹⁹, míg a tartós gazdasági hatékonyság fenntartása nagy mennyiségű nyersanyag alapanyag-utánpótlást igényel. Ezek a tényezők jelentős kihívást jelentenek a melléktermékek esetében, és gazdaságilag indokolatlan lehet^{32,40}, ha távoli területeken található halfeldolgozó üzemekből kell nyersanyagot

beszállítani, vagy ha csak napi kis mennyiséget állítanak elő^{26,30,40}. A melléktermékek felhasználásának teljeskörű kihasználásához összehangolt stratégiára van szükség, amely biztosítja a megfelelő létesítmények infrastruktúráját, a gazdaságosságát és a szállítási útvonalak elérhetőségét. Jelenleg ezek a tényezők korlátozzák az akvakultúra melléktermékeinek felhasználását az egyes országokban²⁸. Ettől függetlenül a halliszt és a halolaj árának emelkedése, valamint a melléktermékek pozitív fogyasztói megítélése együttesen növeli működőképességüket. Jelenleg 7,5 millió tonna mellékterméket dolgoznak fel halliszt és halolaj előállítására, és becslések szerint további 11,7 millió tonna mellékterméket pazarolnak el³². Mivel a halászatból származó haltermelés és az akvakultúra-termelés az előrejelzések szerint 2030-ban eléri a 91 és 109 millió tonnát⁹, így hatalmas lehetőségek rejlenek a melléktermékekből előállított halliszt és halolaj termelési mennyiségének növelésére.

Élelmiszer hulladék

A becslések szerint az élelmiszer-vesztés és az élelmiszer-pazarlás évente 1,3 milliárd tonna világszerte, ami az összes megtermelt élelmiszer 30%-át teszi ki.⁴¹ Az ENSZ Élelmiszeri és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) szerint élelmiszer-vesztésnek minősül az ellátási láncban elvesztett élelmiszer⁴¹, az élelmiszer-pazarlást pedig az emberi fogyasztásra alkalmas, kiselejtett élelmiszerrelemek jelentik. Egyes nagyobb városokban az élelmiszer-hulladék aránya a települések szilárd hulladékaiban akár az 50%-ot is meghaladhatja⁴².



Mivel élelmiszer-hulladékok sokféle forrásból keletkezhetnek, így tápanyag-összetételük is jelentősen eltér. Az élelmiszer-hulladékok fő tápanyagai a halkereskedelemből származó fehérjék, a zöldség-gaztatból származó szénhidrátok, a húsfeldolgozó iparból pedig a zsírok erednek, míg a háztartási és éttermi hulladékok tápanyagok igen vegyesek⁴³. A vegyes élelmiszerhulladékok nyerszsír- és szénhidrát-tartalma 7%-12%, illetve 52%-88% között változhat. Míg a nyersfehérje-tartalom az élelmiszerhulladék típusától függően 3% és 38% között változhat, az ipari feldolgozással ez az eltérés 20%-26%-ra csökkenthető⁴⁴.

Az élelmiszer-hulladékokat néhány országban (pl. Kínában) már használják édesvízi polikultúrák rendszerekben, de az akvakultúrában használt takarmánypelletekben nemigen alkalmazzák széles körben⁴². A halak növekedési erélye nagymértékben függ a tenyésztett fajtól és a felhasznált élelmiszer-hulladék típusától. A 70%-ban válogatott élelmiszerhulladékot tartalmazó haltakarmányok megfelelő növekedést biztosíthatnak az alacsonyabb profitási szinten élő halak, köztük az amur (*Ctenopharyngodon idella*), a pettyes busa (*Hypophthalmichthys nobilis*) és a sárpony (*Cirrhinus molitorella*) számára^{45,46}, de az amur faj esetében ez a típusú etetés csökkenő növekedési eréllyel párosulhat⁴⁷. A 36,5% és 73% konyhai hulladékot tartalmazó keveréktakarmány hasonlóképpen szignifikánsan kisebb súlygyarapodást eredményez a nilusi-, és kék tilápia hibrid (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aurea*) és az óriás fűrészkes sügér (*Epinephelus lanceolatus*) esetében kontrolltakarmánnyal összehasonlítva⁴⁸. A konyhai hulladék ≤20%-os bevitelle a narancsfoltos sügér (*Epinephelus coioides*) esetében megfelelő növekedést biztosít a kontrolltakarmányhoz viszonyítva, míg a 30-40%-os beviteli arány már csökkenti a növekedés intenzitását⁴⁸. Az élelmiszer-hulladékok alkalmazása az akvakultúrában használt takarmányokban számos kihívást jelent még. Az élelmiszer-hulladékok magas nedvességtartalmúak és romlandóak, valamint mikroorganizmusok vagy kórokozók lehetnek jelen, ami egészségügyi és biztonsági kockázatot jelenthet^{42,49}. A növényi eredetű hulladékok nem táplálék elemeket is tartalmazhatnak⁴². A kezdeti hulladékszétválogatás is nehézségekre ütközik. Nem csak a különféle élelmiszer-hulladékok szelektálása okoz gondot, hanem az élelmiszer-hulladékokon kívüli egyéb hulladékoktól való elkülönítés is, ami a tápanyag-összetételben és a szennyezettségben is nagy eltéréseket eredményez. Ezek a problémák a kórokozók fertőtlenítésével mérsékelhetők⁴², a táplálékanyag tartalom növelésével szolgáló takarmányadalékanyagok (pl. enzimek) alkalmazásával^{42,49},

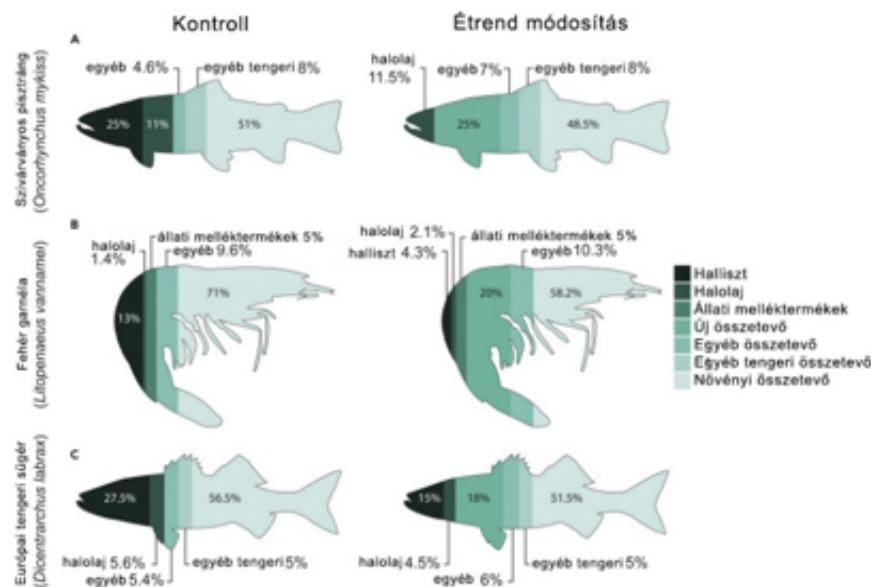
2. ábra. Az akvakultúra-takarmányokban használt halliszt iránti tervezett kereslet

A főbb tenyésztett akvakultúra-fajcsoportok becsült takarmány mennyiségi igénye (millió tonna) 2015-ben és 2025-ben, valamint 2015-ben a halliszt felhasználása az egyes állatcsoportok takarmányozásában (az egyes állatok esetében kék színével ábrázolva). Az egyes fajcsoportok szimbólumán belüli értékek (százalék) a 2015-ös becsült halliszt bevittelt jelentik. Az egyes fajcsoport-szimbólumok melletti zárójelben szereplő értékek a takarmányokban szereplő halliszt becsült mennyisége 2015-ben (ezer tonna). Adatforrások: 2015-ben a halliszt aránya haltakarmányban, becsült takarmány iránti igény

vagy akár az élelmiszer-hulladékok gyűjtésének infrastrukturális fejlesztésével a szelektálás és a nyomonkövethetőség javítása érdekében. Alternatív megoldásként az élelmiszer-hulladék közvetlen felhasználása helyett további lehetőségek állnak rendelkezésre, beleértve a biotranszformációt is. A biokonverzió, amikor az élelmiszer-hulladékot rovarok és/vagy algák tápanyagforrássáként használják fel, ezeket később takarmányforrássáként lehet felhasználni.^{42,46} Biotranszformáció esetén az élelmiszerhulladékot szilárd fázisú fermentáció révén⁴² mikroorganizmusok tápanyagforrássáként használják, ugyanezzel a céllal. Az élelmiszer-hulladékok állati takarmányban való felhasználása számos ázsiai országban elfogadott és szabályozott, máshol azonban negatív előítéletek vannak a hulladékok takarmányforrássáként való felhasználásával kapcsolatban⁴⁹. Egyes országokban (pl. az Európai Unióban) szabályozási korlátozások léteznek, az élelmiszer-hulladék helyett inkább az élelmiszer-pazarlásból származó maradványok jöhetnek számításba takarmány-összetevőként^{42,50}. Bár további gazdasági elemzések szükségesek az élelmiszerhulladékok állati takarmányban való felhasználásának meghatározásához, az alacsonyabb fehérjeszükséglet és az élelmiszer-hulladékok alacsony fehérjetartalma miatt alkalmasak lehetnek az alacsonyabb profitási szinten élő édesvízi halak számára.

Rovarak

A rovarok előállítására, mint a vízi állatok takarmányának fehérjeforrására nem versenyez az emberi táplálékforrásokkal, vagy az emberi élelmiszertermeléssel. A rovarok életciklusa rövid és különféle szerves anyag szubsztráton növekedhetnek, magas termelékenységgel és magas takarmány átalakító képességgel^{51,52}. Megfelelő táplálkozási típusal kombinálva számos országban egyre nagyobb figyelmet szentelnek a rovarlisztnek, mint megfelelő haltakarmány-összetevőnek. Az Európai Unió az (EU) 2017/893 rendeletben 2017 júliusától engedélyezte a rovarokból származó feldolgozott állati fehérjék (azaz rovarliszt) haltakarmányokban való felhasználását. Jelenleg hét engedélyezett rovarfaj létezik, amelyeket takarmányozási célra alkalmas szubsztráton kell nevelni. Bár ezek a fajok nem fertőzőek, fertőzést nem terjesztenek és nem idegenhonosak⁵³, a kutatások mégis leginkább a fekete katonalégyre (*Hermetia illucens*), a közönséges házilégyre (*Musca domestica*) és a közönséges lisztbogárra (*Tenebrio molitor*) összpontosulnak. A legtöbb rovarban a nyersfehérje mennyisége 40% és 63% között változik, a zsírtalanított rovarliszt azonban akár 83% nyersfehérjét is tartalmazhat⁵⁴. Az aminosavprofilok taxonfüggőek és fajonként változnak, a *Diptera* csoport (valódi legyek) pedig a hallisztéhoz hasonló formákat mutat⁵⁵⁻⁵⁷.



3. ábra. Esettanulmányok a halliszt helyettesítéséről a táplált akvakultúra-fajok takarmányában.

A halliszt teljes vagy részleges helyettesítése alternatív fehérjeforrásokkal egyenértékű, vagy nagyobb növekedési erélyt mutatott az állatokban, mint a kontroll takarmány felhasználásakor. Az állatok szimbólumainak színerőssége a táplálóanyagok arányát mutatja.

(A) A szivárványos pisztrángot (*Oncorhynchus mykiss*) 25% hallisztet tartalmazó kontroll, illetve 25% sárga lisztkekac fehérjét tartalmazó kísérleti takarmánnyal etettek⁶¹.

(B) A fehérhábú ostorgarnélát (*Litopenaeus vannamei*) 13% hallisztet tartalmazó kontrolltakarmánnyal, illetve 20%-os mikrobiális biomasszával és 4,3%-os hallisztet tartalmazó kísérleti takarmánnyal etettek⁶⁶.

(C) Az európai tengeri sügér esetében a kontroll csoportot (*Dicentrarchus labrax*) 27,5%-os hallisztet tartalmazó takarmánnyal, a kísérleti állományt pedig 18% fagyaszta szárított mikroalgával, valamint 15% halliszttel dúsított keveréktakarmánnyal etettek⁶⁷.

A rovarok nyers lipid mennyisége 8,5% és 36% között változik, míg a zsírsavprofilok változóak és jelentősen függenek a fejlődési szakasztól és a tápanyagforrásként használt szubsztrátumoktól^{55,57}. A rovarok elhanyagolható mennyiségben tartalmaznak eikozapentaénsavat (EPA) és dokozahexaénsavat (DHA), alacsonyabb mennyiségű omega-3 zsírsavat és magasabb mennyiségű omega-6 zsírsavat tartalmaznak a halliszthez képest. A lipidek minősége befolyásolható a rovarok felneveléséhez használt szubsztrátumokkal és lehetséges az EPA- és DHA-tartalom dúsítása a rovarok hal belsősegeken való nevelésével.⁵⁸ Ez azonban gazdaságilag kevésbé előnyös, mint a hal melléktermékek közvetlen haltakarmányként való felhasználása.⁵⁷ A vitamin- és ásványi anyag tartalom szintén nagymértékben függ a szubsztrát típusától⁵⁷. A rovarok alacsony szénhidrát-tartalmúak (<20%), ezek is többnyire kitin különböző formái, azaz a glükózamin polimerje⁵⁵⁻⁵⁷ viszont nem tartják táplálónak, mert a halak nem képesek megemészteni⁵⁹. Vannak azonban olyan kutatások, amelyek azt mutatják, hogy a kitin alacsony szintje immunstimulánsként hathat⁵⁷.

A legtöbb olyan tanulmányban, amelyben a hallisztet rovarliszttel helyettesítik, a részleges pótlást javasolják (Tran et al.⁵⁷ és Harry et al.⁵⁷). Azonban a közelmúltban egyre több tanulmány számol be arról,

hogy a halliszt 100%-os helyettesítése is sikeres lehet még a ragadozó halak esetében is. Például az atlanti lazac fajtában (*Salmo salar*) a fekete katonalégylárvák felhasználásával előállított rovarlisztet a halliszt 100%-át helyettesítette 14,75%-os fehérjetartalmú étrend mellett⁶⁰. A közönséges lisztbogár felhasználásával előállított rovarliszt 5%-ról 25%-ra növelte a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) növekedési erélyét és elérte a halliszt 100%-os helyettesítését⁶¹ (3A ábra). Hasonló megfigyeléseket végeztek vörös tengeri sügér (*Pagrus major*) esetében is, amikor zsírtalanított sárga lisztkekac lárvákat használtak fel a takarmányozás során, amely 25–65%-os arányban javította a növekedési erélyt és a betegségekkel szembeni ellenálló képességet⁶². A rovarlisztnak a halfilé érzékszervi tulajdonságaira gyakorolt hatásaival kapcsolatban ellentmondásos eredmények találhatók a szakirodalomban. Egyes jelentések szerint a rovarliszt befolyásolja az atlanti lazac⁶⁰ és a szivárványos pisztráng⁶³ filéjének érzékszervi profilját, de más vizsgálatok nem mutattak érzékszervi különbségeket az atlanti lazac⁶⁴, a szivárványos pisztráng⁵⁸, vagy a közönséges ponty⁶⁵ esetében.

A rovarliszt akvakultúrában felhasznált takarmányokba való beépítésének kihívásai közé tartoznak a változó és legtöbbször kedvezőtlen

tápanyagprofilok^{65,66}. Ráadásul a rovarliszt jelenleg nem számít versenyképes alapanyagként a vízi fajok takarmányozásában⁶². Az európai tengeri sügér (*Dicentrarchus labrax*) esetében végzett gazdasági elemzés kimutatta, hogy a sárga liszt kukac takarmányba való beépítése megnövekedett takarmányozási költségeket eredményezett⁶⁸. Ezenkívül a rovarliszt termelési szintje jelenleg nem elegendő a folyamatos felhasználáshoz^{62,68}, bár a globális termelés egyre növekszik. Például a fekete katonalégy termelése a 2014–2015-ös években 7000 tonnáról 8000 tonnára nőtt, 2016-ban pedig 14 000 tonnára⁶⁹. Amennyiben ez a tendencia így folytatódik, akkor a rovarliszt ára az előrejelzések szerint 2023-ra versenyképes lesz a halliszt árával⁶⁹. Fontos lesz a termelési mennyiség növelése az árak versenyképességének és a termelés stabilitásának javítása érdekében⁶². A rovarliszttekkel takarmányozott halak társadalmi és környezeti felelősségudatát megtestesítő marketingstratégiák is hozzájárulhatnak a rovarok haltakarmányokban való felhasználásának fellendítéséhez⁶⁸.

A rovarok tápanyag mennyisége növelhető a rovartáplálék és a kiegészítő táplálékosztályok kombinálásával, vagy a tápanyagforrásként használt szubsztrátum manipulálásával a zsírsavtartalom, az emészthetőség, sőt az ízletesség javítása érdekében⁶⁷. A rovarforrás zsírsók csökkentése szintén növelheti az előállított végső rovareredel fehérjetartalmát⁶⁷. Ezen túlmenően az erőforrás-hatékonyság növelhető úgy is, ha az élelmiszer-hulladékot a rovarok szubsztrátumaként használják fel, hogy értékes takarmányfehérjét állítsanak elő az haltakarmányok számára azokban az országokban, ahol a jogszabályok nem tiltják a rovar alapanyagokat. Bár technológiai fejlesztésekre van szükség az állandóan jó minőségű termék előállításához, a rovarliszt haltakarmányokban való felhasználása hosszú távú potenciállal rendelkezik, ha az ár versenyképes és a kínálat fenntartható.

Mikrobiális biomasza

A különféle mikroorganizmusokból előállított mikrobiális biomasza, más néven „mikrobiális fehérje” vagy „egysejtű fehérje”, ígéretes helyettesítője az állati, vagy növényi eredetű összetevőknek az akvakultúrában használt keveréktakarmányokhoz^{19,70-74} (3B. ábra).

A mikroorganizmusok igen változatos csoportja közül általában a baktériumokat, élesztőket és mikroalgákat tekintik a legnagyobb potenciállal rendelkezőnek a takarmányok számára⁷⁰⁻⁷³. Ennek a potenciálnak elérése érdekében a termelés méretének javítására kell összpontosítani, amely biztosítja a gyártási kapcsolatrendszer környezeti szempontból fenntarthatóságát és csökkenti a termelési költségeket⁷⁰⁻⁷².

A baktériumok és az élesztők viszonylag magas fehérjetartalommal rendelkeznek (50–65%, illetve 45–55%), aminosavprofiljaik hasonlóak a halliszthoz^{70,72,73} és feltehetően megfelelő takarmány-adalékanyagként használhatók, vagy alternatív nyersanyagként^{70,72-77}. A baktériumok és élesztők táplálékosztályi formája manipulálható vagy javítható a táptalajok, a növekedési feltételek és a begyűjtés utáni kezelések módosításával.⁷⁰⁻⁷² Az így előállított mikrobiális biomasza kiváló táplálékosztályi jellemzőket

biztosíthat a vízi állatok számára.^{70,72-77} Például a hidrolizált lignocellulóz biomaszából fermentáció útján nyert élesztők alkalmas fehérjeforrásként szolgálnak a halak számára, beleértve a ragadozó fajokat, például az atlanti lazacot és a szívóványaos pisztrángot, azzal a feltétellel, hogy a takarmányhoz további mesterséges metionint kell adagolni⁷². A kereskedelemben számos termék is kapható^{70,72,74}, köztük a Novacq, amely egy hatékony mikrobiális bioaktív anyag, amely az óriás csíkos ostorgarnéla (*Penaeus monodon*) takarmányában szükséges halliszt mennyiségét csökkentheti, miközben a növekedési erélyét fenntartja.⁷⁵ Annak ellenére, hogy a baktériumok és élesztőgombák nagy potenciállal rendelkeznek a vízi élőlények takarmányainak alternatív fehérjeforrásként, felhasználásuk még mindig korlátozott a magas előállítási költségek miatt⁷³. Alkalmasságukat és bekeverési arányukat fajok szintjén is értékelni kell, különös tekintettel az emészthetőségükre és a mikrobiális biomaszában található tápanyagok biológiai hozzáférhetőségére^{70,72,73,75,76}.

A mikroalgákat az akvakultúra-iparban takarmányforrásként termelik és használják, és számos akvakultúra faj lárvanevelési szakaszában felbecsülhetetlen értékűek⁷⁷. A mikroalgák tápanyag mennyisége magas, nyersfehérje-tartalmuk elérheti akár a 71%-ot, lipidtartalma pedig akár a 40%-ot is, ami hasonló a szárazföldi növényi és állati forrásokéhoz⁷⁸⁻⁸⁰. A mikroalgák képesek helyettesíteni a hallisztet és a halolajat a keveréktakarmányokban^{71,77,81} és számos tanulmányban igazolták a mikroalga-biomassza sikeres felhasználását takarmány-adalékanyagként, vagy halliszt-helyettesítőként számos vízi faj esetében. Általában pozitív hatással van a növekedésre és a minőségre^{70,81-87} (3C. ábra). A mikroalgák biológiai erőforrásként való alkalmazását, amelyet számos akvakultúrában tenyésztett faj esetében a takarmány-összetevők helyettesítésére használnak, pozitív kutatási eredmények támasztanak alá, ami arra mutat, hogy a mikroalgák fehérjeforrásként való felhasználásában nagy lehetőségek rejlenek. Ezt a potenciált azonban csökkentik a kiváló minőségű mikroalga biomasza folyamatos előállításával, illetve annak nagyüzemi feldolgozásával kapcsolatos műszaki, biológiai és gazdasági nehézségek^{40,78,88-90}. A világ jelenlegi (auto- és heterotróf) mikroalga termelése a becslések szerint évente körülbelül 40 000 tonnára becsülhető⁹⁰, amely mindössze 0,7%-a annak, amire ténylegesen szükség lenne a hallisztből származó fehérje akvakultúrában történő helyettesítéséhez. Ezenkívül a mikroalgák jelenlegi ára 10 és 30 amerikai dollár között mozog kilogrammonként, amely nagyságrenddel magasabb, mint a szójaliszté (0,30 amerikai dollár kilogrammonként), ezért a globális termelés az emberi táplálékkiegészítők és a táplálékkiegészítő gyógyszerek piacára korlátozódik^{19,90}. Bár történetek vizsgálatok a mikroalgák költség-, és termelékenységének modellezésére az akvakultúra ágazat fehérjeigényének kielégítésére⁸³⁻⁸⁵, de ezek csak elméleti tudományos összefüggésnek tekinthetők, mivel nem veszik figyelembe a közepesebb méretű (<1 hektár) és a nagyüzemű (>10 000 hektár) termelési egységek közötti jelentős különbségeket. A

jelenlegi alacsony mennyiségek, magas termelési költségek és a természetesi kihívások miatt igen valószínű, hogy a következő évtizedben a mikroalgák életképes alternatív fehérjeforrássá válnak a keveréktakarmányok számára.

Makroalgák

A tengeri makroalgák (más néven tengeri moszatok) termelése egy olyan fejlett iparág, amely a globális akvakultúra-termelés közel 30%-át teszi ki, évi 30 millió tonnás termelési mérettel, amelynek értéke meghaladja a 6 milliárd dollárt⁹⁶. Az összes megtermelt tengeri moszat közel 90%-át Kínában és Indonéziában állítják elő^{9,96}. A fő moszattípusok, amelyek a teljes termelés 95%-át teszik ki, az *Eucheuma* spp., *Laminaria japonica* (kombu moszat), *Gracilaria* spp., *Undaria pinnatifida* (wakame moszat), *Kappaphycus alvarezii* és *Porphyra* spp. (nori moszat)^{9,96,97}, amelyek többségét szinte kizárólag emberi fogyasztásra termelik^{9,96,98}. Amellett, hogy szerteágazó felhasználási irányokat céloznak meg a makroalgákkal, a közelmúlt fejlesztései bebizonyították, hogy mind a moszatok, mind az édesvízi makroalgák jelentős kármentesítési képességgel rendelkeznek, hiszen a mezőgazdaságból, akvakultúrából, települési szennyvíztisztításból és áramtermelésből származó szennyvíz gazdag tápanyagait saját forrásaikba építik⁹⁹⁻¹⁰⁴. Ennek a koncepciónak az alapja az, hogy a növekedés során ezek a makroalgák felveszik a vízszlopból az oldott tápanyagokat (különösen a szervesen nitrogént és foszfátot), amelyeket egyébként veszteségként jelennének meg, de a vízszlopból történő asszimiláció révén biomasszává alakul, következésképpen fehérjeforrás képződik belőlük. Ez egyedülálló lehetőséget biztosít a hulladék tápanyagok visszanyerésére, lehetővé téve ezen iparágak számára a termelés bővítését és fokozását, miközben minimalizálják a környezetre gyakorolt hatásukat. Ennek az erőforrásnak potenciális mérete óriási: a biomassa termelésének bizonyított mértéke évente 45-70 tonna szárazanyag hektáronként, átlagos nyersfehérje-tartalma pedig 22%¹⁰³⁻¹⁰⁵.

A nyersfehérje aránya a makroalgákban, különösen a vadon termő növényekben, nagyon változó, a biomassa száraz tömegének <1%-tól 48%-ig terjed^{99,106-109}, amely a fajtól és a környezeti feltételektől is nagymértékben függ. Meg kell jegyezni, hogy a szakirodalomban szereplő nyersfehérje értékek sokszor túlbecsültek¹¹⁰, valójában a nyersfehérje-tartalom 10%-30% között változik, amennyiben nincs tápanyag korlátozó tényező a termelés során¹¹¹⁻¹¹³. Ennek ellenére a makroalgák jó minőségű fehérjeforrásnak számítanak, mivel a fajok többsége az összes aminosavhoz viszonyítva egyenértékű, vagy magasabb összes esszenciális aminosavval rendelkezik, mint a hagyományos mezőgazdasági termények és halliszt^{99,113-115}. Például a halak és rákfélék növényi alapú takarmányában az egyik első korlátozó aminosav a metionin¹¹⁶, amely a makroalgákban a szójaliszthez képest nagyobb arányban van jelen az aminosav készletben, akár kétszeres mennyiségben is^{99,110,114}. Ezzel szemben az esszenciális aminosavak abszolút koncentrációja a teljes biomassa alapján számítva lényegesen alacsonyabb a makroalgákban (5,5% száraz tömeg), mint a szójaliszthoz (22,3% száraz tömeg) és a

hallisztban (31,2% száraz tömeg)¹¹³, a komplex poliszacharidok, más néven élelmi rostok magas koncentrációja (akár 76% száraz tömeg) miatt¹¹⁷. Az élelmi rostok korlátozzák az algafehérje frakciók emészthetőségét és befolyásolják az általános tápanyag mennyiséget, ha a vízi élőlények számára fejlesztett takarmányokba kerülnek¹¹⁸⁻¹²⁰. Ennek megfelelően a makroalgák 10%-nál nagyobb arányú felhasználási mennyisége általában negatív hatással van a kereskedelmi halfajok növekedésére és takarmány-értékesítésére¹²¹⁻¹²⁴. A makroalgák azonban még akkor is alkalmasak takarmány kiegészítésre, ha alacsonyabb szinten használják fel takarmány-összetevőként. Amennyiben 10%-nál kisebb arányban szerepelnek, akkor gyakran pozitív hatást gyakorolnak a tenyésztett állatokra^{122,125,126}. A makroalgákban található bioaktív vegyületeknek egészségjavító hatásai vannak, beleértve a stresszel szembeni jobb ellenálló képességet és a fokozott immunvédelmet¹²⁷⁻¹³¹. Ezenkívül a makroalgák javítják a tenyésztett halak ízét és serkentik a táplálkozási kedvet^{132,133}, ami közvetve növeli a fehérjebevitelt^{127,134,135}. A teljes makroalga biomassa funkcionális takarmány-adalékanyagként való felhasználása a víziállatok számára ígéretes felhasználási forma.

A teljes makroalga biomassa alternatív fehérjeforrásként történő felhasználása hatékony volt a növényevő víziállattípusok nevelése során¹³⁶⁻¹⁴⁰. Ez különösen sikeres volt az abalon kagyló esetében, ahol a hínárnövényt használt elfolyóvízes közegben termesztették, majd takarmányként használták fel a kagylók számára¹⁰⁰. A makroalgák mindenevő fajoknál történő felhasználására is van lehetőség¹⁴¹, mivel ezeknek az állatoknak a ragadozó halakhoz képest alacsonyabb a fehérjeszükségletük¹⁴². Jelenleg a makroalgák a ragadozó halak takarmányozásában történő felhasználásának lehetősége és értéke inkább abban rejlik, hogy funkcionális takarmány-összetevőként használják ezen állatok egészségének és jólétének javítására, semmint működőképes, nagyüzemi, alternatív fehérjeforrásként. Amennyiben a makroalgákkal kívánjuk helyettesíteni a hallisztet a takarmányokban, akkor a biomassa feldolgozására van szükség a fehérje koncentráltabb formájának előállításához. Az elérhető fehérje közvetlen kivonásával és izolálásával, vagy a nem fehérje komponensek, például a hamu és az oldható szénhidrátok, eltávolításával jelentősen növelhető a fehérje relatív aránya a maradék makroalga biomasszában^{105,143-146}. Ezek az eljárások azonban még mindig fejlesztés alatt állnak és nem kerültek kereskedelmi forgalomba¹⁴⁵, de sikeresen alkalmazták őket egy Japánban kereskedelmileg termesztett bioremediációs hínárfajra (*Ulva ohnoi*), ahol a fehérjetartalmat 22%-ról 45%-ra növelték száraz tömegre vonatkoztatva¹⁰⁵. Fontos, hogy az említett vizsgálatban a koncentrált fehérje minősége összehasonlítható volt a szójaliszthoz és a fehér halliszt minőségével, ami arra utal, hogy megfelelő fehérjepótló lehetőség lenne, azzal a feltétellel, hogy még valós körülmények között (in vivo) is szükséges tesztelni. Bár ez az eljárás jelenleg még gyerekcipőben jár, de a makroalgák fehérjeforrásként való alkalmazása bizonyosan növekedést fog biztosítani a világ fehérjeellátásában. A bioremediációval termelt makroalgák



környezetbarát alternatívát jelentenek számos hagyományos fehérjeforrással szemben és segítenek enyhíteni az akvakultúra és a szárazföldi állattenyésztés közötti fehérjeforrásokért folyó versenyt.

A hatékonyság javulása

Az állatok növekedési teljesítményének és egészségi állapotának javítása kulcsfontosságú nemcsak az akvakultúra termelési költségeinek, hanem a környezeti hatások csökkentése érdekében is, beleértve a szén-dioxid kibocsátását mérséklését^{147,148}. Az akvakultúra termelésben ez hagyományosan a takarmánykészítmények optimalizálásával valósult meg, a leghatékonyabb takarmányhasznosulási arányok (FCR) elérése érdekében. Ezek az egységnyi állati biomassza-nyereség előállításához elfogyasztott takarmány mennyiségét jelentik¹⁴⁸. A takarmányhasznosulás optimalizálása az állatok túlélési és növekedési tulajdonságainak maximalizálásán alapul¹⁴⁹⁻¹⁵⁰. Olyan fajok esetében azonban, amelyek viszonylag nagy mennyiségű hallisztet és halolajat igényelnek, környezeti és gazdasági szempontból ez fenntarthatatlan lehet a korlátozott halászati erőforrások miatt. Fenntartható megoldást jelentene, ha a tenyésztett állatokat megújuló növényi eredetű és újonnan megjelenő alternatív fehérje- és olajtermékekkel takarmányoznánk. Az ilyen típusú takarmányozás mellett a nevelési technológia, a fajspecifikus takarmányelőállítás, a funkcionális takarmányadalékok, a szelektív tenyésztési gyakorlatok és ezek kölcsönhatása (azaz a genotípus × takarmányhasznosulás kölcsönhatása) révén javíthatjuk eredményesen az FCR-t és más termelési jellemzőket^{148,151}. Következésképpen az akvakultúra termelés hatékonyságának javítására kimagasló lehetőségek vannak.

A növényi alapú takarmányokra való áttérés kihívást jelent, ennek érdekében a növényi összetevőknek az állatok növekedésére és egészségére gyakorolt hatásait széles körben tanulmányozták¹⁵²⁻¹⁵⁴. A növényi alapú takarmányok jellemzően olyan szénhidrátokat tartalmaznak, amelyek a ragadozó állatok számára alacsony emészthetőségűek, valamint olyan nem tápláló elemeket tartalmaznak, amelyek befolyásolják a takarmányfelvételt, a takarmányértékesítést, az anyagcserét és a természetes ellenállóképeség mértékét^{155,156}. A táplálkozási stratégia tekintetében a ragadozó (pl. lazac és tonhal), illetve a mindenevő, vagy növényevő fajok (pl. garnélarák, tilápia, harcsa és pontyfajok) eltérő mértékben képesek hatékonyan felhasználni a különféle állati, vagy növényi takarmány-összetevőket. A közelmúltban a takarmánykészítmények minősége javult, lehetővé téve egyes fajok esetében az állati eredetű takarmányok teljes mértékű helyettesítését növényi eredetűekkel¹⁵⁷. Ezek az eredmények azonban fajspecifikusak és a növényi alapú összetevőkkel való teljes helyettesítés továbbra is negatívan befolyásolhatja más fajok túlélését és növekedési ütemét¹⁵⁸. A takarmány alapanyagok feldolgozásában és a géntechnológiában elért modern fejlődés alapján ma már lehetőség van olyan növényi kultúrák takarmány-összetevőként történő feldolgozására és/vagy átalakítására, amelyek kifejezetten a növényi

eredetű termékek takarmányokba való beépítésének kihívásait kezelik^{159,160}.

Jelenleg a növényi fehérje elsődleges forrása a szójaliszt az akvakultúrában használt takarmányokban¹⁵⁹. A szójabab negatív hatásainak kiküszöbölésére biotechnológiát (azaz génexpressziót és géncsendesítést/géngátlás) alkalmaznak a nem tápláló elemek elnyomására, vagy a magfehérje összetételének megváltoztatására a jobb emészthetőség érdekében¹⁵⁹⁻¹⁶¹. Ezen túlmenően a biotechnológia felhasználható minőségi értéknövelésre a szójabab genetikai módosításával, hogy egyedi termékeket állítsanak elő speciális állati követelményeknek megfelelően. Például a nagyobb omega-3 zsírsavat tartalmazó szója felhasználható az állatok növekedésének fokozására^{89,162}, az emberi egészség fejlődésére és a génkezeléssel karotinoidot tartalmazó szójabab alkalmas a lazachús pigmentációjának fokozására^{161,163}. Vannak olyan kutatások is, amelyek a növényi biotechnológiával előállított vakcinák prototípusainak felhasználását mutatják be, amelyeket növényi alapú takarmányokba lehet beépíteni tömeges immunizálást igénylő fajok számára^{161,164}.

A szójabab módosítása mellett megjelentek a funkcionális takarmány-adalékanyagok is az akvakultúrában tenyésztett fajok takarmányaiban^{75,165-167}. A funkcionális takarmány-adalékanyagok közvetetten növekedésserkentőként működhetnek azáltal, hogy javítják az immunrendszer működését, csökkentik az oxidatív stresszt és fokozzák a betegségekkel szembeni ellenállóképeséget, ahelyett, hogy közvetlenül a növekedéshez nélkülözhetetlen többlet tápanyagokat biztosítanak. Számos olyan termék létezik kereskedelmi védjegyekkel ellátva (pl. Novacq, ALIMET és Sanocare), amelyek jobb megmaradásról és növekedésről számolnak be¹⁶⁸⁻¹⁷¹, bár ezek hatóanyagai között lehetnek növényi eredetű, tisztításból nyert bioaktív anyagok. Leginkább azonban úgy tűnik, hogy a legtöbbjük mikrobiális biomassza eredetű forrásból származik. A mikrobák rekombináns tervezésének hiányában a funkcionális takarmány-adalékanyagok előállítására használt eljárások többsége biológiai hatások kutatása és nem rendelkeznek a szabadalom érvényesíthető védelmével (pl. US H2218H). Következésképpen előállításukat és hatásmechanizmusukat nagyfokú kereskedelmi titoktartás övezi. A mikrobiális biomassza termékekkel kapcsolatos számos szabadalom áttekintése után nyilvánvaló, hogy hatásmechanizmusuk az immunstimuláció, a bél mikrobiális/mikrobiom moduláció, vagy a tápanyagelemek, köztük a szelén (EP1802716A1 szabadalom), a glükozamin (US H2218H szabadalom) és az esszenciális zsírsavak (JP598652B2 és US6255505B1 szabadalom) jobb kifejeződése révén valósul meg. Tekintettel arra, hogy a funkcionális takarmányok többsége elősegíti az immunválaszt és a növekedést, talán félrevezető, ha ezeket „opcionális adalékanyagoknak” tekintjük a vízi élőlények számára előállított takarmányokban. Inkább olyan adalékanyagoknak tekinthetők, amelyek a jelenlegi takarmánykészítmények összetételének hiányosságait enyhítik. Annak felismerése, hogy a takarmányoknak biztosítaniuk kell a táplálkozási igények teljes spektrumát, hogy támogassák az

állaton belüli többféle biológiai útvonal működését (beleértve a szabályos immunválaszra való képességet hagyományos tenyésztési körülmények között), amely logikusabb és tervszerűbb megközelítést tesz lehetővé a halliszt helyettesítésére.








































Számos tanulmány a takarmánykészítmények javítására törekszik, míg mások a különféle takarmányokkal etetett állatok teljesítményének javítására összpontosítanak korszerű genetikai programokon keresztül^{147,151}. Számos vizsgálat igazolta a genetikai változékonyság meglétét a különböző vadon élő állományokban, valamint a halliszttal és így fehérjével különböző arányban takarmányozott háziállatoknál. Például az óriás édesvízi garnélarák (*Macrobrachium rosenbergii*)¹⁷², az oreokmin sügerek nemzetségébe tartozó halak (*Oreochromis* spp.)¹⁷³ alternatív genetikai törzsei és az óriás csikos garnéla (*Penaeus monodon*)¹⁷⁴ eltérő vadon élő állományai (különálló genetikai készletek) különböző képességekkel rendelkeznek az eltérő állati fehérjék fogyasztásának hatására. Továbbá a tenyésztett halak takarmányhatékonysági tulajdonságaira (FCR és előrejelzett takarmányfelvétel [RFI]) vonatkozó átlagos örökölhetőségi indexe (h^2) becslések szerint 0,07 és 0,47 között mozog, amely alátámasztja a szelektív tenyésztési programokon keresztül történő genetikai javítás lehetőségét^{148,175}. Ezekben a vizsgálatokban a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss* FCR $h^2=0,12$; RFI $h^2=0,13-0,23$)^{176,178}, a tengeri sügér (FCR $h^2=0,23$ törzskönyvi, genomikus 0,47)¹⁷⁷, a nagy maréna (*Coregonus lavaretus*; FCR $h^2=0,07$ törzskönyvi)¹⁷⁸ és a nilusi tilápia (*Oreochromis niloticus* FCR $h^2=0,32$)¹⁷⁹ mérsékelt örökölhetőségi indexekkel rendelkezett, amelyek a szárazföldi állatokéhoz hasonlóak voltak (h^2 index = 0,12–0,67)¹⁷⁹⁻¹⁸¹.

Míg a takarmányozási hatékonyságra vonatkozó örökölhetőségi becslések kezdenek megjelenni a tenyésztett halfajok esetében, az átfogó örökölhetőségi mérések hiánya a többi víziállat esetében részben a tulajdonságok pontos mérésének nehézségeiből adódik¹⁸². Bár az akvakultúra takarmányozási hatékonyságának szelektív tenyésztés céljából történő mérésének koncepciója régóta létezik, a szárazföldi állattenyésztéshez képest elmarad, mivel a takarmányfelvétel rutinszerű rögzítése az egyes állatoknál a kereskedelmi vízi rendszerekben jelentős kihívást jelent^{176, 182}. Ezért a takarmányhatékonyság fenotípusos tulajdonságszelekcióval történő javítása az akvakultúrában nehézségekbe ütközhet. A genomikai megközelítések, például a "genomikus szelekció" fejlesztése növelheti a takarmányhatékonysági tulajdonságok becsült tenyésztési értékeinek

pontosságát, amelyeket azután szelektív tenyésztési programokban lehet majd felhasználni¹⁸³. Ebben a megközelítésben nagyszámú, az egész genomra kiterjedő genetikai marker segíti az állatok szelekcióját. Ebben az esetben a takarmányhatékonyságot szabályozó legtöbb mennyiségi tulajdonság lokusz (QTL) legalább egy genomikus markerrel erős kapcsolati egyensúlyban van. A genomikus szelekciós módszertan egyidejűleg becsüli az összes releváns QTL kombinált genetikai hatását és pontos előrejelzést ad az állat genetikai értékére vonatkozóan¹⁸⁴.

Különösen érdekes a tenyésztett víziállatok szelektív tenyésztése, amelyek képesek a növényi eredetű összetevőket hatékonyan, negatív mellékhatások nélkül felhasználni. Például a szivárványos pisztráng (*Oncorhynchus mykiss*) növekedési jellemzői körül jelentős genetikai variabilitás figyelhető meg, amikor növényi alapú takarmányt kapnak (beleértve a testtömegre vonatkozó magas öröklődési becsléseket; pl. 0,43–0,69)¹⁸⁵, amely arra utal, hogy további genetikai fejlődés érhető el¹⁸⁵⁻¹⁸⁷. További vizsgálatok kimutatták a növekedési tulajdonságok genetikai javulását a növényi alapú táplálkozásra szelektíven tenyésztett állatok (pl. szivárványos pisztráng¹⁸⁷ és lazac¹⁸⁸) esetében. Amikor azonban a haszonállatokat a hagyományos takarmány-összetevőkről a növényi alapú étrendekre állítják át, figyelembe kell venni a genetika és takarmány kölcsönhatását (azaz a rokon teljesítmény újbóli rangsorolását bizonyos takarmányokon), különösen a már kialakult tenyésztési programokban. A halaknál jelentős genotípus (állati teljesítmény) és étrend (növényi alapú étrend) közötti kölcsönhatásokat figyeltek meg, amelyek során egyes állatok hatékonyabban fogadják el és használják fel a takarmányokat, mint fajtársaik^{189,190}. Természetesen a hagyományos állati alapú étrenden jól teljesítő állatok nem feltétlenül teljesítenek ugyanolyan jól a növényi alapú vagy módosított takarmányokon. Azonban, ha a halakat korai életszakaszukban megismertetik a növényi alapú tápanyag-összetevőkkel, akkor a későbbiekben javul a halak teljesítménye, amikor ugyanezekkel a típusú takarmányokkal találkoznak^{191,192}. Ettől függetlenül az optimális genetikai nyereség és termelékenység biztosítása érdekében az akvakultúra-iparnak szelekciós tenyésztési programokat kell kidolgoznia a növényi alapú takarmány összetevők alkalmazására az első takarmányozási naptól kezdve.



| |  Fehérje tartalom |  Környezeti fenntarthatóság |  Fogyasztói elfogadottság |  Megvalósít- hatóság | |
|--|---|--|--|--|--|
|  Halászati és akvakultúra melléktermékek |  |  |  |  | |
|  Rovarliszt |  |  |  |  | |
| Mikrobiális biomassza |  Baktérium és száraz bioflok |  |  |  |  |
| |  Élesztő |  |  |  |  |
| |  Mikrolga |  |  |  |  |
|  Makrolga |  |  |  |  | |
|  Élelmiszer hulladék |  |  |  |  | |

4. ábra Alternatív fehérjeforrások minőségi megvalósíthatósági értékelése vízi állatok számára előállított takarmányokhoz

Az alternatív fehérjeforrások általános szintű minőségi értékelése a jelenlegi realitások és az egyes fehérjeforrások jövőbeli (10-20 éves) lehetőségeinek kombinációján alapult. A pozitív (+) érték olyan fehérjeforrást jelöl, amely nagy potenciállal rendelkezik a kereslet kielégítésére, míg a negatív (-) érték olyan fehérjeforrásra mutat, amelynek a fejlesztése előtt jelentős akadályokat kell leküzdeni. Az értékelések szubjektívek voltak és a vadon fogott halászatból származó halliszttal való relatív összehasonlításon alapultak (az összetételt az S1 ábra mutatja be). A „megvalósíthatóság” értékelését a kereskedelmi léptékű termelés gazdaságossága, az erőforrás relatív korlátja, a konzisztens kínálat teljesítésének valószínűsége, a nyersanyagárak rövid távú előrejelzése és a végrehajtás jogi könnyedsége alapján határozták meg. A „megvalósíthatóság” értékelését a kereskedelmi méretű termelés gazdaságosságának, az erőforrások viszonylagos korlátjának, a folyamatos ellátás valószínűségének, a nyersanyagárak rövid távú előrejelzésének, valamint és a megvalósítás jogi könnyedségének figyelembevételével határozták meg.

Jövőbeli irányok

Az alacsonyabb trofítási szinten élő édesvízi halfajok (pl. harcsa, tilápia és növényevő ponty) takarmányai lényegesen alacsonyabb hallisztet tartalmaznak, mint a ragadozó fajoké (pl. lazac, egyéb tengeri halak, diadróm halak, angolna és tengeri garnélarák, 2. ábra). Ezért a fogyasztók tudatossága, megfelelő tájékoztatása és a tenger gyümölcsei termelésének fenntarthatósági iránti érdeklődése elősegítheti a tenyésztett édesvízi halak fogyasztásának növelését a nagyobb fehérjeigényű fajok rovására. **A fenntartással kapcsolatban megjegyzendő, hogy a mai napig csak korlátozott**

bizonyítékok állnak rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy a fenntartható tenger gyümölcsei iránti fogyasztói kereslet a fenntartható tenger gyümölcseinek címkézése következtében megnövekedett volna¹⁰³.

A halliszt százalékos aránya a takarmányokban a tenyésztett édesvízi halak esetében alacsony szemben a tengeri fajok takarmányával, így az ezzel etetett pontynak, harcsáknak és tilápiáknak a globális termelése igen magas a tengeri halakhoz és rákfélékhez képest¹¹ (2. ábra). Ezért még az alacsony halliszt mennyisége a takarmánnyal történő bevitelle



Gold Standard
for the Global Goals

1 ton of
CO₂ offset

CellPress

One Earth
Review

jelentős mennyiségű hallisztet eredményez a végtermékben. Az előrejelzések szerint az előbb felsorolt édesvízi fajok termelési mennyiségeinek növekedésére lehet számítani, amelyhez szorosan kapcsolódik a fokozódó takarmány igény is (2. ábra). A halliszt alternatív fehérjeforrásokkal való helyettesítése ezekben a takarmányokban a felhasznált halliszt teljes mennyiségének jelentős csökkenését eredményezi. Froehlich és munkatársai¹² modelljei azt mutatják, hogy ez az ágazat rendelkezik majd a legnagyobb lehetőségekkel, hogy a takarmányhalak felhasználása csökkenjen a század közepére.

Az akvakultúra-termelésben – különösen az édesvízi halak számára – további fehérjeellátást biztosító jelentős növekedést lehet elérni a takarmányozás nélküli akvakultúra és a takarmányozott akvakultúra kombinálásával, vagy a polikultúras termelési rendszerekkel. A polikultúras rendszerek fejlesztése, terjeszkedése, népszerűsítése több akvakultúrában tartott faj egyidejű tenyésztését teszi lehetővé¹⁹⁴. A kapcsolódó integrált multitrofikus akvakultúra-rendszerekben (turisztikai és ökológiai szolgáltatásokat is biztosító multi-funkcionális tógazdálkodás), amelyek a takarmányozásra alapuló akvakultúrát ötvözik a folyamatos termeléssel, lehalászással, így végeredményben a több végtermék előállításával nagyobb fehérjehozam érhető el^{100,101,195}. Bár több faj termelési egyensúlyának megértéséhez részletesebb ismeretekre van szükség¹⁹⁶, azonban ezeknek a rendszereknek további előnye a tápanyag-bioremediáció és a pozitív fogyasztói megítélés.

Az alternatív fehérjeforrásokkal kapcsolatos legnagyobb kihívások közé tartozik a változó fehérjetartalom (lásd az S1. ábrát) és a termelés növelésének megvalósíthatósága, amely a rendelkezésre álló feldolgozási technológiák, a költségek és a méretezhetőség függvényei (a 4. ábra az összetevők lehetőségének szubjektív értékelését tartalmazza). A fogyasztók nyitottsága is eltérő az egyes nyersanyagok esetében. Tekintettel ezekre a kihívásokra, óriási lehetőségek rejlenek a technológiai fejlesztésekben, amelyek következetesen jó minőségű alternatív fehérjetermékeket állítanak elő magasabb táplálóanyag összetétellel, miközben gazdaságosabbá teszi a méretezést és javítja az árverseny-képességet. Egyes fehérjeforrások, mint például a halmelléktermékek és a rovarlisztek, életképes és ígéretes alternatívái a hagyományos hallisztnek és eredményesebben használhatók a biokonverzióban/biotranszformációban, míg más nyersanyagoknak, például az élelmiszer-hulladékoknak még mindig számos akadályt le kell küzdeniük, mielőtt a vízi állatok számára a takarmányok alapanyagaivá válhatnának (4. ábra).

Fontos szem előtt tartani, hogy a vízi keveréktakarmányokat számos összetevőből állítják össze, és nem valószínű, de nem is szükséges, hogy egyetlen fehérjeforrás megfeleljen a tenyésztett faj igényeinek, vagy teljes mértékben helyettesítse a hallisztet. Több fehérjeforrás kombinálva is használható, hogy kihasználhassuk egymást kiegészítő táplálkozási profiljuk előnyeit. A takarmányok tápanyag-összetételének kiegyensúlyozására takarmánykiegészítőket is lehet alkalmazni és funkcionális összetevőket lehet használni a halliszt alternatív összetevőkkel való helyettesítésének megkönnyítésére. Ezenkívül a többféle fehérjeforrás

használata rugalmassá teszi a takarmányok összeállítását, amikor az összetevők ára ingadozik¹⁹², mivel a takarmánygyártók gyakran a költségeket használják meghatározó tényezőként az összetevők kiválasztásánál.

A takarmányozott akvakultúra termelés 1995 és 2015 között 12,2 millió tonnáról 50,7 millió tonnára, azaz négyszeresére nőtt¹⁹⁷. Ezzel párhuzamosan az akvakultúra-termelés a hatszorosára növekedett, 7,8 millió tonnáról 47,7 millió tonnára ugyanezen időszak alatt^{25,197}. Annak ellenére, hogy a vízi állatok számára előállított takarmányok a teljes világszintű takarmánytermelésnek csak kis részét (kevesebb, mint 4%-át) teszik ki, a felhasznált összetevőket szárazföldi haszonállatok takarmányában, állateledelben és emberi táplálékban is felhasználják^{11,25,192}. Ezért a vízi élőlények takarmányainak alternatív fehérjeforrásainak fejlesztése és finomítása fontos szerepet fog játszani az akvakultúra ipar társadalmilag és környezetvédelmi szempontból fenntartható jövőjének biztosításában.

KIEGÉSZÍTŐ INFORMÁCIÓ

Kiegészítő információk online a <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kéziratához tartozó ábrákat Hillary Smith készítette.

IRODALOMJEGYZÉK

- United Nations (2019). World population prospects. <https://population.un.org/wpp/>.
- Hunter, M.C., Smith, R.G., Schipanski, M.E., Atwood, L.W., and Mortensen, D.A. (2017). Agriculture in 2050: recalibrating targets for sustainable intensification. *Bioscience* 67, 386–391.
- Benton, T.G., Bailey, R., Froggatt, A., King, R., Lee, B., and Wellesley, L. (2018). Designing sustainable land use in a 1.5_C world: the complexities of projecting multiple ecosystem services from land. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 31, 88–95.
- Yotopoulos, P.A. (1985). Middle-income classes and food crises: the “new” food-feed competition. *Econ. Dev. Cult. Change* 33, 463–483.
- World Health Organization (WHO)/Food and Agriculture Organization (FAO) (2003). Diet, Nutrition, and the Prevention of Chronic Diseases: Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation, Vol. 916 (WHO).
- Kharas, H. (2010). The emerging middle class in developing countries. OECD Development Centre. Working Paper 285.
- Rivera-Ferre, M.G., Lo’pez-i-Gelats, F., Howden, M., Smith, P., Morton, J.F., and Herrero, M. (2016). Re-framing the climate change debate in the livestock sector: mitigation and adaptation options. *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change* 7, 889–892.
- Michalk, D.L., Kemp, D.R., Badger, W.B., Wu, J., Zhang, Y., and Thomassin, P.J. (2019). Sustainability and future food security—a global perspective for livestock production. *Land Degrad. Dev.* 30, 561–573.
- FAO (2018). The State of World Fisheries and Aquaculture 2018—Meeting the Sustainable Development Goals (FAO).
- Edwards, P., Zhang, W., Belton, B., and Little, D.C. (2019). Misunderstandings, myths and mantras in aquaculture: its contribution to world food supplies has been systematically over reported. *Mar. Policy* 106, 103547.
- Tacon, A.G.J., and Metian, M. (2015). Feed matters: satisfying the feed demand of aquaculture. *Rev. Fish. Sci. Aquac.* 23, 1–10.
- Froehlich, H.E., Sand Jacobsen, N., Essington, T.E., Clavelle, T., and Halpern, B.S. (2018). Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nat. Sustain.* 1, 298–303.
- Shepherd, C.J., and Jackson, A.J. (2013). Global fish meal and fish-oil supply: inputs, outputs and markets. *J. Fish Biol.* 83, 1048–1066.
- Belton, B., Bush, S.R., and Little, D.C. (2018). Not just for the wealthy: ethinking farmed fish consumption in the Global South. *Glob. Food Sec.* 16, 85–92.
- Tran, N., Rodriguez, U.-P., Chan, C.Y., Phillips, M.J., Mohan, C.V., Henriksson, P.J.G., Koeshendrajana, S., Suri, S., and Hall, S. (2017). Indonesian aquaculture futures: an analysis of fish supply and demand in Indonesia to 2030 and role of aquaculture using the AsiaFish model. *Mar. Policy* 79, 25–32.
- Tacon, A.G., and Metian, M. (2018). Food matters: fish, income, and food supply—a comparative analysis. *Rev. Fish. Sci.* 26, 1–14.
- Hicks, C.C., Cohen, P.J., Graham, N.A.J., Nash, K.L., Allison, E.H., D’Lima, C., Mills, D.J., Roscher, M., Thilsted, S.H., Thorne-Lyman, A.L., and MacNeil, M.A. (2019). Harnessing global fisheries to tackle micronutrient deficiencies. *Nature* 574, 95–98.
- National Research Council (NRC) (2011). Nutrient Requirements of Fish and Shrimp (National Academies Press).
- Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldberg, R.J., and Hua, K. (2009). Feeding aquaculture in an era of finite resources. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 106, 15103–15110.
- Auchterlonie, N. (2018). The continuing importance of fishmeal and fish oil in aquafeeds. Presented at the Aquafarm Conference, Pordenone, Italy, 15–16 February. www.iffo.net/iffo-presentations.
- OECD/FAO (2019). OECD-FAO Agricultural Outlook 2019–2028 (OECD Publishing), p. 140.
- Tocher, D.R., Betancor, M.B., Sprague, M., Olsen, R.E., and Napier, J.A. (2019). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty Acids, EPA and DHA: bridging the gap between supply and demand. *Nutrients* 11, 89.
- FAO (2018). FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2016 (FAO).
- FAO (2013). The role of aquaculture in improving nutrition Working Document COFI: AQ/VI/2013/7, Saint Petersburg, Russia. <http://www.fao.org/cofi/30795-073768ef889213e5bbe595157c65068b.pdf>.
- Tacon A.G.J., Hasan, M.R., and Metian M. (2011). Demand and supply of feed ingredients for farmed fish and crustaceans—trends and prospects. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 564. Rome. pp. 87.
- Turchini, G.M., Trushenski, J.T., and Glenocross, B.D. (2019). Thoughts for the future of aquaculture nutrition: realigning perspectives to reflect contemporary issues related to judicious use of marine resources in aquafeeds. *N. Am. J. Aquac.* 81, 13–39.
- Malcorps, W., Kok, B., van’t Land, M., Fritz, M., van Doren, D., Servin, K., van der Heijden, P., Palmer, R., Auchterlonie, N.A., Rietkerk, M., et al. (2019). The sustainability conundrum of fishmeal substitution by plant ingredients in shrimp feeds. *Sustainability* 11, 1212.
- Stevens, J.R., Newton, R.W., Tlusty, M., and Little, D.C. (2018). The rise of aquaculture by-products: increasing food production, value, and sustainability through strategic utilisation. *Mar. Policy* 90, 115–124.
- Rustad, T., Stormo, I., and Slizyte, R. (2011). Possibilities for the utilisation of marine by-products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 46, 2001–2014.
- Olsen, R.L., Toppe, J., and Karunasagar, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish

- and shellfish. *Trends Food Sci. Technol.* 36, 144–151.
31. Ytrestøl, T., Aas, T.S., and Aagaard, T. (2015). Utilisation of feed resources in production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway. *Aquaculture* 448, 365–374.
 32. Jackson, A., and Newton, R.W. (2016). Project to Model the Use of Fisheries By-product in the Production of Marine Ingredients with Special Reference to Omega-3 Fatty Acids (EPA and DHA, Institute of Aquaculture, University of Stirling & IFFO, the Marine Ingredients Organisation)
 33. Heuze, V., Tran, G., and Kaushik, S. (2015). Fish meal. *Feedipedia animal feed resources information system*. <https://www.feedipedia.org/node/208>.
 34. Ween, O., Stangeland, J.K., Fylling, T.S., and Aas, G.H. (2017). Nutritional and functional properties of fishmeal produced from fresh by-products of cod (*Gadus morhua* L.) and saithe (*Pollachius virens*). *Heliyon* 3, e00343.
 35. Goddard, S., Al-Shagaa, G., and Ali, A. (2008). Fisheries by-catch and processing waste meals as ingredients in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquac. Res.* 39, 518–525.
 36. Jeon, G., Kim, H., Myung, S., and Cho, S. (2014). The effect of the dietary substitution of fishmeal with tuna by-product meal on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquac. Nutr.* 20, 753–761.
 37. Hernándeiz, C., Hardy, R., Contreras-Rojas, D., Lopez-Molina, B., González-Rodríguez, B., and Domínguez-Jiménez, P. (2014). Evaluation of tuna by-product meal as a protein source in feeds for juvenile spotted rose snapper *Lutjanus guttatus*. *Aquac. Nutr.* 20, 574–582.
 38. Kim, H.S., Jung, W.-G., Myung, S.H., Cho, S.H., and Kim, D.S. (2014). Substitution effects of fishmeal with tuna byproduct meal in the diet on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile olive flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 431, 92–98.
 39. Kim, K.-D., Jang, J.W., Kim, K.-W., Lee, B.-J., Hur, S.W., and Han, H.-S. (2018). Tuna by-product meal as a dietary protein source replacing fishmeal in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Fish. Aquat. Sci.* 21, 29.
 40. Olsen, R.L., and Hasan, M.R. (2012). A limited supply of fishmeal: impact on future increases in global aquaculture production. *Trends Food Sci. Technol.* 27, 120–128.
 41. FAO (2019). Food Loss and Food Waste (Food and Agriculture Organization of the United Nations). <http://www.fao.org/food-loss-and-foodwaste/en/>.
 42. Mo, W.Y., Bon Man, Y., and Hung Wong, M. (2018). Use of food waster, fish waste and food processing waste for China's aquaculture industry: needs and challenge. *Sci. Total Environ.* 613–614, 635–643.
 43. Garcia, A.J., Esteban, M.B., Martínez, M.C., and Ramos, P. (2005). Biodegradable municipal solid waste: characterization and potential use as animal feedstuffs. *Waste Manag.* 25, 780–787.
 44. Sayeki, M., Kitagawa, T., Matsumoto, M., Nishiyama, A., Miyoshi, K., Mochizuki, M., Takasu, A., and Abe, A. (2001). Chemical composition and energy value of dried meal from food waste as feedstuff in swine and cattle. *Anim. Sci. J.* 72, 34–40.
 45. Mo, W.Y., Cheng, Z., Choi, W.M., Man, Y.B., Liu, Y., and Wong, M.H. (2014). Application of food waste based diets in polyculture of low trophic level fish: effects on fish growth, water quality and plankton density. *Mar. Pollut. Bull.* 85, 803–809.
 46. Cheng, J.Y., and Lo, I.M. (2016). Investigation of the available technologies and their feasibility for the conversion of food waste into fish feed in Hong Kong. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23, 7169–7177.
 47. Choi, W.M., Lam, C.L., Mo, W.Y., and Wong, M.H. (2016). The use of food wastes as feed ingredients for culturing grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) in Hong Kong. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 23, 7178–7185.
 48. Hsieh, M.-J. (2010). Effects of Fish Meal Replacement by Kitchen Waste on the Growth and Body Composition of Tilapia (*Oreochromis nilotica* x *Oreochromis aurea*), Giant Grouper (*Epinephelus lanceolatus*) and Orange-Spotted Grouper (*Epinephelus coioides*), Masters thesis (National Taiwan Ocean University).
 49. Duo, Z., Toth, J.D., and Westendorf, M.L. (2018). Food waste for livestock feeding: feasibility, safety, and sustainability implications. *Glob. Food Sec.* 17, 154–161.
 50. zu Ermgassen, E.K., Kelly, M., Bladon, E., Salemdeeb, R., and Balmford, A. (2018). Support amongst UK pig farmers and agricultural stakeholders for the use of food losses in animal feed. *PLoS One* 13, e0196288.
 51. Berggren, A., Jansson, A., and Low, M. (2019). Approaching ecological sustainability in the emerging insects-as-food industry. *Trends Ecol. Evol.* 34, 132–138.
 52. IPIFF, 2018. International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). The European insect sector today: challenges, opportunities and regulatory landscape; IPIFF: Brussels, Belgium, 2018.
 53. Wang, Y.-S., and Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods* 6, 91.
 54. Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V., and Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 197, 1–33.
 55. Barroso, F.G., de Haro, C., Sánchez-Muros, M.-J., Venegas, E., Martínez-Sánchez, A., and Pérez-Banón, C. (2014). The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422, 193–201.
 56. Tran, G., Heuze, V., and Makkar, H. (2015). Insects in fish diets. *Anim. Front.* 5, 37–44.
 57. Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., and Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Anim. Feed Sci. Technol.* 203, 1–22.
 58. Sealey, W.M., Gaylord, T.G., Barrows, F.T., Tomberlin, J.K., McGuire, M.A., Ross, C., and St-Hilaire, S. (2011). Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *J. World Aquacult. Soc.* 42, 34–45.
 59. Rust, M.B. (2002). Nutritional physiology. In *Fish Nutrition*, J.E. Halver and R.W. Hardy, eds. (The Academic Press), pp. 368–446.
 60. Belghit, I., Liland, N.S., Gjesdal, P., Biancarosa, I., Menchetti, E., Li, Y., Waagbø, R., Krogdahl, A., and Lock, E.-J. (2019). Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 503, 609–619.
 61. Rema, P., Saravanan, S., Armenjon, B., Motte, C., and Dias, J. (2019). Graded incorporation of defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diet improves growth performance and nutrient retention. *Animals* 9, 187.
 62. Ido, A., Hashizume, A., Ohta, T., Takahashi, T., Miura, C., and Miura, T. (2019). Replacement of fish meal by defatted yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae in diet



- improves growth performance and disease resistance in red seabream (*Pagrus major*). *Animals* 9, 100.
63. Borgogno, M., Dinnella, C., Iaconisi, V., Fusi, R., Scarpaleggia, C., Schiavone, A., Monteleone, E., Gasco, L., and Parisi, G. (2017). Inclusion of *Hermetia illucens* larvae meal on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) feed: effect on sensory profile according to static and dynamic evaluations. *J. Sci. Food Agric.* 97, 3402–3411.
64. Lock, E.R., Arsiwalla, T., and Waagbo, R. (2016). Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquac. Nutr.* 22, 1202–1213.
65. Nandeesh, M.C., Gangadhara, B., Varghese, T.J., and Keshavanath, P. (2000). Growth response and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* fed with high levels of non-defatted silk worm pupae. *Asian Fish. Sci.* 13, 235–242.
66. Kuhn, D.D., Lawrence, A.L., Crockett, J., and Taylor, D.P. (2016). Evaluation of bioflocs derived from confectionary food effluent water as a replacement feed ingredient for fishmeal or soy meal for shrimp. *Aquaculture* 454, 66–71.
67. Cardinaletti, G., Messina, M., Bruno, M., Tulli, F., Poli, B.M., Giorgi, G., Chini-Zitelli, G., Tredici, M., and Tibaldi, E. (2018). Effects of graded levels of a blend of *Tisochrysis lutea* and *Tetraselmis suecica* dried biomass on growth and muscle tissue composition of European sea bass (*D. labrax*) fed diets low in fish meal and oil. *Aquaculture* 485, 173–182.
68. Arru, B., Furesi, R., Gasco, L., Madau, F.A., and Pulina, P. (2019). The introduction of insect meal into fish diet: the first economic analysis on European sea bass farming. *Sustainability* 11, 1697.
69. Hilken, W., De Klerk, B. (2016). *Insectenweek: kleine sector met grote kansen. Rapport ABN AMRO en Brabantse Ontwikkelings Maatschappij*, p. 37.
70. Gamboa-Delgado, J., and Mañrique-Reyes, J.M. (2018). Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Rev. Aquacult.* 10, 224–246.
71. Shah, M.R., Lutz, G.A., Alam, A., Sarker, P., Chowdhury, M.K., Parsaemehr, A., Liang, Y., and Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *J. Appl. Phycol.* 30, 197–213.
72. Øverland, M., and Skrede, A. (2017). Yeast derived from lignocellulosic biomass as a sustainable feed resource for use in aquaculture. *J. Sci. Food Agric.* 97, 733–742.
73. Delamare-Deboutville, J., Batstone, D.J., Kawasaki, M., Stegman, S., Salini, M., Tabrett, S., Smullen, R., Barnes, A.C., and Høiulsen, T. (2019). Mixed culture purple phototrophic bacteria is an effective fishmeal replacement in aquaculture. *Water Res.* 4, 100031.
74. Matassa, S., Boon, N., Pikaar, I., and Verstraete, W. (2016). Microbial protein: future sustainable food supply route with low environmental footprint. *Microb. Biotechnol.* 9, 568–575.
75. Glencross, B., Invin, S., Arnold, S., Blyth, D., Bourne, N., and Preston, N. (2014). Effective use of microbial biomass products to facilitate the complete replacement of fishery resources in diets for the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 431, 12–19.
76. Poli, M.A., Legarda, E.C., de Lorenzo, M.A., Martins, M.A., and do Nascimento Vieira, F. (2019). Pacific white shrimp and Nile tilapia integrated in a biofloc system under different fish-stocking densities. *Aquaculture* 498, 83–89.
77. Sirakov, I., Velichkova, K., Stoyanova, S., and Staykov, Y. (2015). The importance of microalgae for aquaculture industry. *Rev. Int. J. Fish. Aquat. Stud.* 2, 81–84.
78. Becker, W. (2004). Microalgae in human and animal nutrition. In *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*, A. Richmond, ed. (Blackwell Science), pp. 312–351.
79. Becker, E. (2007). Micro-algae as a source of protein. *Biotechnol. Adv.* 25, 207–210.
80. Ravindran, B., Gupta, S., Cho, W.-M., Kim, J., Lee, S., Jeong, K.-H., Lee, D., and Choi, H.-C. (2016). Microalgae potential and multiple roles—current progress and future prospects—an overview. *Sustainability* 8, 1215.
81. Kiron, V., Phromkunthong, W., Huntley, M., Archibald, I., and De Scheemaker, G. (2012). Marine microalgae from biorefinery as a potential feed protein source for Atlantic salmon, common carp and whiteleg shrimp. *Aquac. Nutr.* 18, 521–531.
82. Ju, Z.Y., Deng, D.F., and Dominy, W. (2012). A defatted microalgae (*Haematococcus pluvialis*) meal as a protein ingredient to partially replace fishmeal in diets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*, Boone, 1931). *Aquaculture* 354–355, 50–55.
83. Vizcaino, A., Lopez, G., Sañez, M., Jimenez, J., Barros, A., Hidalgo, L., Camacho-Rodríguez, J., Martínez, T., Cero'n-García, M., and Alarcón, F. (2014). Effects of the microalga *Scenedesmus almeriensis* as fishmeal alternative in diets for gilthead sea bream, *Sparus aurata*, juveniles. *Aquaculture* 431, 34–43.
84. Kissinger, K.R., García-Ortega, A., and Trushenski, J.T. (2016). Partial fish meal replacement by soy protein concentrate, squid and algal meals in low fish-oil diets containing *Schizochytrium limacinum* for longfin yellowtail *Seriola rivoliana*. *Aquaculture* 452, 37–44.
85. Pakravan, S., Akbarzadeh, A., Sajjadi, M.M., Hajimoradloo, A., and Noori, F. (2017). Partial and total replacement of fish meal by marine microalgae *Spirulina platensis* in the diet of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*: growth, digestive enzyme activities, fatty acid composition and responses to ammonia and hypoxia stress. *Aquac. Res.* 48, 5576–5586.
86. Wang, Y., Li, M., Filer, K., Xue, Y., Ai, Q., and Mai, K. (2017). Evaluation of *Schizochytrium* meal in microdiets of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) larvae. *Aquac. Res.* 48, 2328–2336.
87. Sarker, P.K., Kapuscinski, A.R., Bae, A.Y., Donaldson, E., Sitek, A.J., Fitzgerald, D.S., and Edelson, O.F. (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, e0201315.
88. Rattledge, C. (2011). Are algal oils realistic options for biofuels? *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113, 135–136.
89. Tocher, D.R. (2015). Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture* 449, 94–107.
90. Benemann, J.R., Woertz, I., and Lundquist, T. (2018). Autotrophic microalgae biomass production: from niche markets to commodities. *Ind. Biotechnol.* 14, 3–10.
91. Ugoala, E., Ndukwe, G., Mustapha, K., and Ayo, R. (2012). Constraints to large scale algae biomass production and utilization. *J. Algal Biomass Util.* 3, 14–32.
92. Enzing, C., Ploeg, M., Barbosa, M., and Sijtsma, L. (2014). Microalgae-based products for the food and feed sector: an outlook for Europe. *JRC Scientific and Policy Reports*, 19–37.
93. Beal, C.M., Gerber, L.N., Sills, D.L., Huntley, M.E., Machesky, S.C., Walsh, M.J., Tester, J.W., Archibald, I., Granados, J., and Greene, C.H. (2015). Algal biofuel production for fuels and feed in a 100-ha facility: a comprehensive techno-economic analysis and life cycle assessment. *Algal Res.* 10, 266–279.
94. Huntley, M.E., Johnson, Z.I., Brown, S.L., Sills, D.L., Gerber, L., Archibald, I., Machesky, S.C., Granados, J., Beal, C., and Greene, C.H. (2015). Demonstrated large-scale production of marine microalgae for fuels and feed. *Algal Res.* 10, 249–265.
95. Beal, C.M., Gerber, L.N., Thongrod, S., Phromkunthong, W., Kiron, V., Granados, J., Archibald, I., Greene, C.H., and Huntley, M.E. (2018). Marine microalgae commercial production improves sustainability of global fisheries and aquaculture. *Sci. Rep.* 8, 15084.
96. FAO (2018). *The Global Status of Seaweed Production, Trade and Utilization*, Vol. 124 (Globefish Research Programme), p. 120.
97. FAO (2012). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2012* (FAO).
98. FAO (2014). *The State of World Fisheries and Aquaculture—Opportunities and Challenges 2014* (FAO).

99. Cole, A.J., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015). Biorecovery of nutrient waste as protein in freshwater macroalgae. *Algal Res.* 7, 58–65.
100. Bolton, J., Robertson-Andersson, D., Shuuluka, D., and Kandjengo, L. (2009). Growing *Ulva* (Chlorophyta) in integrated systems as a commercial crop for abalone feed in South Africa: a SWOT analysis. *J. Appl. Phycol.* 21, 575–583.
101. Ben-Ari, T., Neori, A., Ben-Ezra, D., Shauli, L., Odintsov, V., and Shpigel, M. (2014). Management of *Ulva lactuca* as a biofilter of mariculture effluents in IMTA system. *Aquaculture* 434, 493–498.
102. Roberts, D.A., Paul, N.A., Bird, M.I., and de Nys, R. (2015). Bioremediation for coal-fired power stations using macroalgae. *J. Environ. Manage.* 153, 25–32.
103. Cole, A.J., Neveux, N., Whelan, A., Morton, J., Vis, M., de Nys, R., and Paul, N.A. (2016). Adding value to the treatment of municipal wastewater through the intensive production of freshwater macroalgae. *Algal Res.* 20, 100–109.
104. Wilkie, A.C., and Mulbry, W.W. (2002). Recovery of dairy manure nutrients by benthic freshwater algae. *Bioresour. Technol.* 84, 81–91.
105. Magnusson, M., Glasson, C.R., Vucko, M.J., Angell, A., Neoh, T.L., and de Nys, R. (2019). Enrichment processes for the production of high-protein feed from the green seaweed *Ulva ohnoi*. *Algal Res.* 41, 101555.
106. Israel, A., Gavrieli, J., Glazer, A., and Friedlander, M. (2005). Utilization of flue gas from a power plant for tank cultivation of the red seaweed *Gracilaria cornea*. *Aquaculture* 249, 311–316.
107. Plaza Cazo, J., Viera, M., Sala, S., and Donati, E. (2014). Biochemical characterization of *Macrocystis pyrifera* and *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae) in relation to their potentiality as biosorbents. *Phycologia* 53, 100–108.
108. Yildiz, G., Dere, E., and Dere, S. (2014). Comparison of the antioxidative components of some marine macroalgae from Turkey. *Pak. J. Bot.* 46, 753–757.
109. Angell, A.R., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015). The nitrogen, protein and amino acid content of seaweeds [dataset]. <https://doi.org/10.4225/28/55776D6F45871>.
110. Angell, A.R., Mata, L., de Nys, R., and Paul, N.A. (2016). The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *J. Appl. Phycol.* 28, 511–524.
111. Mata, L., Magnusson, M., Paul, N.A., and de Nys, R. (2016). The intensive land-based production of the green seaweeds *Derbesia tenuissima* and *Ulva ohnoi*: biomass and bioproducts. *J. Appl. Phycol.* 28, 365–375.
112. Neveux, N., Magnusson, M., Maschmeyer, T., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015). Comparing the potential production and value of high-energy liquid fuels and protein from marine and freshwater macroalgae. *Glob. Change Biol. Bioenergy* 7, 673–689.
113. Angell, A.R., Angell, S.F., de Nys, R., and Paul, N.A. (2016). Seaweed as a protein source for mono-gastric livestock. *Trends Food Sci. Technol.* 54, 74–84.
114. Nielsen, M.M., Bruhn, A., Rasmussen, M.B., Olesen, B., Larsen, M.M., and Møller, H.B. (2012). Cultivation of *Ulva lactuca* with manure for simultaneous bioremediation and biomass production. *J. Appl. Phycol.* 24, 449–458.
115. Øverland, M., Mydland, L.T., and Skrede, A. (2019). Marine macroalgae as sources of protein and bioactive compounds in feed for monogastric animals. *J. Sci. Food Agric.* 99, 13–24.
116. Nunes, A.J., Sa, M.V., Browdy, C.L., and Vazquez-Anon, M. (2014). Practical supplementation of shrimp and fish feeds with crystalline amino acids. *Aquaculture* 431, 20–27.
117. Holdt, S.L., and Kraan, S. (2011). Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation. *J. Appl. Phycol.* 23, 543–597.
118. Fleurence, J., Moranc, M., Dumay, J., Decottignies, P., Turpin, V., Munier, M., Garcia-Bueno, N., and Jacouen, P. (2012). What are the prospects for using seaweed in human nutrition and for marine animals raised through aquaculture? *Trends Food Sci. Technol.* 27, 57–61.
119. Wells, M.L., Potin, P., Craigie, J.S., Raven, J.A., Merchant, S.S., Helliwell, K.E., Smith, A.G., Camire, M.E., and Brawley, S.H. (2017). Algae as nutritional and functional food sources: revisiting our understanding. *J. Appl. Phycol.* 29, 949–982.
120. Pereira, R., Valente, L.M., Sousa-Pinto, I., and Rema, P. (2012). Apparent nutrient digestibility of seaweeds by rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Algal Res.* 1, 77–82.
121. Valente, L., Gouveia, A., Rema, P., Matos, J., Gomes, E., and Pinto, I. (2006). Evaluation of three seaweeds *Gracilaria bursa-pastoris*, *Ulva rigida* and *Gracilaria cornea* as dietary ingredients in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Aquaculture* 252, 85–91.
122. Shapawi, R., Safin, N.S.Z., and Senoo, S. (2015). Improving dietary red seaweed *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva meal utilization in Asian seabass *Lates calcarifer*. *J. Appl. Phycol.* 27, 1681–1688.
123. Marinho, G., Nunes, C., Sousa-Pinto, I., Pereira, R., Rema, P., and Valente, L.M. (2013). The IMTA-cultivated Chlorophyta *Ulva* spp. as a sustainable ingredient in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) diets. *J. Appl. Phycol.* 25, 1359–1367.
124. Younis, E.-S.M., Al-Quffail, A.S., Al-Asgah, N.A., Abdel-Warith, A.W.A., and Al-Hafedh, Y.S. (2018). Effect of dietary fish meal replacement by red algae, *Gracilaria arcuata*, on growth performance and body composition of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Saudi J. Biol. Sci.* 25, 198–203.
125. Ragaza, J.A., Koshio, S., Mamaug, R.E., Ishikawa, M., Yokoyama, S., and Villamor, S.S. (2015). Dietary supplemental effects of red seaweed *Euclima denticulatum* on growth performance, carcass composition and blood chemistry of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquac. Res.* 46, 647–657.
126. Ergün, S., Soyutürk, M., Gëuroy, B., Gëuroy, D., and Merrifield, D. (2009). Influence of *Ulva* meal on growth, feed utilization, and body composition of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) at two levels of dietary lipid. *Aquac. Int.* 17, 355.
127. Kamunde, C., Sappal, R., and Melegy, T.M. (2019). Brown seaweed (AquaArom) supplementation increases food intake and improves growth, antioxidant status and resistance to temperature stress in Atlantic salmon, *Salmo salar*. *PLoS One* 14, e0219792.
128. Peixoto, M.J., Salas-Leito, E., Pereira, L.F., Queiroz, A., Magalhaes, F., Pereira, R., Abreu, H., Reis, P.A., Goncalves, J.F.M., and de Almeida Ozo, R.O. (2016). Role of dietary seaweed supplementation on growth performance, digestive capacity and immune and stress responsiveness in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquacult. Rep.* 3, 189–197.
129. Araujo, M., Rema, P., Sousa-Pinto, I., Cunha, L.M., Peixoto, M.J., Pires, M.A., Seixas, F., Brotas, V., Beltrao, C., and Valente, L.M. (2016). Dietary inclusion of IMTA-cultivated *Gracilaria vermiculophylla* in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: effects on growth, intestinal morphology, tissue pigmentation, and immunological response. *J. Appl. Phycol.* 28, 679–689.
130. Chotigeat, W., Tongsupa, S., Supamataya, K., and Phongdara, A. (2004). Effect of fucoidan on disease resistance of black tiger shrimp. *Aquaculture* 233, 23–33.
131. Yin, G., Li, W., Lin, Q., Lin, X., Lin, J., Zhu, Q., Jiang, H., and Huang, Z. (2014). Dietary administration of laminarin improves the growth performance and immune responses in *Epinephelus coioides*. *Fish Shellfish Immun.* 41, 402–408.
132. Ma, W.C., Chung, H.Y., Ang, P.O., Jr., and Kim, J.S. (2005). Enhancement of bromophenol levels in aquacultured silver seabream (*Sparus sarba*). *J. Agric. Food Chem.* 53, 2133–2139.
133. Jones, B., Smullen, R., and Carton, A. (2016). Flavour enhancement of freshwater farmed barramundi (*Lates calcarifer*), through dietary enrichment with cultivated sea lettuce, *Ulva ohnoi*. *Aquaculture* 454, 192–198.









134. Cyrus, M., Bolton, J., Scholtz, R., and Macey, B. (2015). The advantages of *Ulva* (Chlorophyta) as an additive in sea urchin formulated feeds: effects on palatability, consumption and digestibility. *Aquac. Nutr.* 21, 578–591.
135. Allen, V.J., Marsden, I.D., Ragg, N.L., and Gieseg, S. (2006). The effects of tactile stimulants on feeding, growth, behaviour, and meat quality of cultured Blackfoot abalone, *Haliotis iris*. *Aquaculture* 257, 294–308.
136. Mulvaney, W.J., Winberg, P.C., and Adams, L. (2013). Comparison of macroalgal (*Ulva* and *Grateloupia* spp.) and formulated terrestrial feed on the growth and condition of juvenile abalone. *J. Appl. Phycol.* 25, 815–824.
137. Viera, M., De Vicoise, G.C., Go' mez-Pinchetti, J., Bilbao, A., Fernandez- Palacios, H., and Izquierdo, M. (2011). Comparative performances of juvenile abalone (*Haliotis tuberculata coccinea* Reeve) fed enriched vs non-enriched macroalgae: effect on growth and body composition. *Aquaculture* 319, 423–429.
138. Qi, Z., Liu, H., Li, B., Mao, Y., Jiang, Z., Zhang, J., and Fang, J. (2010). Suitability of two seaweeds, *Gracilaria lemaneiformis* and *Sargassum pallidum*, as feed for the abalone *Haliotis discus hannai* Ino. *Aquaculture* 300, 189–193.
139. Xia, S., Yang, H., Li, Y., Liu, S., Zhou, Y., and Zhang, L. (2012). Effects of different seaweed diets on growth, digestibility, and ammonia-nitrogen production of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka). *Aquaculture* 338, 304–308.
140. Vucko, M.J., Cole, A.J., Moorhead, J.A., Pit, J., and de Nys, R. (2017). The freshwater macroalga *Oedogonium intermedium* can meet the nutritional requirements of the herbivorous fish *Ancistrus cirrhosus*. *Algal Res.* 27, 21–31.
141. Cruz-Sua' rez, L.E., Leo' n, A., Pen' a-Rodn' guez, A., Rodn' guez-Pen' a, G., Moll, B., and Ricque-Marie, D. (2010). Shrimp/*Ulva* co-culture: a sustainable alternative to diminish the need for artificial feed and improve shrimp quality. *Aquaculture* 301, 64–68.
142. Craig, S., Helfrich, L.A., Kuhn, D., and Schwarz, M.H. (2017). Understanding Fish Nutrition, Feeds, and Feeding (Virginia Cooperative Extension).
143. Angell, A.R., Paul, N.A., and de Nys, R. (2017). A comparison of protocols for isolating and concentrating protein from the green seaweed *Ulva ohnoi*. *J. Appl. Phycol.* 29, 1011–1026.
144. Kazir, M., Abuhassira, Y., Robin, A., Nahor, O., Luo, J., Israel, A., Golberg, A., and Livney, Y.D. (2019). Extraction of proteins from two marine macroalgae, *Ulva* sp. and *Gracilaria* sp., for food application, and evaluating digestibility, amino acid composition and antioxidant properties of the protein concentrates. *Food Hydrocoll.* 87, 194–203.
145. Bleakley, S., and Hayes, M. (2017). Algal proteins: extraction, application, and challenges concerning production. *Foods* 6, 33.
146. Glasson, C.R., Sims, I.M., Carnachan, S.M., de Nys, R., and Magnusson, M. (2017). A cascading biorefinery process targeting sulfated polysaccharides (ulvan) from *Ulva ohnoi*. *Algal Res.* 27, 383–391.
147. Kim, S.W., Less, J.F., Wang, L., Yan, T., Kiron, V., Kaushik, S.J., and Lei, X.G. (2019). Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 7, 221–243.
148. de Verdal, H., Komen, H., Quillet, E., Chatain, B., Allal, F., Benzie, J.A., and Vandeputte, M. (2018). Improving feed efficiency in fish using selective breeding: a review. *Rev. Aquacult.* 10, 833–851.
149. Naylor, R.L., Goldburg, R.J., Primavera, J.H., Kautsky, N., Beveridge, M.C., Clay, J., Folke, C., Lubchenco, J., Mooney, H., and Troell, M. (2000). Effect of aquaculture on world fish supplies. *Nature* 405, 1017.
150. Tacon, A.G., and Metian, M. (2008). Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: trends and future prospects. *Aquaculture* 285, 146–158.
151. Le Boucher, R., Dupont-Nivet, M., Vandeputte, M., Kerneis, T., Goardon, L., Labbe, L., Chatain, B., Bothaire, M.J., Larroquet, L., and Medale, F. (2012). Selection for adaptation to dietary shifts: towards sustainable breeding of carnivorous fish. *PLoS One* 7, e44898.
152. Torrecillas, S., Mompel, D., Caballero, M., Montero, D., Merrifield, D., Rodiles, A., Robaina, L., Zamorano, M., Karalazos, V., and Kaushik, S. (2017). Effect of fishmeal and fish oil replacement by vegetable meals and oils on gut health of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 468, 388–398.
153. Torrecillas, S., Robaina, L., Caballero, M., Montero, D., Calandra, G., Mompel, D., Karalazos, V., Kaushik, S., and Izquierdo, M. (2017). Combined replacement of fishmeal and fish oil in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*): production performance, tissue composition and liver morphology. *Aquaculture* 474, 101–112.
154. Gonza' lez-Fe' lix, M.L., da Silva, F.S.D., Davis, D.A., Samocha, T.M., Morris, T.C., Wilkenfeld, J.S., and Perez-Velazquez, M. (2010). Replacement of fish oil in plant based diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 309, 152–158.
155. Glencross, B.D., Booth, M., and Allan, G.L. (2007). A feed is only as good as its ingredients—a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquac. Nutr.* 13, 17–34.
156. Gatlin, D.M., III, Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., Hu, G., Krogdahl, A., and Nelson, R. (2007). Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquac. Res.* 38, 551–579.
157. Callet, T., Me' dale, F., Larroquet, L., Surget, A., Aguirre, P., Kerneis, T., Labbe' , L., Quillet, E., Geurden, I., and Skiba-Cassy, S. (2017). Successful selection of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on their ability to grow with a diet completely devoid of fishmeal and fish oil, and correlated changes in nutritional traits. *PLoS One* 12, e0186705.
158. Daniel, N. (2018). A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.* 6, 164–179.
159. Herman, E.M., and Schmidt, M.A. (2016). The potential for engineering enhanced functional-feed soybeans for sustainable aquaculture feed. *Front. Plant Sci.* 7, 440.
160. Drew, M., Borgeson, T., and Thiessen, D. (2007). A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Anim. Feed Sci. Technol.* 138, 118–136.
161. Herman, E.M., and Schmidt, M.A. (2015). Towards using biotechnology to modify soybean seeds as protein bioreactors. In *Recent Advancements in Gene Expression and Enabling Technologies in Crop Plants*, K. Azhakanandam, A. Silverstone, H. Daniell, and M. Davey, eds. (Springer), pp. 193–212.
162. Sprague, M., Dick, J.R., and Tocher, D.R. (2016). Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015. *Sci. Rep.* 6, 21892.
163. Pierce, E.C., LaFayette, P.R., Ortega, M.A., Joyce, B.L., Kopsell, D.A., and Parrott, W.A. (2015). Ketocarotenoid production in soybean seeds through metabolic engineering. *PLoS One* 10, e0138196.
164. Daniell, H., Singh, N.D., Mason, H., and Streatfield, S.J. (2009). Plantmade vaccine antigens and biopharmaceuticals. *Trends Plant Sci.* 14, 669–679.
165. Piazzon, M.C., Caldach-Giner, J.A., Fouz, B., Estensoro, I., Simo' -Mirabet, P., Puyalto, M., Karalazos, V., Palenzuela, O., Sitja' -Bobadilla, A., and Pe' rez-Sa' nchez, J. (2017). Under control: how a dietary additive can restore the gut microbiome and proteomic profile, and improve disease resilience in a marine teleostean fish fed vegetable diets. *Microbiome* 5, 164.
166. Soto, J.O., de Jesu' s Paniagua-Michel, J., Lopez, L., and Ochoa, L. (2015). Functional feeds in aquaculture. In

- Springer Handbook of Marine Biotechnology, S.-K. Kim, ed. (Springer), pp. 1303–1319.
167. Palenzuela, O., Del Pozo, R., Piasson, M., Isem-Subich, M., Ceulemans, S., Coutteau, P., and Sitja-Bobadilla, A. (2017). Functional feed additives can reduce the impact of an *Enteromyxum leei* infection on performance and disease severity: evidence from an experimental challenge with gillhead sea bream. *Int. Aquafeed*, 14–19, (July).
168. Sellars, M.J., Rao, M., Polymeris, N., Irvin, S.J., Cowley, J.A., Preston, N.P., and Glencross, B.D. (2015). Feed containing Novacq improves resilience of black tiger shrimp, *Penaeus monodon*, to gill-associated virus-induced mortality. *J. World Aquacult. Soc.* 46, 328–336.
169. Goodall, J.D., Wade, N.M., Merritt, D.J., Sellars, M.J., Salee, K., and Coman, G.J. (2016). The effects of adding microbial biomass to grow-out and maturation feeds on the reproductive performance of black tiger shrimp, *Penaeus monodon*. *Aquaculture* 450, 208–212.
170. Va'zquez-An' o' n, M. and Giesen, A. (2004). The use of methionine hydroxy analog in aquaculture feeds. Paper presented at the Avances en nutrición acuícola VII. Memorias del VII Simposio Internacional de Nutrición Acuicola. 14, 1–9.
171. Cordero, H., Esteban, M.A' ., and Cuesta, A. (2014). Use of probiotic bacteria against bacterial and viral infections in shellfish and fish aquaculture. In *Sustainable Aquaculture Techniques*, M. Hernandez-Vergara and C. Perez-Rostro, eds. (IntechOpen). Chapter 8. <https://doi.org/10.5772/57198>.
172. Sagar, V., Sahu, N.P., Pal, A.K., Hassaan, M., Jain, K.K., Salim, H.S., Kumar, V., and El-Haroun, E.R. (2019). Effect of different stock types and dietary protein levels on key enzyme activities of glycolysis-gluconeogenesis, the pentose phosphate pathway and amino acid metabolism in *Macrobrachium rosenbergii*. *J. Appl. Ichthyol.* 35, 1016–1024.
173. Santos, A.I., Nguyen, N.H., Ponzoni, R.W., Yee, H.Y., Hamzah, A., and Ribeiro, R.P. (2014). Growth and survival rate of three genetic groups fed 28% and 34% protein diets. *Aquac. Res.* 45, 353–361.
174. Glencross, B., Tabrett, S., Irvin, S., Wade, N., Anderson, M., Blyth, D., Smith, D., Coman, G., and Preston, N. (2013). An analysis of the effect of diet and genotype on protein and energy utilization by the black tiger shrimp, *Penaeus monodon*—why do genetically selected shrimp grow faster? *Aquac. Nutr.* 19, 128–138.
175. Kause, A., Kiessling, A., Martin, S.A., Houlihan, D., and Ruohonen, K. (2016). Genetic improvement of feed conversion ratio via indirect selection against lipid deposition in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum). *Br. J. Nutr.* 116, 1656–1665.
176. Knap, P.W., and Kause, A. (2018). Phenotyping for genetic improvement of feed efficiency in fish: lessons from pig breeding. *Front. Genet.* 9, 184.
177. Besson, M., Allal, F., Vergnet, A., Clota, F., and Vandeputte, M. (2019). Combining individual phenotypes of feed intake with genomic data to improve feed efficiency in sea bass. *Front. Genet.* 10, 219.
178. Quinton, C., Kause, A., Ruohonen, K., and Koskela, J. (2007). Genetic relationships of body composition and feed utilization traits in European whitefish (*Coregonus lavaretus* L.) and implications for selective breeding in fishmeal-and soybean meal-based diet environments. *J. Anim. Sci.* 85, 3198–3208.
179. de Verdal, H., Vandeputte, M., Mekki, W., Chatain, B., and Benzie, J.A. (2018). Quantifying the genetic parameters of feed efficiency in juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *BMC Genet.* 19, 105.
180. Hoque, M., and Suzuki, K. (2009). Genetics of residual feed intake in cattle and pigs: a review. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 22, 747–755.
181. Willems, O., Miller, S., and Wood, B. (2013). Aspects of selection for feed efficiency in meat producing poultry. *World Poul. Sci. J.* 69, 77–88.
182. Fry, J.P., Mailloux, N.A., Love, D.C., Milli, M.C., and Cao, L. (2018). Feed conversion efficiency in aquaculture: do we measure it correctly? *Environ. Res. Lett.* 13, 024017.
183. Zenger, K.R., Khatkar, M.S., Jones, D.B., Khalilisamani, N., Jerry, D.R., and Raadsma, H.W. (2018). Genomic selection in aquaculture: application, limitations and opportunities with special reference to marine shrimp and pearl oysters. *Front. Genet.* 9, 693.
184. Meuwissen, T.H., Hayes, B.J., and Goddard, M.E. (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 157, 1819–1829.
185. Le Boucher, R., Quillet, E., Vandeputte, M., Lecalvez, J.M., Goardon, L., Chatain, B., Me' dale, F., and Dupont-Nivet, M. (2011). Plant-based diet in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum): are there genotype-diet interactions for main production traits when fish are fed marine vs. plantbased diets from the first meal? *Aquaculture* 321, 41–48.
186. Overturf, K., Barrows, F.T., and Hardy, R.W. (2013). Effect and interaction of rainbow trout strain (*Oncorhynchus mykiss*) and diet type on growth and nutrient retention. *Aquac. Res.* 44, 804–811.
187. Le Boucher, R., Vandeputte, M., Dupont-Nivet, M., Quillet, E., Mazurais, D., Robin, J., Vergnet, A., Me' dale, F., Kaushik, S., and Chatain, B. (2011). A first insight into genotype 3 diet interactions in European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L. 1756) in the context of plant-based diet use. *Aquac. Res.* 42, 583–582.
188. Yamamoto, T., Murashita, K., Matsunari, H., Oku, H., Furuta, H., Okamoto, H., Amano, S., and Suzuki, N. (2016). Amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawae* juveniles selectively bred for growth on a low fishmeal diet exhibit a good response to the lowfishmeal diet due largely to an increased feed intake with a particular preference for the diet. *Aquaculture* 465, 380–388.
189. Pierce, L.R., Palti, Y., Silverstein, J.T., Barrows, F.T., Hallerman, E.M., and Parsons, J.E. (2008). Family growth response to fishmeal and plant-based diets shows genotype3 diet interaction in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 278, 37–42.
190. Dupont-Nivet, M., Me' dale, F., Leonard, J., Le Guillou, S., Tiquet, F., Quillet, E., and Geurden, I. (2009). Evidence of genotype-diet interactions in the response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) clones to a diet with or without fishmeal at early growth. *Aquaculture* 295, 15–21.
191. Geurden, I., Borchert, P., Balasubramanian, M.N., Schrama, J.W., Dupont-Nivet, M., Quillet, E., Kaushik, S.J., Panserat, S., and Me' dale, F. (2013). The positive impact of the early-feeding of a plant-based diet on its future acceptance and utilisation in rainbow trout. *PLoS One* 8, e83162.
192. Pelletier, N., Klinger, D.H., Sims, N.A., Yoshioka, J.-R., and Kittinger, J.N. (2018). Nutritional attributes, substitutability, scalability, and environmental intensity of an illustrative subset of current and future protein sources for aquaculture feeds: joint consideration of potential synergies and trade-offs. *Environ. Sci. Technol.* 52, 5532–5544.
193. Hallstein, E., and Villas-Boas, S.B. (2013). Can household consumers save the wild fish? Lessons from a sustainable seafood advisory. *J. Environ. Econ. Manag.* 66, 52–71.
194. Wang, M., and Lu, M. (2016). Tilapia polyculture: a global review. *Aquac. Res.* 47, 2363–2374.
195. Holdt, S.L., and Edwards, M.D. (2014). Cost-effective IMTA: a comparison of the production efficiencies of mussels and seaweed. *J. Appl. Phycol.* 26, 933–945.
196. Park, M., Shin, S.K., Do, Y.H., Yarish, C., and Kim, J.K. (2018). Application of open water integrated multi-trophic aquaculture to intensive monoculture: a review of the current status and challenges in Korea. *Aquaculture* 497, 174–183.
197. Hasan, M.R. (2017). Feeding global aquaculture growth. *FAO Aquaculture Newsletter* 56, ii–iii.

S1 ábra. Az újonnan megjelenő alternatív fehérjeforrások közelítő összetétele a vízi élőlények keveréktakarmányai számára.

A 4. ábrához kapcsolódik.

Az adatok a szárazanyag %-ában értendők. A mikrobiális biomassza három komponensre oszlik: Baktérium biomassza, száraz bioflokolt anyagok (baktériumok és száraz bioflok), valamint élesztők és mikroalgák.

| | Nyers fehérje (%) | Nyers zsír (%) | Nyers rost (%) | Hamu (Ash %) | |
|---|--|--------------------------|--------------------------|----------------------|--------|
|  Haltakarmány ¹ | 66 - 74 | 8 - 11 | 0 | < 12 | |
|  Halászati és akvakultúra melltermékek ⁷ | 52 - 67 | 7 - 14 | 0 - 1 | 12 - 23 | |
|  Rovarliszt ⁸⁻¹⁰ | 42 - 83 | 5 - 36 | 4 - 16 | 3 - 21 | |
| Mikrobiális biomassza |  Baktérium és száraz bioflok | 50 - 65 | 1 - 3 | 0 - 1 | 3 - 7 |
| |  Élesztő | 45 - 55 | 1 - 6 | 0 - 1 | 5 - 10 |
| |  Mikroalga ¹³ | 13 - 71 | 2 - 40 | 3 - 64 | 6 - 17 |
|  Makroalga | <1 - 48 ¹⁴ , 15 | <1 - 15 ^{16,17} | 16 - 62 ^{17,18} | 7 - 55 ¹⁹ | |
|  Élelmiszer hulladék | 3 - 57 | 2 - 70 | 0 - 37 | 5 - 22 | |

További irodalmak

1. Heuzé V., Tran, G., and Kaushik, S. (2015). Fish meal. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/208> Last updated on May 11, 2015, 14:32, accessed on July 30, 2019.
2. National Research Council (NRC) (2011). Nutrient requirements of fish and shrimp: National Academies Press, Washington, D.C. USA.
3. Ween, O., Stangeland, J.K., Fylling, T.S., and Aas, G.H. (2017) Nutritional and functional properties of fishmeal produced from fresh by-products of cod (*Gadus morhua* L.) and saithe (*Pollachius virens*). *Heliyon* 3, e00343.
4. Goddard, S., Al-Shagaa, G., and Ali, A. (2008). Fisheries by-catch and processing waste meals as ingredients in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Research* 39, 518–525.
5. Jeon, G., Kim, H., Myung, S., and Cho, S. (2014). The effect of the dietary substitution of fishmeal with tuna by-product meal on growth, body composition, plasma chemistry and amino acid profiles of juvenile Korean rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture Nutrition* 20, 753–761.
6. Hernández, C., Hardy, R., Contreras-Rojas, D., López-Molina, B., González-Rodríguez, B., and Domínguez-Jimenez, P. (2014). Evaluation of tuna by-product meal as a protein source in feeds for juvenile spotted rose snapper *Lutjanus guttatus*. *Aquaculture Nutrition* 20, 574–582.
7. Kim, K.-D., Jang, J.W., Kim, K.-W., Lee, B.-J., Hur, S.W., and Han, H.-S. (2018). Tuna by-product meal as a dietary protein source replacing fishmeal in juvenile Korean rockfish *Sebastes schlegelii*. *Fisheries and Aquatic Sciences* 21, 29.
8. Makkar, H.P.S., Tran, G., Heuze, V., and Ankers P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 197, 1–33.
9. Bruni, L., Pastorelli, R., Viti, C., Gasco, L., and Parisi, G. (2018). Characterisation of the intestinal microbial communities of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with *Hermetia illucens* (black soldier fly) partially defatted larva meal as partial dietary protein source. *Aquaculture* 487, 56–63.
10. Renna, M., Schiavone, A., Gai, F., Dabbou, S., Lussiana, C., Malfatto, V., Prearo, M., Capucchio, M.T., Biasato, I., Biasibetti, E., et al. (2017). Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8, 57.
11. Gamboa-Delgado, J. and Márquez-Reyes, J.M. (2018). Potential of microbial-derived nutrients for aquaculture development. *Reviews in Aquaculture* 10, 224–246.
12. Lee, S.-M. (2002). Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture* 207, 79–95.
13. Shah, M.R., Lutz, G.A., Alam, A., Sarker, P., Chowdhury, M.K., Parsaeimehr, A., Liang, Y., and Daroch, M. (2018). Microalgae in aquafeeds for a sustainable aquaculture industry. *Journal of Applied Phycology* 30, 197–213.
14. Angell, A.R., de Nys, R., and Paul, N.A. (2015) The nitrogen, protein and amino acid content of seaweeds [data set]. doi:10.4225/28/55776D6F45871
15. Angell, A.R., Mata, L., de Nys, R., and Paul, N.A. (2016). The protein content of seaweeds: a universal nitrogen-to-protein conversion factor of five. *Journal of Applied Phycology* 28, 511–524.
16. Sánchez-Machado, D.I., López-Cervantes, J., López-Hernández, J., and Paseiro-Losada, P. (2004). Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry* 85, 439–444.
17. Mata, L., Magnusson, M., Paul, N.A., and de Nys, R. (2016). The intensive land-based production of the green seaweeds *Derbesia tenuissima* and *Ulva ohnoi*: biomass and bioproducts. *Journal of Applied Phycology* 28, 365–375.

6. Forrásnyelvi és célnyelvi szöveg szegmensenként

Thefutureofaquaticprotein_angol_text.docx
CAUTION: Do not change segment ID or source text
V10.3.10 MQ931011 bba1b51f-5eec-4ed2-a7b2-b4603a003838

| ID | English | Hungarian | Comment | Status |
|-----------|--|--|--|------------------|
| 1 | The Future of Aquatic Protein: | A vízi állatok termelése során használt fehérjék jövője: | | Confirmed (99%) |
| 2 | Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets | Az akvakultúrában használt takarmányok fehérjéinek lehetséges forrásai | | Confirmed (99%) |
| 3 | Approximately 70% of the aquatic-based production of animals is fed aquaculture, whereby animals are provided with high-protein aquafeeds. | A vízi állatok termelésének hozzávetőlegesen 70%-a akvakultúrából származik, amelynek során az állatokat magas fehérjetartalmú takarmányokkal látják el. | | Confirmed (90%) |
| 4 | Currently, aquafeeds are reliant on fish meal and fish oil sourced from wild-captured forage fish. | Jelenleg a keveréktakarmányok halliszten és vadon befogott takarmányhalakból származó halolajon alapulnak. | aquafeed fordítása mindig szövegkönyvezettől függ, attól függően, mennyire magyarázó | Confirmed (100%) |
| 5 | However, increasing use of forage fish is unsustainable and, because an additional 37.4 million tons of aquafeeds will be required by 2025, alternative protein sources are needed. | A takarmányhalak növekvő felhasználása azonban nem fenntartható, mivel 2025-ig további 37,4 millió tonna vízi takarmányra lenne szükség, így alternatív fehérjeforrásokra van szükség. | | Confirmed (99%) |
| 6 | Beyond plant-based ingredients, fishery and aquaculture byproducts and insect meals have the greatest potential to supply the protein required by aquafeeds over the next 10–20 years. | A növényi alapú összetevőkön túl a halászati és akvakultúra melléktermékei, valamint a rovarlisztek rendelkeznek a legnagyobb potenciállal a vízi takarmányoknál előírt fehérje biztosítására a következő 10–20 évben. | aquaculture fordítása ugyancsak | Confirmed (90%) |

| | | | | |
|----|---|---|--------------------------|------------------|
| | | | szövegkönyvezettől függ. | |
| 7 | Food waste also has potential through the biotransformation and/or bioconversion of raw waste materials, whereas microbial and macroalgal biomass have limitations regarding their scalability and protein content, respectively. | Az élelmiszer-hulladék szintén alkalmasak lehetnek erre a célra I a nyers hulladékanyagok biotranszformációja és/vagy biokonverziója révén, míg a mikrobiális és makroalgák biomasszája csak korlátozottan használható a méretezhetőségük és a fehérjetartalmuk miatt. | | Confirmed (99%) |
| 8 | In this review, we describe the considerable scope for improved efficiency in fed aquaculture and discuss the development and optimization of alternative protein sources for aquafeeds to ensure a socially and environmentally sustainable future for the aquaculture industry. | Ebben a tanulmányban leírjuk a takarmányozott akvakultúra hatékonyságának javítási lehetőségeit, és megvitatjuk az akvakultúra-ágazat társadalmilag és környezetileg fenntartható jövőjét biztosító alternatív fehérjeforrások fejlesztését és optimalizálását az akvakultúrában. | | Confirmed (90%) |
| 9 | Introduction | Bevezetés | | Confirmed (100%) |
| 10 | The growth of the human population leading into the middle of the 21st century poses significant challenges to the supply of high-quality, nutrient-rich food whereby a population of 9.7 billion by 2050 \[1] will require an increase in the supply of food by 25%–70% \[2]. | A 21. század közepén már jelentkező emberi populáció növekedés jelentős kihívás elé állítja/ fontos feladat lesz a jó minőségű, tápanyagban gazdag élelmiszerrel való ellátás, mivel 2050-re ¹ várhatóan 9,7 milliárd lakos lesz a világon, akiknek az élelmiszerellátása 25-70%-os növelését tesz szükségessé. ² | | Confirmed (97%) |
| 11 | This is all in the face of a deteriorating natural resource base and competing interests for agriculturally based input commodities. \[3]. | Mindez a természeti erőforrások romlása és a mezőgazdasági alapú alapanyagok iránt folytatott egyre élesedő verseny kialakulásával egyszerre zajlik. ³ | | Confirmed (97%) |
| 12 | Concurrent with population growth is the “rise of the middle class,” whereby increased affluence (mainly in China and southeast Asia) comes with a shift to diets that incorporate an increasing proportion of protein from animal sources \[4, 5, 6]. | A népességnövekedéssel párhuzamosan a „középosztály felemelkedése” következik be, amelynek következtében a megnövekedett jólét (főleg Kínában és Délkelet-Ázsiában) az állati eredetű fehérjét egyre nagyobb arányban tartalmazó étrendre való átállással jár együtt. ^{4,5,6} | | Confirmed (86%) |
| 13 | Although livestock food sectors are intensifying production in an attempt to meet demand, this comes with significant challenges including overgrazing, water shortages, and loss of natural biodiversity \[3,7,8]. | Bár az állattenyésztési élelmiszer-ágazat fokozza a termelést a kereslet kielégítése érdekében, ez jelentős kihívásokkal jár, ilyen például a túllegeltetés, a vízhiány és a természetes biológiai sokféleség csökkenése. ^{3,7,8} | | Confirmed (82%) |

| | | | |
|----|---|--|------------------|
| 14 | It is now recognized that the farming of aquatic species (i.e., aquaculture) will provide an increasingly significant component of the global animal-derived protein budget. | Ma már felismerték, hogy a vízi fajok tenyésztése (azaz az akvakultúra) egyre jelentősebb forrása lesz a globális állati eredetű fehérjebevitelnek. | Confirmed (100%) |
| 15 | In fact, aquaculture has been the fastest growing food production sector by annual growth rate over the last three decades, with annualized growth rates of 10% in the 1990s and 5.8% yearly between 2000 and 2016 \[9]. | Valójában az akvakultúra lett a leggyorsabban növekvő élelmiszer-termelési ágazat éves növekedési ütemét tekintve az elmúlt három évtizedben, az 1990-es években 10%-os éves növekedési rátával, 2000 és 2016 között pedig évi 5,8%-os éves növekedési rátával. ⁹ | Confirmed (90%) |
| 16 | On an edible animal-source food basis, sector growth is second only to poultry \[10]. | Az állati eredetű élelmiszereket tekintve az ágazat növekedése a baromfi ágazat után a második helyen áll. ¹⁰ | Confirmed (81%) |
| 17 | Aquaculture production can be classified as "unfed" or "fed." | Az akvakultúra-termelés a "nem takarmányozott" és a "takarmányozott" kategóriába sorolható. | Confirmed (98%) |
| 18 | Unfed aquaculture relies on supplying animals (e.g., filter-feeders such as silver carp, grass carp, and bivalves) with food from the production ecosystem itself \[11]. | A nem takarmányozott akvakultúrába sorolt állatok (pl. a szűrőtáplálékkal táplálkozó állatok, mint az ezüstkárász, az amur és a kagylók) a táplálékellátás szempontjából magára a termelési ökoszisztémára támaszkodik ¹¹ | Confirmed (97%) |
| 19 | Fed aquaculture is the largest and fastest growing component of the sector (excluding seaweeds) and usually involves supplying animals with formulated aquafeeds or whole or processed fish. | A takarmányozott akvakultúra az ágazat legnagyobb és leggyorsabban növekvő szektora (kivéve a tengeri algákat), ahol az állatoknak általában granulált haltakarmányt adtak, valamint egész vagy feldolgozott hallal táplálták őket. | Confirmed (90%) |
| 20 | The diets of fed species have historically relied on high concentrations of fish meal (protein source) and fish oil (lipid source, typically rich in long-chain polyunsaturated fatty acids of the omega-3 series) derived from the capture of small pelagic fish, known as forage fish \[Box 1]. | A táplált fajok étrendje szokásosan nagy koncentrációjú hallisztből (fehérjeforrás) és halolajból (lipidforrás, jellemzően az omega-3 sorozat hosszú szénláncú, többszörösen telítetlen zsírsavakban gazdag) állt, amelyek a kis nyílt tengeri halak befogásából származtak (Szövegdoz 1). | Confirmed (91%) |
| 21 | Unfortunately, the rapid rise of aquaculture has placed a significant amount of pressure on forage fish stocks \[12], whereby a peak in the wild fisheries production volume was reached in 1995 followed by a consistent decline \[13]. | Sajnálatos módon az akvakultúra gyors növekedése jelentős nyomást gyakorolt a takarmányhal-állományokra, ¹² aminek következtében a vadon élő halászat termelési volumene 1995-ben csúcsonodott, amelyet folyamatos csökkenés követett. ¹³ | Confirmed (87%) |

| | | | |
|----|---|--|------------------|
| 22 | At the same time, global fish consumption is increasing at a rate of 1.5% per year on a per capita basis and wild fisheries currently are static \[9]. | Ugyanakkor a globális halfogyasztás azóta is évente 1,5%-kal nő az egy főre jutó halfogyasztás alapján, a vadon élő halászat pedig jelenleg stagnál. ⁹ | Confirmed (89%) |
| 23 | This raises concerns regarding the disruption of aquatic food webs and the sustainability of supply of this global commodity, whereby about 10% of fish biomass caught from wild-capture fisheries is used to feed high-value, and often carnivorous, species \[9]. | Ez aggodalomra ad okot a vízi táplálék-hálózatok sérülésével és globális nyersanyag ellátásának fenntarthatóságával kapcsolatban, mivel a vadon fogott halakból származó biomassza körülbelül 10%-át nagy értékű, gyakran húsevő fajok táplálására használják. ⁹ | Confirmed (86%) |
| 24 | High-value product is commonly exported to affluent countries, reflected in the value of seafood trade between global regions (Figure 1). | A nagy értékű terméket általában a gazdagabb országokba exportálják, ami a globális régiók közötti tenger gyümölcsei kereskedelem értékében tükröződik (1 ábra). | Confirmed (99%) |
| 25 | However, the estimated domestic consumption of aquaculture production volume in 2011 was 85%–89% among the top ten aquaculture-producing countries (representing 87% of global aquaculture production, 51% of the total population, and 52% of the undernourished population) \[14] highlighting the importance of aquaculture (unfed and fed) for the provision of protein for human consumption (Figure 1). | A tíz legnagyobb akvakultúra-termelő országban (akik a globális akvakultúra-termelés 87%-át, a teljes népesség 51%-át és az alultáplált népesség 52%-át jelentik), ¹⁴ az akvakultúra-termékek becsült belföldi fogyasztása 2011-ben 85%-89% volt, ami rávilágít az akvakultúra (nem takarmányozott és takarmányozott) jelentőségére az emberi fogyasztásra szánt fehérje biztosításában (1 ábra). | Confirmed (84%) |
| 26 | As such, the future expansion of the aquaculture industry is critical for sustained human nutrition, and a balance between the expanding production of resource-intensive carnivorous species and the continued production of high-yielding, low-value species (e.g., herbivores or detritivores) that support local communities is required \[15] (Figures 1 and 2). | Az akvakultúra-ágazat jövőbeli bővülése kritikus fontosságú a fenntartható emberi táplálkozás szempontjából, és meg kell találni az egyensúlyt az erőforrás-igényes húsevő fajok bővülő termelése és a helyi közösségeket támogató, magas hozamú, alacsony értékű fajok (pl. növényevők vagy törmelékevők) folyamatos termelése között (1 és 2 ábra). ¹⁵ | Confirmed (90%) |
| 27 | Figure 1. | 1. ábra | Confirmed (100%) |
| 28 | Aquaculture and Wild-Capture Fishery Production in Global Regions and Value of Seafood Flows | Akvakultúra és a vadon befogott halászati termékek a globális régiókban és a tenger gyümölcsei áramlásának értéke | Confirmed (100%) |
| 29 | Production volume from global regions (pie charts) demonstrating the value of export flows (lines with arrows represent the percentage of the total value exported from | A globális régiók termelési mennyisége (kördiagramok), amelyek bemutatják az exportáramlás értékét (a nyilakkal ellátott vonalak az egyes régiókból exportált teljes érték | Confirmed (100%) |

| | | | | |
|----|--|--|--|-----------------|
| | each region), and the contribution of fish to human protein consumption (percentage of fish in total protein represented by each region's color). | százalékos arányát jelzik), valamint a halak hozzájárulása az emberi fehérjefogyasztáshoz (a halak százalékos arányát a fehérjeigény kielégítéséhez az egyes színárnyalatok jelzik az egyes régiókban). | | |
| 30 | Data sources: aquaculture and wild-capture fishery production \[9,23]; export flows \[23]; and human consumption of protein from fish. | Adatforrások: akvakultúra és vadon fogott halászati termelés, ^{9,23} exportáramlás, ²³ és a halból származó fehérje emberi fogyasztása. | | Confirmed (80%) |
| 31 | Although the production of fish meal and fish oil from forage fish has been steadily decreasing over the last 20 years and the proportion of these ingredients within aquafeeds is demonstrating a downward trend, they are still important feed components for many carnivorous fishes and crustaceans \[26]. | Bár a takarmányhalakból származó halliszt és halolaj előállítása az elmúlt 20 évben folyamatosan csökkent, és az összetevők aránya a keveréktakarmányokban csökkenő tendenciát mutat, továbbra is fontos takarmánykomponensek számos ragadozó hal és a rákfélé számára. ²⁶ | | Confirmed (87%) |
| 32 | The total annual production of fish meal was [1]~[2]4.5 million tons, and the total annual production of fish oil s [1]~[2]0.9 million tons in 2016, of which 69% and 75%, respectively, are used in aquafeeds \[20]. | A halliszt teljes éves termelése 2016-ban [1]~[2]4,5 millió tonna, a halolajé pedig [1]~[2]0,9 millió tonna volt, amelynek 69%-át, illetve 75%-át az akvakultúra takarmányozásban használják fel. ²⁰ | | Confirmed (84%) |
| 33 | An additional 23% and 5% of this fish meal is used in pig and chicken feeds \[20]. | A halliszt további 23%-át, illetve 5%-át sertés- és csirkenevelésben alkalmazzák. ²⁰ | | Confirmed (97%) |
| 34 | Notably, the total production of aquafeeds for all aquaculture species is predicted to increase by 75% from 49.7 million tons in 2015 to 87.1 million tons in 2025 \[11] (Figure 2). | Az előrejelzések szerint az összes akvakultúra fajra szánt takarmányok teljes termelése 75%-kal, a 2015. évi 49,7 millió tonnáról 2025-re 87,1 millió tonnára fog nőni. ¹¹ (2. ábra) | | Confirmed (89%) |
| 35 | The volume of wild-caught forage fish required for this increase is unattainable based on current feed formulations, while uncertainty of future access to this resource is a key issue. | Az ehhez a növekedéshez szükséges vadon fogott takarmányhalak mennyisége a jelenlegi takarmányösszetételek alapján elérhetetlen, miközben az ehhez az erőforráshoz való jövőbeli hozzáférés bizonytalansága kulcsfontosságú kérdés. | | Confirmed (90%) |
| 36 | The availability of sustainably fished small pelagics for fish meal and oil has not increased in 24 years \[13], and their inclusion levels in aquafeeds must be decreased at a greater rate for aquaculture to provide an increasingly | A fenntartható módon halászott kisméretű, nyílt tengeri halak biztosítása a halliszt és a halolaj tekintetében 24 éve nem növekedett, ¹³ így az akvakultúra termelésnek pedig egyre nagyobb arányban kell csökkentenie a takarmányokban való felhasználásuk arányát ahhoz, hogy | | Confirmed (89%) |

| | | | | |
|----|---|---|--|------------------|
| | large proportion of healthy seafood to an expanding global population. | a növekvő globális lakosság számára egyre nagyobb arányban tudjon egészséges tengeri élelmiszert biztosítani. | | |
| 37 | A variety of plant protein ingredients (e.g., soybean meal, corn gluten meal, rapeseed meal) and animal byproducts (e.g., meat and bone meal, poultry meal) are being used as alternative protein sources to fish meal in aquafeeds. | Az akvakultúra nevelésénél alkalmazott takarmányokban így a hallisztet helyettesítő alternatív fehérjeforrásként számos növényi fehérjeösszetevőt (pl. szójaliszt, kukoricagluténliszt, repcemagliszt) és állati mellékterméket (pl. hús- és csontliszt, baromfi húsliszt) használnak. | | Confirmed (90%) |
| 38 | Figure 2. | 2. ábra | | Confirmed (100%) |
| 39 | Projected Demand for Fish Meal in Fed-Aquaculture Diets | Az akvakultúra-takarmányokban használt halliszt iránti tervezett kereslet | | Confirmed (100%) |
| 40 | The estimated aquafeed volume demand (millions of tons) of the major fed-aquaculture species groups in 2015 and 2025, and the use of fish meal in the diet of each group in 2015 (represented by the blue portion of each animal). | A főbb tenyésztett akvakultúra-fajcsoportok becsült takarmány mennyiségi igénye (millió tonna) 2015-ben és 2025-ben, valamint 2015-ben a halliszt felhasználása az egyes állatcsoportok takarmányozásában (az egyes állatok esetében kék színével ábrázolva). | | Confirmed (90%) |
| 41 | The values (percentage) inside each species group symbol are the estimated fish meal inclusion in 2015. | Az egyes fajcsoportok szimbólumán belüli értékek (százalék) a 2015-ös becsült halliszt bevittelt jelentik. | | Confirmed (90%) |
| 42 | The values in brackets beside each species group symbol are the estimated volume of fish meal included in the diets in 2015 (thousands of tons). | Az egyes fajcsoport-szimbólumok melletti zárójelben szereplő értékek a takarmányokban szereplő halliszt becsült mennyisége 2015-ben (ezer tonna). | | Confirmed (90%) |
| 43 | Data sources: fish meal proportion in diets in 2015 \[25]; estimated aquafeed volume demand \[11]. | Adatforrások: 2015-ben a halliszt aránya keveréktakarmányban, ²⁵ becsült haltakarmány igény ¹¹ | | Confirmed (85%) |
| 44 | While these terrestrial, plant-based proteins (e.g., soy concentrate) will continue to be important components of aquafeeds, they have significant limitations, often containing anti-nutritional elements, and the industry itself has limited potential to expand production without putting additional stress on land, water, and phosphorous resources \[27]. | Bár ezek a szárazföldi, növényi eredetű fehérjék (pl. szójakoncentrátum) továbbra is fontos összetevői lesznek az akvakultúra takarmányoknak, de jelentős korlátokkal rendelkeznek, mivel gyakran tartalmaznak táplálkozásellenes elemeket, és maga az iparág is csak korlátozott mértékben képes bővíteni a termelést anélkül, hogy a föld-, víz- és foszforforrásokra további terhelést jelentenének. ²⁷ | | Confirmed (91%) |
| 45 | As such, to meet the demand of the additional 37.4 million tons of aquafeeds required by 2025, finding alternative, cost-effective sources of protein is critical. | A 2025-ig szükséges további 37,4 millió tonna takarmány igény kielégítése érdekében kulcsfontosságú alternatív, költséghatékony fehérjeforrások megtalálása. | | Confirmed (100%) |

| | | | | |
|----|---|--|--|------------------|
| 46 | In this review we consider emerging, alternative feed ingredients to replace the protein provided by forage fish and highlight the opportunities and challenges to their implementation. | Ebben a tanulmányban a takarmányhalak által biztosított fehérje helyettesítésére szolgáló, újonnan megjelenő, alternatív takarmány-összetevőket vizsgáljuk, és rávilágítunk a megvalósításukkal kapcsolatos lehetőségekre és kihívásokra. | | Confirmed (90%) |
| 47 | We also suggest areas for improved efficiencies in aquaculture through breeding and disease resistance and suggest future directions to support the rapid and sustainable growth of the aquaculture industry. | Javaslatot teszünk továbbá az akvakultúra hatékonyságának a tenyésztés és a betegségekkel szembeni ellenálló képesség révén történő javítására, valamint az akvakultúra-ágazat gyors és fenntartható növekedésének támogatását célzó jövőbeli irányokra. | | Confirmed (90%) |
| 48 | Fishery and Aquaculture Byproducts | Halászati és akvakultúra-melléktermékek | | Confirmed (100%) |
| 49 | Fishery and aquaculture byproducts are the raw materials that remain after the industrial-scale processing of fish for human consumption. | A halászati és akvakultúra melléktermékei azok a nyersanyagok, amelyek az emberi fogyasztásra szánt ipari méretű halfeldolgozása után maradnak vissza. | | Confirmed (99%) |
| 50 | After processing, between 50% and 70% of the byproducts are considered "inedible" and typically consist of trimmings (i.e., viscera, heads, skin, bones, and blood) \[28]. | A feldolgozás után a melléktermékek 50–70%-a „ehetetlennek” minősül, és jellemzően nyesedékből áll (azaz zsigerek, fej, bőr, csont és vér). ²⁸ | | Confirmed (97%) |
| 51 | This inedible portion is increasingly being considered as a practical option to replace the use of fish meal from reduction fisheries (i.e., wild-catch specifically caught for producing fish meal) in aquafeeds \[28, 29, 30] | Erre a fogyaszthatatlan részre egyre inkább gyakorlati lehetőségként tekintenek (a visszaszoruló természetes halászat miatt) a halliszt helyettesítésére a keveréktakarmányokban. ^{28–30} | | Confirmed |
| 52 | Currently, around 20% of the global production of fish meal is supplied through the use of fishery byproducts \[9,31,32]. | Jelenleg a világ halliszt-termelésének körülbelül 20%-át halászati melléktermékek felhasználásával biztosítják. ^{9,31,32} | | Confirmed (81%) |
| 53 | Conversely, about 10% of the global production of fish meal is supplied through the use of aquaculture byproducts \[9,31,32]. | Ezzel szemben a globális halliszt-termelés mintegy 10%-át akvakultúra melléktermékeinek felhasználásával biztosítják. ^{9,31,32} | | Confirmed (81%) |
| 54 | The continual growth and intensification of the aquaculture industry therefore provides an opportunity to develop the processing capacity of aquaculture to intercept additional byproducts and increase the proportion used for fish meal. | Az akvakultúra ipar folyamatos növekedése és intenzívebbé válása tehát lehetőséget ad az akvakultúra feldolgozó kapacitásának fejlesztésére, hogy további melléktermékekkel járuljanak hozzá a felhasználható hallisztarány növelésére. | | Confirmed (90%) |

| | | | | |
|----|--|--|--|------------------|
| 55 | This would also result in additional advantages including increasing perceived environmental sustainability of the industry, providing economic and social benefits through the valorization of waste products and creating downstream processing jobs, which will ultimately contribute to the long-term sustainability of fed aquaculture \[28]. | Mindez további előnyökkel is járna, többek között növelné az ágazat környezeti fenntarthatóságát, a hulladéktermékek hasznosítása révén pedig gazdasági és társadalmi előnyökkel járna, valamint a feldolgozási lánc következő szintjén új munkahelyek létesülnének, amely végső soron hozzájárulna az akvakultúra ágazat hosszú távú fenntarthatóságához. ²⁸ | | Confirmed (91%) |
| 56 | The nutrient content of fish meal depends on the type of raw materials and manufacturing processes used in its production. | A halliszt tápanyagtartalma az előállítás során felhasznált alapanyagok típusától és gyártási folyamatától függ. | | Confirmed (100%) |
| 57 | In general, high-quality fish meal produced using whole fish contains 66%–74% crude protein, 8%–11% crude lipids, and <12% ash \[33]. | Általában az egész hal felhasználásával készült, jó minőségű halliszt 66–74% nyersfehérjét, 8–11% nyers zsírt és <12% hamut tartalmaz. ³³ | | Confirmed (84%) |
| 58 | In contrast, fish meal produced from byproducts contains 52%–67% crude protein, 7%–14% crude lipids, and 12%–23% ash. | Ezzel szemben a melléktermékekből előállított halliszt 52–67% nyersfehérjét, 7–14% nyers zsírt, valamint 12–23% hamut tartalmaz. | | Confirmed (100%) |
| 59 | For example, white fish meal produced from byproducts contains 60%–67% crude protein, 7%–11% crude lipids, and 21%–23% ash \[18,34], and tuna fish meal produced from byproducts contains 57%–60% crude protein, 8%–14% fat, and 12%–21% ash \[35, 36, 37, 38]. | Például a melléktermékekből előállított fehér halliszt 60–67% nyersfehérjét, 7–11% nyers zsírt és 21–23% hamut, ^{18,34} a melléktermékekből előállított tonhaliszttal 57–60% nyersfehérjét, 8–14% zsírt és 12–21% hamut. ^{35–38} | | Confirmed (83%) |
| 60 | The lower protein content and higher ash content in byproduct fish meals are not unexpected, as the nutrient composition differs between whole fish, fillets, and other parts of the body (viscera, heads, skin, bones, and blood). | A melléktermékekből előállított hallisztek alacsonyabb fehérje- és magasabb hamutartalma nem váratlan, mivel a tápanyag-összetétel különbözik az egész hal, a filé és más testrészek (zsigerek, fejek, bőr, csontok és vér) esetében. | | Confirmed (100%) |
| 61 | The different proportions of various byproducts that are used to produce fish meal will therefore also contribute to the nutrient variability of the fish meal made from byproducts. | A halliszt előállításához felhasznált melléktermékek eltérő aránya tehát szintén hozzájárul a melléktermékekből készült halliszt tápanyagtartalmának változatosságához. | | Confirmed (90%) |
| 62 | Despite this, fish meal derived from fishery and aquaculture byproducts has been successfully used in aquafeeds, and its use is common practice in some countries \[9,12,31,32]. | Ennek ellenére a halászati és akvakultúra-melléktermékekből származó halliszttel sikeresen alkalmazzák a vízi élőlények takarmányozásában, használata bevett gyakorlat néhány országban. ^{9,12,31,32} | | Confirmed (86%) |

| | | | |
|----|---|--|------------------|
| 63 | Research on the nutritive values of byproduct fish meals has demonstrated their good potential as alternative raw materials. | A melléktermékből származó hallisztek tápanyagtartalmára vonatkozó kutatások bebizonyították, hogy alternatív nyersanyagként jól felhasználhatók. | Confirmed (99%) |
| 64 | Fish meal from tuna byproducts can substitute 25%–30% of the protein from premium-grade fish meal without affecting the growth performance of spotted rose snapper (<i>Lutjanus guttatus</i>) when included at a rate of 15.8%–21.4% \[37]. | A tonhal melléktermékeiből származó halliszt a prémium minőségű hallisztból származó fehérje 25–30%-át képes helyettesíteni anélkül, hogy befolyásolná a pl. a rájaúszójú halak (<i>Lutjanus guttatus</i>) növekedési erélyét, amennyiben 15,8–21,4 százalékos arányban tartalmazza. ³⁷ | Confirmed (88%) |
| 65 | For olive flounder (<i>Paralichthys olivaceus</i>), 30% of fish meal could be substituted by tuna byproduct meal at a dietary inclusion rate of 21% \[38]. | A koreai lepényhal (<i>Paralichthys olivaceus</i>) esetében a halliszt 30%-a helyettesíthető tonhal melléktermékliszttel 21%-os fehérjetartalom igény mellett. ³⁸ | Confirmed (89%) |
| 66 | For Korean rockfish (<i>Sebastes schlegeli</i>), 75% of fish meal could be substituted by tuna byproduct meal at a dietary inclusion rate of 58.1%, without compromising growth and feed utilization \[39]. | A koreai sziklahal (<i>Sebastes schlegeli</i>) esetében a halliszt 75%-a helyettesíthető tonhal melléktermékliszttel 58,1%-os étrendi beviteli arány mellett, a növekedés és a takarmány-értékesítő képesség csökkenése nélkül. ³⁹ | Confirmed (89%) |
| 67 | The less than ideal nutritional profile of byproduct fish meals presents challenges in the complete replacement of high-quality fish meal. | A melléktermékekből származó hallisztek nem ideális tápértékű profilja kihívást jelent a kiváló minőségű halliszt teljes körű helyettesítésében. | Confirmed (100%) |
| 68 | Nevertheless, byproduct fish meal is still a viable alternative to conventional fish meal, and, more importantly, is a more economical and sustainable protein source \[39]. | Mindazonáltal a melléktermékekből származó halliszt még mindig életképes alternatívája a hagyományos hallisztnak és ami még fontosabb, gazdaságosabb és fenntarthatóbb fehérjeforrás. ³⁹ | Confirmed (86%) |
| 69 | The industrial-scale production of fish meal and fish oil involves considerable capital investment and running costs \[19], while prolonged economic efficiency requires a constant supply of raw materials in large volumes. | A halliszt és halolaj ipari méretű előállítása jelentős beruházási és üzemeltetési költségekkel jár, ¹⁹ míg a tartós gazdasági hatékonyság fenntartása nagy mennyiségű nyersanyag alapanyag-utánpótlást igényel. | Confirmed (89%) |
| 70 | These factors present significant challenges when it comes to byproducts \[32,40], and it can be economically unjustifiable when raw materials need to be collected from fish-processing plants located in remote areas or when only small daily quantities are produced \[28,30,40]. | Ezek a tényezők jelentős kihívást jelentenek a melléktermékek esetében, ^{32,40} és gazdaságilag indokolatlan lehet, ha távoli területeken található halfeldolgozó üzemekből kell nyersanyagot beszállítani, vagy ha csak napi kis mennyiséget állítanak elő. ^{28,30,40} | Confirmed (82%) |
| 71 | As such, fully benefiting from the use of byproducts will require a coordinated strategy to ensure that suitable | A melléktermékek felhasználásának teljeskörű kihasználásához összehangolt stratégiára van szükség, | Confirmed (86%) |

| | | | | |
|----|---|--|--|------------------|
| | facility infrastructures are available, that economies of scale can be achieved, and that transport networks are available—three factors that currently limit the use of aquaculture byproducts in some countries \[28]. | amely biztosítja a megfelelő létesítmények infrastruktúráját, a gazdaságosságát és a szállítási útvonalak elérhetőségét. Jelenleg ezek a tényezők korlátozzák az akvakultúra melléktermékeinek felhasználását egyes országokban. ²⁸ | | |
| 72 | Regardless, the rising prices of fish meal and fish oil combined with positive consumer perception of byproducts will increase their viability. | Ettől függetlenül a halliszt és a halolaj árának emelkedése, valamint a melléktermékek pozitív fogyasztói megítélése együttesen növelni működőképességüket. | | Confirmed (90%) |
| 73 | At present 7.5 million tons of byproducts are processed for the production of fish meal and fish oil, and it is estimated that an additional 11.7 million tons of byproducts are wasted \[32]. | Jelenleg 7,5 millió tonna mellékterméket dolgoznak fel halliszt és halolaj előállítására, és becslések szerint további 11,7 millió tonna mellékterméket pazarolnak el. ³² | | Confirmed (97%) |
| 74 | Since capture fisheries production and aquaculture production are projected to reach 91 and 109 million tons in 2030 \[9], respectively, there is enormous potential to increase the production volume of fish meal and fish oil from byproducts. | Mivel a kifogott halászatból származó haltermelés és az akvakultúra-termelés az előrejelzések szerint 2030-ban eléri a 91 és 109 millió tonnát, ⁹ így hatalmas lehetőségek rejlenek a melléktermékekből előállított halliszt és halolaj termelési mennyiségének növelésére. | | Confirmed (90%) |
| 75 | Food Waste | Élelmiszer-hulladék | | Confirmed (100%) |
| 76 | Food loss and food waste is estimated to be 1.3 billion tons per annum globally, accounting for 30% of all food produced \[41]. | A becslések szerint az élelmiszer-veszteség és az élelmiszer-pazarlás évente 1,3 milliárd tonna világszerte, ami az összes megtermelt élelmiszer 30%-át teszi ki. ⁴¹ | | Confirmed (97%) |
| 77 | According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) \[41], food loss is defined as any food lost in the supply chain and food waste is defined as discarded food items fit for human consumption. | Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) ⁴¹ szerint élelmiszer-veszteségnek minősül az ellátási láncban elveszett élelmiszer, az élelmiszer-pazarlást pedig az emberi fogyasztásra alkalmas, kiselejtezett élelmiszerelemek jelentik. | | Confirmed (87%) |
| 78 | The share of food waste in municipal solid wastes can be >50% in some larger cities \[42]. | Az élelmiszer-hulladék aránya a települési szilárd hulladékban egyes nagyobb városokban akár az 50%-ot is meghaladhatja. ⁴² | | Confirmed (97%) |
| 79 | Since food wastes can be generated from various sources, their nutrient composition also varies considerably. | Mivel élelmiszer-hulladékok sokféle forrásból keletkezhetnek, így tápanyag-összetételük is jelentősen eltér. | | Confirmed (100%) |

| | | | |
|----|--|---|-----------------|
| 80 | The main nutrients in food wastes are proteins from fishmongers, carbohydrates from greengrocers, and fats from butchers, whereas the nutrients in household and restaurant wastes are mixed \[43] The crude fat and carbohydrate content in mixed food wastes can vary between 7%–12% and 52%–68%, respectively \[44]. | Az élelmiszer-hulladékok fő tápanyagai a halkereskedelemről származó fehérjék , a zöldségágból származó szénhidrátok, a húsfeldolgozó iparból származó zsírok, míg a háztartási és éttermi hulladékokból származó tápanyagok igen vegyesek. ⁴³ A vegyes élelmiszerhulladékok nyerszsír- és szénhidrát-tartalma 7-12%, illetve 52-68% között változhat. ⁴⁴ | Confirmed (67%) |
| 81 | While the crude protein level can vary from 3% to 38% depending on the type of food waste, it is possible to reduce this variation to 20%–26% by industrial processing \[44]. | Míg a nyersfehérje-tartalom az élelmiszer-hulladék típusától függően 3% és 38% között változhat, az ipari feldolgozással ez az eltérés 20%-26%-ra csökkenthető. ⁴⁴ | Confirmed (97%) |
| 82 | Food wastes have been used by some countries (e.g., China) in freshwater polyculture systems, but are not widely used within aquaculture feed pellets \[42]. | Az élelmiszer-hulladékokat néhány országban (pl. Kínában) már használják édesvízi polikultúras rendszerekben, de az akvakultúrában használt takarmánypelletekben nemigen alkalmazzák széles körben. ⁴² | Confirmed (81%) |
| 83 | The growth performance of the fish is highly dependent on the species being cultured and the type of food waste being used. | A halak növekedési erélye nagymértékben függ a tenyésztett fajtól és a felhasznált élelmiszerhulladék típusától. | Confirmed (90%) |
| 84 | Pellets containing 70% sorted food waste can support adequate growth of low-trophic-level fish, including grass carp (<i>Ctenopharyngodon idella</i>), bighead carp (<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>), and mud carp (<i>Cirrhinus molitorella</i>) \[45,46], but have also resulted in reduced growth performance in grass carp \[47]. | A 70%-ban válogatott élelmiszer-hulladékot tartalmazó keveréktakarmányok megfelelő növekedést biztosíthatnak az alacsonyabb trofitási szinten élő halak, köztük az amur (<i>Ctenopharyngodon idella</i>), a pettyes busa (<i>Hypophthalmichthys nobilis</i>) és az sárpony <i>Cirrhinus molitorella</i> , ^{45,46} számára, de az amur faj esetében csökkenő növekedési teljesítménnyel párosulhat. ⁴⁷ | Confirmed (88%) |
| 85 | Similarly, pellets with 36.5% and 73% kitchen wastes result in significantly lower weight gain in tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> × <i>Oreochromis aurea</i>) and giant grouper (<i>Epinephelus lanceolatus</i>), respectively, compared with fish meal controls \[48]. | A 36,5% és 73% konyhai hulladékot tartalmazó keveréktakarmány hasonlóképpen szignifikánsan kisebb súlygyarapodást eredményez a nilusi-, és kék tilápia hibrid <i>Oreochromis niloticus</i> × <i>Oreochromis aurea</i>) és az óriás fűrészes sügér (<i>Epinephelus lanceolatus</i>) esetében kontroll takarmánnyal összehasonlítva. ⁴⁸ | Confirmed (89%) |

| | | | |
|----|---|---|------------------|
| 86 | The inclusion of kitchen waste at rates of $\leq 20\%$ in the feed of orange-spotted grouper (<i>Epinephelus coioides</i>) can support adequate growth compared with a fish meal control diet, whereas inclusion rates of 30% or 40% results in reduced growth \[48]. | A konyhai hulladék $\leq 20\%$ -os bevitele a narancsfoltos sügér (<i>Epinephelus coioides</i>) esetében megfelelő növekedést biztosít a kontroll takarmányhoz viszonyítva, míg a 30-40%-os beviteli arány már csökkenti a növekedés intenzitását. ⁴⁸ | Confirmed (87%) |
| 87 | There are a number of challenges when using food wastes in aquaculture feeds. | Az élelmiszer-hulladékok akvakultúra-takarmányokban való felhasználása számos kihívást jelent. | Confirmed (100%) |
| 88 | Food wastes are high in moisture and are perishable, and microorganisms or pathogens may be present, which can be a health and safety concern \[42,49]. | Az élelmiszer-hulladékok magas nedvességtartalmúak és romlandóak, valamint mikroorganizmusok vagy kórokozók lehetnek jelen, ami egészségügyi és biztonsági kockázatot jelenthet. ^{42,49} | Confirmed (89%) |
| 89 | Plant-based wastes can also contain anti-nutritional elements \[42]. | A növényi eredetű hulladékok nem tápláló elemeket is tartalmazhatnak. ⁴² | Confirmed (97%) |
| 90 | Initial waste separation can also be difficult, in terms of not only separating different types of food wastes but also separating from wastes other than food wastes, which results in high variability in nutrient composition as well as contamination. | A kezdeti hulladéksztválogatás is nehézségekbe ütközik, nemcsak a különféle élelmiszer-hulladékok szelektálása okoz gondot, hanem az élelmiszer-hulladékon kívüli egyéb hulladékoktól való elkülönítés is, ami a tápanyag-összetételben és a szennyezettségben is nagy eltéréseket eredményez. | Confirmed (100%) |
| 91 | These problems can be mitigated through the sterilization of pathogens \[42,49] by using feed additives (e.g., enzymes) to enhance nutritive values, or even by improving the collection infrastructure of food waste to increase separation and traceability. | Ezek a problémák a kórokozók fertőtlenítésével mérsékelhetők, ^{42,49} a táplálóanyag tartalom növelését szolgáló takarmányadalékanyagok (pl. enzimek) alkalmazásával, vagy akár az élelmiszer-hulladékok gyűjtési infrastruktúrájának fejlesztésével a szelektálás és a nyomonkövethetőség javítása érdekében. | Confirmed (80%) |
| 92 | Alternatively, instead of using food wastes directly, there are additional options including bioconversion and biotransformation. | Alternatív megoldásként az élelmiszer-hulladék közvetlen felhasználása helyett további lehetőségek állnak rendelkezésre, beleértve a biotranszformációt is. | Confirmed (89%) |
| 93 | Bioconversion uses the food waste as a nutrient source for insects and/or algae, which can subsequently be used as a feed resource \[42,46]; while biotransformation uses food waste as a nutrient source for microorganisms through | A biokonverzió, amikor az élelmiszer-hulladékot rovarok és/vagy algák tápanyagforrásként használják fel, ezeket később takarmányforrásként lehet felhasználni. ^{42,46} Biotranszformáció esetén az élelmiszerhulladékot szilárd | Confirmed (78%) |

| | | | | |
|-----|---|---|--|------------------|
| | solid-state fermentation \[42] with the same objective (see Insects and Microbial Biomass below). | fázisú fermentáció révén ⁴² mikroorganizmusok tápanyagforrásként használják, ugyanezzel a céllal. | | |
| 94 | The use of food wastes in animal feed is well accepted and regulated in many Asian countries, but elsewhere there exists negative stereotypes of using waste as a feed source \[49]. | Az élelmiszer-hulladékok állati takarmányban való felhasználása számos ázsiai országban elfogadott és szabályozott, másol azonban negatív előítéletek vannak a hulladékok takarmányforrásként való felhasználásával kapcsolatban. ⁴⁹ | | Confirmed (97%) |
| 95 | Regulatory barriers also exist in some countries (e.g., the European Union), and food losses rather than food wastes may be more acceptable as feed ingredients \[42,50]. | Egyes országokban (pl. az Európai Unióban) szabályozási korlátozások léteznek, az élelmiszer-hulladék helyett inkább az élelmiszer-pazarlásból származó maradékok jöhetnek számításba takarmányösszetevőként. ^{42,50} | | Confirmed (85%) |
| 96 | Although further economic analyses are required to determine the feasibility of using food losses in animal feed, it may prove suitable for lower-trophiclevel freshwater fish due to their low requirements of protein and the low protein content in food wastes. | Bár további gazdasági elemzések szükségesek az élelmiszer-hulladékok állati takarmányban való felhasználásának meghatározásához, az alacsonyabb fehérjeszükséglet és az élelmiszer-hulladékok alacsony fehérjetartalma miatt alkalmasak lehetnek az alacsonyabb trofitási szinten élő édesvízi halak számára. | | Confirmed (90%) |
| 97 | Insects | Rovarak | | Confirmed (100%) |
| 98 | Production of insects as a protein feed input to aquafeeds does not compete with human food sources or human food production. | A rovarok előállítás, mint a vízi állatok takarmányának fehérjeforrása nem versenyez az emberi táplálékforrásokkal vagy az emberi élelmiszertermeléssel. | | Confirmed (88%) |
| 99 | Insects have short life cycles and can grow on a wide range of substrates with high productivity and high feed conversion factors \[51,52]. | A rovarok életciklusa rövid és különféle szerves anyag szubsztráton (aljzaton) növekedhetnek, magas termelékenységgel és magas takarmány átalakító képességgel. ^{51,52} | | Confirmed (81%) |
| 100 | Combined with relatively good nutritional profiles, the potential of insect meal as a suitable aquafeed ingredient is receiving increasing attention in many countries. | Megfelelő táplálkozási típussal kombinálva számos országban egyre nagyobb figyelmet szentelnek a rovarlisztnak, mint megfelelő haltakarmány összetevőnek. | | Confirmed (100%) |
| 101 | The European Union approved processed animal protein from insects (i.e., insect meals) to be used in aquafeed in Regulation (EU) 2017/893 from July 2017. | Az Európai Unió az (EU) 2017/893 rendeletben 2017 júliusától engedélyezte a rovarokból származó feldolgozott állati fehérjék (azaz rovarlisztek) haltakarmányokban való felhasználását. | | Confirmed (90%) |

| | | | |
|-----|---|---|------------------|
| 102 | There are seven approved insect species, which must be raised with feed-grade substrates. | Jelenleg hét engedélyezett rovarfaj létezik, melyeket azonban takarmányozási célra alkalmas szubsztrátumon kell nevelni. | Confirmed (100%) |
| 103 | Although all of these species are considered non-pathogenic, non-vectors of pathogens, and non-invasive \[53] research has mostly focused on the black soldier fly (<i>Hermetia illucens</i>), the common housefly (<i>Musca domestica</i>), and the yellow mealworm (<i>Tenebrio molitor</i>). | Bár ezek a fajok nem fertőzőek, fertőzést nem terjesztenek és nem idegenhonosak, ⁵³ a kutatások mégis leginkább a fekete katonalégyre (<i>Hermetia illucens</i>), a közönséges házilégyre (<i>Musca domestica</i>) és a közönséges lisztbogárra (<i>Tenebrio molitor</i>) összpontosulnak. | Confirmed (80%) |
| 104 | The crude protein level in most insects ranges from 40% to 63%; however, defatted insect meal can contain up to 83% crude protein \[54]. | A legtöbb rovarban a nyersfehérje mennyisége 40% és 63% között változik, a zsírtalanított rovarliszt azonban akár 83% nyersfehérjét is tartalmazhat. ⁵⁴ | Confirmed (82%) |
| 105 | The amino acid profiles are taxon dependent and vary with species, with the Diptera group (true flies) demonstrating similar profiles to that of fish meal \[55, 56, 57]. | Az aminosavprofilok taxonfüggőek és fajonként változnak, a Diptera csoport (valódi legyek) pedig a hallisztéhez hasonló formákat mutat. ^{55,56,57} | Confirmed (78%) |
| 106 | The crude lipid content of insects ranges from 8.5% to 36%, while the fatty acids profiles are variable and dependent on developmental stage and the substrates used as a nutrient source \[55,57]. | A rovarok nyers lipid mennyisége 8,5% és 36% között változik, míg a zsírsavprofilok változóak és jelentősen függenek a fejlődési szakasztól valamint a tápanyagforrásként használt szubsztrátumoktól. ^{55,57} | Confirmed (82%) |
| 107 | Insects contain negligible amounts of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), lower levels of omega-3, and higher levels of omega-6 fatty acids compared with fish meal. | A rovarok elhanyagolható mennyiségben tartalmaznak eikozapentaénsavat (EPA) és dokozahexaénsavat (DHA), alacsonyabb mennyiségű omega-3 zsírsavat és magasabb mennyiségű omega-6 zsírsavat tartalmaznak a halliszthez képest. | Confirmed (90%) |
| 108 | Lipid quality can be manipulated by the substrates used to raise the insects, and it is possible to enrich the EPA and DHA content by feeding insects with fish offal \[58]; however, this might be economically less advantageous than feeding fish byproducts directly to fish \[57]. | A lipidek minősége befolyásolható a rovarok felneveléséhez használt szubsztrátokkal és lehetséges az EPA- és DHA-tartalom dúsítása a rovarok hal belsőségeken való nevelésével. ⁵⁸ Ez azonban gazdaságilag kevésbé előnyös, mint a hal melléktermékek közvetlen haltakarmányként való felhasználása. ⁵⁷ | Confirmed (97%) |
| 109 | Vitamin and mineral content are also highly dependent on substrate type \[57]. | A vitamin- és ásványianyag tartalom szintén nagymértékben függ a szubsztrát típusától. ⁵⁷ | Confirmed (83%) |
| 110 | Insects are low in carbohydrates (<20%), which are mostly in the form of chitin, a polymer of glucosamine | A rovarok alacsony szénhidrát-tartalmúak (<20%), ezek is többnyire a kitin különböző formái, azaz a glükózamin | Confirmed (86%) |

| | | | | |
|-----|--|---|--|-----------------|
| | \[55, 56, 57] generally considered as anti-nutritional, that fish cannot digest \[59]. | polimerjei, ⁵⁵⁻⁵⁷ viszont nem tartják táplálónak, mert a halak nem képesek megemészteni. ⁵⁹ | | |
| 111 | However, there has been research demonstrating that low levels of chitin could act as an immunostimulant \[57]. | Vannak azonban olyan kutatások, amelyek azt mutatják, hogy a kitin alacsony szintje immunstimulánsként hathat. ⁵⁷ | | Confirmed (97%) |
| 112 | Most studies that replace fish meal with insect meal recommended partial replacement (reviewed by Tran et al. \[56] and Henry et al. \[57]). | A legtöbb olyan tanulmányban, amelyben a hallisztet rovarliszttel helyettesítik, a részleges pótlást javasolják (Tran et al. ⁵⁶ és Henry et al. ⁵⁷ összefoglalójában). | | Confirmed (85%) |
| 113 | However, an increasing number of recent studies are reporting that a 100% replacement of fish meal can be successful, even for carnivorous fish. | Azonban a közelmúltban egyre több tanulmány számol be arról, hogy a halliszt 100%-os helyettesítése is sikeres lehet még a ragadozó halak esetében is. | | Confirmed (90%) |
| 114 | For example, in Atlantic salmon (<i>Salmo salar</i>), insect meal produced using black soldier fly larvae replaced 100% of the fish meal at a dietary inclusion rate of 14.75% \[60]. | Például az atlanti lazac fajban (<i>Salmo salar</i>) a fekete katonalégylárvák felhasználásával előállított rovarliszt a halliszt 100%-át helyettesítette 14,75%-os fehérjetartalmú étrend mellett. ⁶⁰ | | Confirmed (89%) |
| 115 | Insect meal produced using yellow mealworm at graded levels from 5% to 25% improved the growth performance of rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) and achieved a 100% replacement of fish meal \[61] (Figure 3A). | A közönséges lisztbogár felhasználásával előállított rovarliszt 5%-ról 25%-ra növelte a szivárványos pisztráng (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) növekedési erélyét és elérte a halliszt 100%-os helyettesítését ⁶¹ (3A. ábra). | | Confirmed (85%) |
| 116 | Similar observations were made with red sea bream (<i>Pagrus major</i>) using insect meal produced using defatted yellow mealworm larvae, whereby inclusion rates of 25%–65% improved growth performance and disease resistance \[62]. | Hasonló megfigyeléseket végeztek vörös tengeri sügér (<i>Pagrus major</i>) esetében is, amikor zsírtalanított sárga liszt kukac lárvákat használtak fel a takarmányozás során, amely 25–65%-os arányban javította a növekedési erélyt és a betegségekkel szembeni ellenállóképességet. ⁶² | | Confirmed (87%) |
| 117 | Conflicting results exist regarding the effects of insect meal on sensory attributes of fish fillets in the literature. | A rovarlisztnak a halfilé érzékszervi tulajdonságaira gyakorolt hatásaival kapcsolatban ellentmondásos eredmények találhatók a szakirodalomban. | | Confirmed (90%) |
| 118 | Insect meal was reported to affect sensory profile of the fillets of Atlantic salmon \[60] and rainbow trout \[63], but other studies did not observe any sensory differences in Atlantic salmon \[64], rainbow trout \[58], or common carp \[65]. | Egyes jelentések szerint a rovarliszt befolyásolja az atlanti lazac ⁶⁰ és a szivárványos pisztráng ⁶³ filjének érzékszervi profilját, de más vizsgálatok nem mutattak érzékszervi különbségeket az atlanti lazac, ⁶⁴ a szivárványos pisztráng, ⁵⁸ vagy a közönséges ponty esetében. ⁶⁵ | | Confirmed (97%) |
| 119 | Figure 3. | 3. ábra | | Confirmed (99%) |

| | | | |
|-----|---|---|------------------|
| 120 | Case Studies of Fish Meal Replacement in the Diets for Fed-Aquaculture Species | Esettanulmányok a halliszt helyettesítéséről a vízi fajok takarmányozása során | Confirmed (100%) |
| 121 | The complete or partial replacement of fish meal using alternative protein sources demonstrated equivalent or higher growth in the animals than the control fish meal diets. | A halliszt teljes vagy részleges helyettesítése alternatív fehérjeforrásokkal egyenértékű, vagy nagyobb növekedési erélyt mutatott az állatokban, mint a kontroll takarmány felhasználásakor. | Confirmed (101%) |
| 122 | Shading represents the proportion of dietary ingredients. | Az állatok szimbólumainak színerőssége a táplálóanyagok arányát mutatja. | Confirmed (100%) |
| 123 | (A) Rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) were fed a control diet with 25% fish meal or an experimental diet with 25% yellow mealworm protein meal \[61]. | (A) A szivárványos pisztrángot (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) 25% hallisztet tartalmazó kontroll, illetve 25% sárga lisztkukac fehérjét tartalmazó kísérleti takarmánnyal etették. ⁶¹ | Confirmed (92%) |
| 124 | (B) Pacific white shrimp (<i>Litopenaeus vannamei</i>) were fed a control diet with 13% fish meal or an experimental diet with 20% microbial biomass and 4.3% fish meal \[66]. | (B) A fehérlábú ostorgarnélát (<i>Litopenaeus vannamei</i>) 13% hallisztet tartalmazó kontrolltakarmánnyal, illetve 20%-os mikrobiális biomasszát és 4,3%-os hallisztet tartalmazó kísérleti takarmányt etették. ⁶⁶ | Confirmed (92%) |
| 125 | (C) European sea bass (<i>Dicentrarchus labrax</i>) were fed a control diet with 27.5% fish meal or an experimental diet with 18% freeze-dried microalgae and 15% fish meal \[67]. | (C) Az európai tengeri sügér (<i>Dicentrarchus labrax</i>) esetében a kontroll csoportot 27,5%-os hallisztet tartalmazó takarmánnyal, a kísérleti állományt pedig 18% fagyasztva szárított mikroalgával, valamint 15% halliszttel dúsított keveréktakarmánnyal etették. ⁶⁷ | Confirmed (92%) |
| 126 | Challenges of incorporating insect meal into aquaculture feeds include the variable and sometimes less ideal nutritional profiles \[55,56]. | A rovarliszt akvakultúrában felhasznált takarmányokba való beépítésének kihívásai közé tartoznak a változó és legtöbbször kedvezőtlen tápanyagprofilok. ^{55,56} | Confirmed (82%) |
| 127 | Moreover, insect meal is currently not a price-competitive raw material for aquafeeds \[52]. | Ráadásul a rovarliszt jelenleg nem számít versenyképes alapanyagoknak a vízi fajok takarmányozásában. ⁵² | Confirmed (84%) |
| 128 | Economic analysis with the case of European sea bass (<i>Dicentrarchus labrax</i>) demonstrated that the incorporation of yellow mealworm into aquafeeds resulted in increased feeding costs \[68]. | Az európai tengeri sügér (<i>Dicentrarchus labrax</i>) esetében végzett gazdasági elemzés kimutatta, hogy a sárga lisztkukac takarmányba való beépítése megnövekedett takarmányozási költségeket eredményezett. ⁶⁸ | Confirmed (89%) |
| 129 | Furthermore, production levels of insect meal are currently insufficient for constant supply \[52,68], although global production is increasing. | Ezenkívül a rovarliszt termelési szintje jelenleg nem elegendő a folyamatos felhasználáshoz, ^{52,68} bár a globális termelés egyre növekszik. | Confirmed (79%) |

| | | | |
|-----|---|--|------------------|
| 130 | For example, production of black soldier fly increased from 7,000 to 8,000 tons in 2014–2015 to 14,000 tons in 2016 \[69] and, if this continues, the price of insect meal is forecast to be competitive with that of fish meal by 2023 \[69]. | Például a fekete katonalégy termelése a 2014–2015-ös években 7.000 tonnáról 8.000 tonnára nőtt, 2016-ban pedig 14.000 tonnára. ⁶⁹ Amennyiben ez a tendencia így folytatódik, akkor a rovarliszt ára az előrejelzések szerint 2023-ra versenyképes lesz a halliszt árával. ⁶⁹ | Confirmed (97%) |
| 131 | While it will be important to scale up production to improve price competitiveness and production stability \[52] marketing strategies to brand the fish that are fed insect meals as socially and environmentally responsible could also help boost the use of insects in aquafeeds \[68]. | Fontos lesz a termelési mennyiség növelése az árak versenyképességének és a termelés stabilitásának javítása érdekében. ⁵² A rovarliszttekkel takarmányozott halak társadalmi és környezeti felelősségtudatát megtestesítő marketingstratégiák is hozzájárulhatnak a rovarok haltakarmányokban való felhasználásának fellendítéséhez. ⁶⁸ | Confirmed (89%) |
| 132 | The nutritive value of insects can be enhanced by combining insect meals with complementary nutritional profiles or by manipulating the substrate used as a nutrient source to improve fatty acid content, digestibility, and even palatability \[57]. | A rovarok tápanyag mennyisége növelhető a rovartáplálék és a kiegészítő táplálkozási profilok kombinálásával, vagy a tápanyagforrásként használt szubsztrátum manipulálásával a zsírsavtartalom, az emészthetőség, sőt az ízletesség javítása érdekében. ⁵⁷ | Confirmed (97%) |
| 133 | Defatting the insect source can also increase protein levels in the final insect meal produced \[57]. | A rovarforrás zsírsökkentése szintén növelheti az előállított végső rovarfedel fehérjetartalmát. ⁵⁷ | Confirmed (82%) |
| 134 | In addition, improved resource efficiency can be achieved by using food waste as a substrate for insects and converting those waste streams into feed protein for aquaculture in countries where legislation does not prohibit such substrates. | Ezen túlmenően az erőforrás-hatékonyság növelhető úgy is, ha az élelmiszer-hulladékot a rovarok szubsztrátumaként használják fel, hogy értékes takarmányfehérjét állítsanak elő az haltakarmányok számára azokban az országokban, ahol a jogszabályok nem tiltják a rovar alapanyagokat. | Confirmed (90%) |
| 135 | While technological improvements are required to produce a consistently high-quality product, the use of insect meal in aquafeeds has long-term potential if the price is competitive and supply can be maintained. | Bár technológiai fejlesztésekre van szükség az állandóan jó minőségű termék előállításához, a rovarliszt haltakarmányokban való felhasználása hosszú távú potenciállal rendelkezik, ha az ár versenyképes és a kínálat fenntartható. | Confirmed (90%) |
| 136 | Microbial Biomass | Mikrobiális biomassza | Confirmed (100%) |
| 137 | The microbial biomass produced from various microorganisms, also known as “microbial protein” or | A különféle mikroorganizmusokból előállított mikrobiális biomassza, más néven „mikrobiális fehérje” vagy „egysejtű | Confirmed (81%) |

| | | | | |
|-----|---|---|--|-----------------|
| | "single-cell protein," is a promising substitute for animal- or plant-derived ingredients for aquafeeds \[19, 70, 71, 72, 73, 74] (Figure 3B). | fehérje", ígéretes helyettesítője az állati, vagy növényi eredetű összetevőknek az akvakultúrában használt keveréktakarmányokhoz ^{19,70-74} (3B ábra). | | |
| 138 | Among the highly diversified group of microorganisms, bacteria, yeasts, and microalgae are generally regarded as having the highest potential for aquafeeds \[70, 71, 72, 73]. | A mikroorganizmusok igen változatos csoportja közül általában a baktériumokat, élesztőket és mikroalgákat tekintik a legnagyobb potenciállal rendelkezőnek a takarmányok számára. ⁷⁰⁻⁷³ | | Confirmed (81%) |
| 139 | To achieve this potential there should be a focus on improving the scale of production, which will ensure the process chain is environmentally sustainable and reduce the cost of production \[70, 71, 72]. | Ennek a potenciálnak elérése érdekében a termelés méretének javítására kell összpontosítani, amely biztosítja a gyártási kapcsolatrendszer környezeti szempontbóli fenntarthatóságát és csökkenti a termelési költségeket. ⁷⁰⁻⁷² | | Confirmed (85%) |
| 140 | Bacteria and yeasts have a relatively high protein content (50%–65% and 45%–55%, respectively), with amino acid profiles that are comparable with fish meal \[70,72,73] and can potentially be used as either functional feed additives or as alternative raw materials \[70,72,73, 74, 75, 76, 77]. | A baktériumok és az élesztők viszonylag magas fehérjetartalommal rendelkeznek (50–65%, illetve 45–55%), aminosavprofiljaik hasonlóak a halliszhez ^{70,72,73} és feltehetően megfelelő takarmány-adalékanyagként használhatók, vagy alternatív nyersanyagként. ^{70,72-77} | | Confirmed (79%) |
| 141 | The nutritional profile of bacteria and yeasts can also be manipulated or enhanced by modifying the culture media, growth conditions, and post-harvest treatments \[70,72]. | A baktériumok és élesztők táplálkozási formája manipulálható vagy javítható a táptalajok, a növekedési feltételek és a begyűjtés utáni kezelések módosításával. ^{70,72} | | Confirmed (84%) |
| 142 | The resulting microbial biomass produced can provide excellent nutritional characteristics for aquatic animals \[70,72,73, 74, 75, 76, 77]. | Az így előállított mikrobiális biomassza kiváló táplálkozási jellemzőket biztosíthat a vízi állatok számára. ^{70,72-77} | | Confirmed (71%) |
| 143 | For example, yeasts derived from hydrolyzed lignocellulosic biomass through fermentation are a suitable source of protein for the diets of fishes, including carnivorous species such as Atlantic salmon and rainbow trout, with the caveat that additional synthetic methionine would have to be supplemented in the feed \[72]. | Például a hidrolizált lignocellulóz biomasszából fermentáció útján nyert élesztők alkalmas fehérjeforrásként szolgálnak a halak számára, beleértve a ragadozó fajokat, például az atlanti lazacot és a szivárványos pisztrángot, azzal a feltétellel, hogy a takarmányba további mesterséges metionint kell adagolni. ⁷² | | Confirmed (97%) |
| 144 | There is also a range of commercial products available in the marketplace \[70,72,74], including Novacq, a potent microbial bioactive that can reduce the quantity of fish meal required in the feed of the black tiger prawn (<i>Penaeus monodon</i>) while maintaining growth rates. | A kereskedelemben számos termék is kapható, ^{70,72,74} köztük a Novacq, amely egy hatékony mikrobiális bioaktív anyag, amely az óriás csíkos ostorgarnéla (<i>Penaeus monodon</i>) takarmányában szükséges halliszt mennyiségét csökkentheti, miközben a növekedési erélyét fenntartja. ⁷⁵ | | Confirmed (87%) |

| | | | | |
|-----|---|--|--|-----------------|
| 145 | However, even though bacteria and yeasts have high potential as an alternative source of protein for aquafeeds, their use is still limited due to the high cost of production \[72]. | Annak ellenére, hogy a baktériumok és élesztőgombák nagy potenciállal rendelkeznek a vízi élőlények takarmányainak alternatív fehérjeforrásaként, felhasználásuk még mindig korlátozott a magas előállítási költségek miatt. ⁷² | | Confirmed (96%) |
| 146 | Their suitability and inclusion rates will also need to be evaluated at the species level, with a focus on their digestibility and the bioavailability of nutrients contained within the microbial biomass. | Alkalmasságukat és bekeverési arányukat fajok szintjén is értékelni kell, különös tekintettel az emészthetőségükre és a mikrobiális biomasszában található tápanyagok biológiai hozzáférhetőségére. | | Confirmed (89%) |
| 147 | Microalgae are cultivated and used as a feed resource in the aquaculture industry and are invaluable during the larval rearing stage of many aquaculture species \[77]. | A mikroalgákat az akvakultúra-iparban takarmányforrásként termelik és használják, és számos akvakultúra faj lárvanevelési szakaszában felbecsülhetetlen értékűek. ⁷⁷ | | Confirmed (82%) |
| 148 | The nutritional quality of microalgae is high, with a crude protein content of up to 71% and a lipid content of up to 40%, which are comparable with that of terrestrial plant and animal sources \[78, 79, 80]. | A mikroalgák tápanyag mennyisége magas, nyersfehérje-tartalmuk elérheti akár a 71%-ot, lipidtartalma pedig akár a 40%-ot is, ami hasonló a szárazföldi növényi és állati forrásokéval. ⁷⁸⁻⁸⁰ | | Confirmed (80%) |
| 149 | Microalgae have the potential to replace fish meal and fish oil in aquafeeds \[71,77,81] and many studies have demonstrated the successful use of microalgal biomass as a feed additive or fish meal replacement for a range of aquaculture species, generally with positive effects on growth and quality \[70, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87] (Figure 3C). | A mikroalgák képesek helyettesíteni a hallisztet és a halolajat a haltakarmányokban ^{71,77,81} és számos tanulmányban igazolták a mikroalga-biomassza sikeres felhasználását takarmány-adalékanyagként, vagy halliszt-helyettesítőként számos vízi faj esetében. Általában pozitív hatással van a növekedésre és a minőségre ^{70,81-87} (3C ábra). | | Confirmed (74%) |
| 150 | The biological capacity of microalgae, underpinned with positive research findings on the replacement efficacy in aquafeeds across many aquaculture species, suggests that there is high potential for the use of microalgae as a protein source. | A mikroalgák biológiai erőforrásként való alkalmazását, amelyet számos akvakultúrában tenyésztett faj esetében a takarmány-összetevők helyettesítésére használnak, pozitív kutatási eredmények támasztanak alá, ami arra mutat, hogy a mikroalgák fehérjeforrásként való felhasználásában nagy lehetőségek rejlenek. | | Confirmed (90%) |
| 151 | However, this potential is diminished by the technical, biological, and economic difficulties regarding the continuous production of high-quality microalgal biomass, | Ezt a potenciált azonban csökkentik a kiváló minőségű mikroalga biomassza folyamatos előállításával, illetve | | Confirmed (76%) |

| | | | | |
|-----|--|--|--|-----------------|
| | and its downstream processing, at scale \[40, 79, 88, 89, 90]. | annak nagyüzemi feldolgozásával kapcsolatos műszaki, biológiai és gazdasági nehézségek. ^{40,79,88,89,90} | | |
| 152 | The current world production of microalgae (auto- and heterotrophic) is estimated to be approximately 40,000 tons per year \[90], only 0.7% of what would actually be needed to replace the protein from fish meal in aquaculture. | A világ jelenlegi (auto- és heterotróf) mikroalga termelése a becslések szerint évente körülbelül 40.000 tonnára becsülhető, ⁹⁰ amely mindössze 0,7%-a annak, amire ténylegesen szükség lenne a hallisztból származó fehérje akvakultúrában történő helyettesítéséhez. | | Confirmed (80%) |
| 153 | In addition, the current price of microalgae is between US\$10 and \$30 per kg, several magnitudes higher than soybean meal (\$0.30 per kg), hence global production is limited to high-value niches in the human supplement and nutraceutical markets \[19,90]. | Ezenkívül a mikroalgák jelenlegi ára 10 és 30 amerikai dollár között mozog kilogrammonként, amely nagyságrenddel magasabb, mint a szójaliszté (0,30 amerikai dollár kilogrammonként), ezért a globális termelés az emberi táplálékkiegészítők és a táplálékkiegészítő gyógyszerek piacára korlátozódik. ^{19,90} | | Confirmed (82%) |
| 154 | Although attempts have been made to model the cost and production of microalgae to satisfy the protein demand of aquaculture \[93, 94, 95], such efforts can only be considered as academic exercises as they do not take into account the difficulties of upscaling production from medium scale (<1 hectare) to large scale (>10,000 hectare). | Bár történtek vizsgálatok a mikroalgák költség-, és termelékenységének modellezésére az akvakultúra ágazat fehérjeigényének kielégítésére, ^{93,94,95} de ezek csak elméleti tudományos összefüggésnek tekinthetők, mivel nem veszik figyelembe a közepesebb méretű (<1 hektár) és a nagyüzemű (>10.000 hektár) termelési egységek közötti jelentős különbségeket. | | Confirmed (79%) |
| 155 | Therefore, due to the current low volumes, high production costs, and cultivation challenges, it is highly unlikely that microalgae will become a viable alternative source of protein for aquafeeds in the next decade. | A jelenlegi alacsony mennyiségek, magas termelési költségek és a termesztési kihívások miatt igen valószínű, hogy a következő évtizedben a mikroalgák életképes alternatív fehérjeforrássá váljanak a keveréktakarmányok számára. | | Confirmed (90%) |
| 156 | Macroalgae | Makroalgák | | Confirmed (90%) |
| 157 | The production of marine macroalgae (also termed seaweeds) is an established industry that accounts for nearly 30% of global aquaculture production, with an output volume of 30 million tons per year that is worth more than \$6 billion \[96]. | A tengeri makroalgák (más néven tengeri moszatok) termelése egy olyan fejlett iparág, amely a globális akvakultúra-termelés közel 30%-át teszi ki, évi 30 millió tonnás termelési mérettel, amelynek értéke meghaladja a 6 milliárd dollárt. ⁹⁶ | | Confirmed (82%) |
| 158 | Nearly 90% of all cultivated seaweeds are produced in China and Indonesia \[9, 96]. | Az összes megtermelt tengeri moszat közel 90%-át Kínában és Indonéziában állítják elő. ^{9,96} | | Confirmed (77%) |

| | | | |
|-----|--|--|-----------------|
| 159 | The main species of seaweed, which account for 95% of the total production, are <i>Eucheuma</i> spp., <i>Laminaria japonica</i> (Japanese kelp), <i>Gracilaria</i> spp., <i>Undaria pinnatifida</i> (Japanese wakame), <i>Kappaphycus alvarezii</i> , and <i>Porphyra</i> spp. (Japanese nori) [9, 96, 97], the majority of which are produced almost exclusively for human consumption [9, 96, 98]. | A fő moszatfajok, amelyek a teljes termelés 95%-át teszik ki, az <i>Eucheuma</i> spp., <i>Laminaria japonica</i> (kombu moszat), <i>Gracilaria</i> spp, <i>Undaria pinnatifida</i> (wakame moszat), <i>Kappaphycus alvarezii</i> és <i>Porphyra</i> spp. (nori moszat), ^{9,96,97} amelyek többségét szinte kizárólag emberi fogyasztásra termelik. ^{9,96,98} | Confirmed |
| 160 | In addition to targeting high-value applications, recent developments have demonstrated the bioremediation capacity of both seaweeds and freshwater macroalgae, and their integration into existing sources of nutrient-rich waste water from agriculture, aquaculture, municipal wastewater treatment, and power generation. | Amellett, hogy szerteágazó felhasználási irányokat céloznak meg a makroalgákkal, a közelmúlt fejlesztései bebizonyították, hogy mind a moszatok, mind az édesvízi makroalgák jelentős kármentesítési képességgel rendelkeznek, hiszen a mezőgazdaságból, akvakultúrából, települési szennyvíztisztításból és áramtermelésből származó szennyvíz gazdag tápanyagait saját forrásaikba építik. | Confirmed (72%) |
| 161 | The key to this concept is that, as these macroalgae grow they assimilate dissolved nutrients (particularly inorganic nitrogen and phosphorous), which would otherwise be wasted, from the water column and convert them into biomass and, consequently, a source of protein. | Ennek a koncepciónak az alapja az, hogy a növekedés során ezek a makroalgák felveszik a vízoszlopból az oldott tápanyagokat (különösen a szervesetlen nitrogént és foszfátot), amelyek egyébként veszteségként lehet értelmezni, de a vízoszlopból történő asszimiláció révén biomasszává alakul, következésképpen fehérjeforrás képződik. | Confirmed (89%) |
| 162 | This provides a unique opportunity to recover waste nutrients, allowing these industries to expand and intensify production while minimizing their environmental impact. | Ez egyedülálló lehetőséget biztosít a hulladék tápanyagok visszanyerésére, lehetővé téve ezen iparágak számára a termelés bővítését és fokozását, miközben minimalizálják a környezetre gyakorolt hatásukat. | Confirmed (76%) |
| 163 | The potential scale of this resource is impressive, with a demonstrated biomass production rate of 45–70 tons of dry weight hectare–1 per year and an average crude protein content of [1]~[2]22%. | Ennek az erőforrásnak potenciális mérete óriási: a biomassza termelésének bizonyított mértéke évente 45-70 tonna szárazanyag hektáronként, átlagos nyersfehérje-tartalma pedig 22%. | Confirmed (79%) |
| 164 | The proportion of crude protein in macroalgae, particularly when harvested from the wild, is highly variable, ranging from <1% to 48% of the biomass dry weight [99, | A nyersfehérje aránya a makroalgákban, különösen a vadon termő növényekben, nagyon változó, a biomassza száraz tömegének <1%-tól 48%-ig terjed, ^{99,106-109} amely a | Confirmed (76%) |

| | | | | |
|-----|---|--|--|-----------------|
| | 106, 107, 108, 109], and depends on both species and environmental conditions. | fajoktól és a környezeti feltételektől is nagymértékben függ. | | |
| 165 | It should be noted that many of the crude protein values reported in the literature are overestimated \[110], and the true crude protein content, representing a more realistic range, is 10%–30% when grown under non-limiting nutrient conditions \[111, 112, 113]. | Meg kell jegyezni, hogy a szakirodalomban szereplő nyersfehérje értékek sokszor túlbecsültek, ¹¹⁰ valójában a nyersfehérje-tartalom 10%-30% között változik, amennyiben nincs tápanyag korlátozó tényező a termelés során. ¹¹¹⁻¹¹³ | | Confirmed (77%) |
| 166 | Despite this, macroalgae are considered to be a high-quality source of protein, with the majority of species having equivalent, or higher, total essential amino acids as a proportion of total amino acids than traditional agricultural crops and fish meal \[99, 113, 114, 115]. | Ennek ellenére a makroalgák jó minőségű fehérjeforrásnak számítanak, mivel a fajok többsége az összes aminosavhoz viszonyítva egyenértékű, vagy magasabb összes esszenciális aminosavval rendelkezik, mint a hagyományos mezőgazdasági termények és halliszt. ^{99,113-115} | | Confirmed (79%) |
| 167 | For example, one of the first limiting amino acids in plant-based diets of fish and crustaceans is methionine \[116], which makes up a higher proportion of the total amino acids in macroalgae compared with soybean meal and can be up to twice as high \[99,110,114]. | Például a halak és rákfélék növényi alapú takarmányában az egyik első korlátozó aminosav a metionin, ¹¹⁶ amely a makroalgákban a szójaliszthez képest nagyobb arányban van jelen az összes aminosavban, mindez akár kétszerese mennyiség is lehet. ^{99,110,114} | | Confirmed (79%) |
| 168 | In contrast, the absolute concentration of essential amino acids on a whole biomass basis is substantially lower in macroalgae (5.5% dry weight) than in soybean meal (22.3% dry weight) and fish meal (31.2% dry weight) \[113], due to high concentrations of complex polysaccharides (up to 76% dry weight) \[117], also known as dietary fiber. | Ezzel szemben az esszenciális aminosavak abszolút koncentrációja a teljes biomassza alapján számítva lényegesen alacsonyabb a makroalgákban (5,5% száraz tömeg), mint a szójalisztben (22,3% száraz tömeg) és a hallisztben (31,2% száraz tömeg), ¹¹³ a komplex poliszacharidok, más néven élelmi rostok magas koncentrációja (akár 76% száraz tömeg) ¹¹⁷ miatt. | | Confirmed (79%) |
| 169 | Dietary fiber limits the digestibility of the algal protein fractions and affects the overall nutritional value when incorporated into aquafeeds \[118, 119, 120]. | Az élelmi rostok korlátozzák az algafehérje frakciók emészthetőségét és befolyásolják az általános tápanyag mennyiséget, ha a vízi élőlények számára fejlesztett takarmányokba kerülnek. ¹¹⁸⁻¹²⁰ | | Confirmed (77%) |
| 170 | Accordingly, inclusion levels of macroalgae at rates >10% generally have negative effects on growth and feed conversion of commercial fish species \[121, 122, 123, 124]. | Ennek megfelelően a makroalgák 10%-nál nagyobb arányú felhasználási mennyisége általában negatív hatással van a kereskedelmi halfajok növekedésére és takarmány-értékesítésére. ¹²¹⁻¹²⁴ | | Confirmed (76%) |

| | | | |
|-----|---|---|-----------------|
| 171 | However, macroalgae is still suitable when incorporated as a functional feed ingredient at low levels and, when included at rates <10%, there are often positive effects on the animals being cultivated \[122, 125, 126]. | A makroalgák azonban még akkor is alkalmasak takarmány kiegészítésre, ha alacsonyabb szinten használják fel takarmány-összetevőként, amennyiben 10%-nál kisebb arányban szerepelnek, akkor gyakran pozitív hatást gyakorolnak a tenyésztett állatokra. ^{122,125,126} | Confirmed (79%) |
| 172 | The bioactive compounds found in macroalgae are associated with health-promoting effects including improved stress resistance and enhanced immune function \[127, 128, 129, 130, 131]. | A makroalgákban található bioaktív vegyületek egészségjavító hatással járnak, beleértve a stresszel szembeni jobb ellenállóképességet és a fokozott immunvédelmet. ¹²⁷⁻¹³¹ | Confirmed (74%) |
| 173 | In addition, macroalgae enhance the flavor of farmed fish \[132,133] and act as a feeding stimulant, which indirectly boosts protein intake \[127,134,135]. | Ezenkívül a makroalgák javítják a tenyésztett halak ízét ¹³²⁻¹³³ és táplálkozásserkentőként működnek, ami közvetve növeli a fehérjebevitelt. ^{127,134,135} | Confirmed (75%) |
| 174 | As such, using whole macroalgal biomass as a functional feed additive for aquatic animals is a promising application. | A teljes makroalga biomassza funkcionális takarmány adalékanyagként való felhasználása a víziállatok számára ígéretes felhasználási forma. | Confirmed (90%) |
| 175 | Using whole macroalgal biomass as an alternative protein source has been successful in conjunction with herbivorous aquatic animal species \[136, 137, 138, 139, 140]. | A teljes makroalga biomassza alternatív fehérjeforrásként történő felhasználása sikeres volt a növényevő víziállatfajok nevelése során. ¹³⁶⁻¹⁴⁰ | Confirmed (74%) |
| 176 | This has been particularly successful for abalone, whereby seaweeds are cultivated in the discharge water and then used as feed \[100]. | Ez különösen sikeres volt az abalon kagyló esetében, ahol a hínárnövényt használt elfolyó vizes közegben termesztették, majd takarmányként használták fel a kagylók számára. ¹⁰⁰ | Confirmed (81%) |
| 177 | There is also potential for its use with omnivorous species \[141], as these animals have lower protein requirements compared with carnivorous fish \[141]. | A makroalgák mindenevő fajoknál történő felhasználására is van lehetőség, ¹⁴¹ mivel ezeknek az állatoknak a ragadozó halakhoz képest alacsonyabb a fehérjeszükségletük. ¹⁴¹ | Confirmed (76%) |
| 178 | Currently, the opportunity and value of using macroalgae in aquafeed for carnivorous fish lies more in its application as a functional feed ingredient to improve the health and welfare of these animals rather than as a viable large-scale alternative protein source. | Jelenleg a makroalgák a ragadozó halak takarmányozásában való felhasználásának lehetősége és értéke inkább abban rejlik, hogy funkcionális takarmány-összetevőként használják ezen állatok egészségének és jólétének javítására, mintsem működőképes, nagyüzemű alternatív fehérjeforrásként. | Confirmed (90%) |

| | | | |
|-----|---|---|-----------------|
| 179 | If macroalgae are to replace fish meal in aquafeeds, processing of the biomass is required to deliver a more concentrated form of the protein. | Amennyiben a makroalgákkal kívánjuk helyettesíteni a hallisztet a takarmányokban, akkor a biomassza feldolgozására van szükség a fehérje koncentráltabb formájának előállításához. | Confirmed (90%) |
| 180 | This can be achieved either through the direct extraction and isolation of protein or by removing non-protein components, such as ash and soluble carbohydrates, thus increasing the relative proportion of protein in the residual macroalgal biomass \[105,143, 144, 145, 146]. | Az elérhető fehérje közvetlen kivonásával és izolálásával, vagy a nem fehérje komponensek, például a hamu és az oldható szénhidrátok eltávolításával jelentősen növelhető a fehérje relatív arányát a maradék makroalga biomasszában. ^{105,143-146} | Confirmed (79%) |
| 181 | However, these processes are still being developed and while not yet commercialized \[145], they have been successfully applied to <i>Ulva ohnoi</i> , a commercially grown bioremediation species, to increase its protein content from 22% to 45% on a dry-weight basis \[105]. | Ezek az eljárások azonban még mindig fejlesztés alatt állnak és még nem kerültek kereskedelmi forgalomba, ¹⁴⁵ de sikeresen alkalmazták őket egy japánban kereskedelmileg termesztett bioremediációs hínárfajra (<i>Ulva ohnoi</i>), ahol a fehérjetartalmat 22%-ról 45%-ra növelték száraz tömegre vonatkoztatva. ¹⁰⁵ | Confirmed (79%) |
| 182 | Importantly, the quality of the concentrated protein in that study was comparable with that of soybean meal and white fish meal, suggesting that it would be a suitable protein replacement option, with the caveat that it still must be tested in vivo \[105]. | Fontos, hogy az említett vizsgálatban a koncentrált fehérje minősége összehasonlítható volt a szójaliszt és a fehér halliszt minőségével, ami arra utal, hogy megfelelő fehérjepótló lehetőség lenne, azzal a feltétellel, hogy még valós körülmények között (in vivo) is tesztelni szükséges. ¹⁰⁵ | Confirmed (82%) |
| 183 | Although this process is currently in its infancy, the development of macroalgae as a source of protein will provide a net increase to the supply of protein for the world. | Bár ez az eljárás jelenleg még gyerekcipőben jár, de a makroalgák fehérjeforrásként való alkalmazása bizonyosan növekedést fog biztosítani a világ fehérjeellátásában. | Confirmed (90%) |
| 184 | Macroalgae cultivated through bioremediation represents an environmentally friendly alternative to many traditional sources of protein and will help to alleviate some of the competition for protein resources between aquaculture and terrestrial livestock production. | A bioremediációval termelt makroalgák környezetbarát alternatívát jelentenek számos hagyományos fehérjeforrással szemben és segítenek enyhíteni az akvakultúra és a szárazföldi állattenyésztés közötti fehérjeforrásokért folyó versenyt. | Confirmed (89%) |
| 185 | Improvements in Efficiency | A hatékonyság javulása | Confirmed (90%) |
| 186 | Improving animal performance and animal health is a key to not only reducing aquaculture production costs but also | Az állatok növekedési teljesítményének és egészségi állapotának javítása kulcsfontosságú nemcsak az akvakultúra termelési költségeinek, hanem a környezeti | Confirmed (82%) |

| | | | | |
|-----|--|--|--|-----------------|
| | reducing environmental impacts including decreasing carbon footprints \[147,148]. | hatások csökkentésében is, beleértve a szén-dioxid kibocsátását mérséklését is. ^{147,148} | | |
| 187 | Traditionally, in aquaculture to date, this has been implemented through the optimization of feed formulations to achieve the most efficient feed conversion ratios (FCRs), which represent the quantity of feed consumed to produce one unit of animal biomass gain. | Az akvakultúra termelésben ezt hagyományosan a takarmánykészítmények optimalizálásával valósult meg a leghatékonyabb takarmányhasznosulási arányok (FCR) elérése érdekében, amelyek az egységnyi állati biomassza-nyereség előállításához elfogyasztott takarmány mennyiségét jelentik. | | Confirmed (90%) |
| 188 | The optimization of FCRs is based on maximizing animal survival and growth traits \[148]. | A takarmányhasznosulás (FCR) optimalizálása az állatok túlélési és növekedési tulajdonságainak maximalizálásán alapul. ¹⁴⁸ | | Confirmed |
| 189 | However, for species that require relatively large quantities of fish meal and fish oil in their diets, this can be environmentally and economically unsustainable given the limited fishery resources \[149,150]. | Az olyan fajok esetében azonban, amelyek szükségletében viszonylag nagy mennyiségű hallisztet és halolajat igényelnek, környezeti és gazdasági szempontból fenntarthatatlan lehet a korlátozott halászati erőforrások miatt. ^{149,150} | | Confirmed (69%) |
| 190 | A sustainable solution would be for farmed animals to be fed renewable plant-sourced and emerging alternative protein and oil products, while at the same time improving FCRs and other production traits through husbandry, species-specific feed formulation, functional feed additives, and selective breeding practices and their interaction (i.e., genotype × diet interaction \[148,151]. | Fenntartható megoldást jelentene, ha a tenyésztett állatokat megújuló növényi eredetű és újonnan megjelenő alternatív fehérje- és olajtermékekkel takarmányoznánk. Az ilyen típusú takarmányozás mellett a nevelési technológia, a fajspecifikus takarmányelőállítás, a funkcionális takarmányadalek, a szelektív tenyésztési gyakorlatok és ezek kölcsönhatása (azaz a genotípus x takarmányhasznosulás kölcsönhatása) révén javíthatjuk eredményesen az FCR-t és más termelési jellemzőket. ^{148,151} | | Confirmed (83%) |
| 191 | Consequently, there is considerable scope for improved efficiency in fed-aquaculture production. | Következésképpen az akvakultúra termelés hatékonyságának javítására kimagasló lehetőségek vannak. | | Confirmed (90%) |
| 192 | The transition toward plant-based diets has been challenging, and the effects of plant ingredients on animal growth and health have been widely studied \[152, 153, 154] Plant-based diets typically contain carbohydrates that have low digestibility in carnivorous | A növényi alapú táplálkozásra való áttérés még kihívást jelent. A növényi összetevőknek az állatok növekedésére és egészségére gyakorolt hatását széles körben tanulmányozzák. ¹⁵²⁻¹⁵⁴ A növényi alapú takarmányok jellemzően olyan szénhidrátokat tartalmaznak, amelyek a ragadozó állatok számára alacsony emészthetőségűek, | | Confirmed (62%) |

| | | | | |
|-----|--|--|--|-----------------|
| | animals as well as anti-nutritional elements that affect feed intake, feed efficiency, metabolism, and health \[155,156]. | valamint olyan nem tápláló elemeket tartalmaznak, amelyek befolyásolják a takarmányfelvételt, a takarmányértékesítést, az anyagcserét és a természetes ellenállóképesség mértékét. ^{155,156} | | |
| 193 | While many aquaculture species are carnivorous (e.g., salmon and tuna), others are omnivorous or herbivorous (e.g., shrimp, tilapia, catfish, and carp species); therefore, different species vary in their capacity to effectively use different kinds of animal or plant feed ingredients. | A táplálkozási stratégia tekintetében ragadozó (pl. lazac és tonhal), illetve a mindenevő, vagy növényevő fajok (pl. garnélarák, tilápia, harcsa és pontyfajok) eltérő mértékben képesek hatékonyan felhasználni a különféle állati, vagy növényi takarmány-összetevőket. | | Confirmed (90%) |
| 194 | Recently, feed formulations have improved, allowing complete substitution of animal-based diets with plant-based ones in some species \[157]. | A közelmúltban a takarmánykészítmények minősége javultak, lehetővé téve egyes fajok esetében az állati eredetű takarmányok teljes helyettesítését növényi eredetűekkel. ¹⁵⁷ | | Confirmed (81%) |
| 195 | However, these results are species specific, and total substitution with plant-based ingredients can still negatively affect survival and growth rates in other species \[158]. | Ezek az eredmények azonban fajspecifikusak és a növényi alapú összetevőkkel való teljes helyettesítés továbbra is negatívan befolyásolhatja más fajok túlélését és növekedési ütemét. ¹⁵⁸ | | Confirmed (81%) |
| 196 | Based on modern advances in feed ingredient processing and gene technology, there is now the capability to process and/or engineer plant crops as feed ingredients that specifically address the challenges of incorporating plant-based products into aquafeeds. | A takarmány alapanyagok feldolgozásában és a géntechnológiában elért modern fejlődés alapján ma már lehetőség van olyan növényi kultúrák takarmány-összetevőként történő feldolgozására és/vagy átalakítására, amelyek kifejezetten a növényi eredetű termékek takarmányokba való beépítésének kihívásait kezelik. | | Confirmed (88%) |
| 197 | At present, soybean meal is a primary source of vegetable protein in aquafeeds \[156]. | Jelenleg a növényi fehérje elsődleges forrása a szójaliszt az akvakultúra takarmányokban. ¹⁵⁶ | | Confirmed (80%) |
| 198 | In an attempt to negate the negative effects of soybean inclusion, biotechnology (i.e., gene expression and silencing) is being used to suppress anti-nutritional elements or to alter seed protein composition for increased digestibility \[159, 160, 161]. | A szójabab negatív hatásainak kiküszöbölésére biotechnológiát (azaz génexpressziót és géncsendesítést/géngátlás) alkalmaznak a táplálkozásellenes elemek elnyomására, vagy a magfehérje összetételének megváltoztatására a jobb emészthetőség érdekében. ¹⁵⁹⁻¹⁶¹ | | Confirmed (80%) |

| | | | |
|-----|---|--|-----------------|
| 199 | In addition, biotechnology can be used to value-add by genetically modifying soybean to produce unique products for specific animal requirements. | Ezen túlmenően a biotechnológia felhasználható minőségi értéknövelésre a szójabab genetikai módosításával, hogy egyedi termékeket állítsanak elő speciális állati követelményeknek megfelelően. | Confirmed (90%) |
| 200 | For example, soybean with higher proportions of omega-3 fatty acids can be used for enhanced animal growth and human health benefits \[89,162], and soybean with carotenoid gene enhancements can be used to enhance the flesh pigment of salmon \[161,163]. | Például a nagyobb omega-3 zsírsavat tartalmazó szója felhasználható az állatok növekedésének fokozására és az emberi egészség fejlesztésére, ^{89,162} valamint a génkezeléssel karotinoidot tartalmazó szójabab alkalmas a lazachús pigmentációjának fokozására. ^{161,163} | Confirmed (77%) |
| 201 | There is also research demonstrating the use of prototype vaccines engineered by plant biotechnology for inclusion in plant-based aquafeeds for species requiring mass oral immunization. | Vannak olyan kutatások is, amelyek a növényi biotechnológiával előállított vakcinák prototípusainak felhasználását mutatják be, amelyeket növényi alapú takarmányokba lehet beépíteni tömeges immunizálást igénylő fajok számára. | Confirmed (90%) |
| 202 | In addition to the modification of soybean, there has been an emergence of functional feed additives in aquaculture diets \[75,165, 166, 167]. | A szójabab módosítása mellett megjelentek a funkcionális takarmány-adalékanyagok is az akvakultúrában tenyésztett fajok takarmányaiban. ^{75,165-167} | Confirmed (77%) |
| 203 | Functional feed additives can indirectly act as growth promoters by improving immune function, reducing oxidative stress, and enhancing disease resistance, rather than directly providing extra nutrients essential to growth. | A funkcionális takarmány-adalékanyagok közvetlen növekedésserkentőként működhetnek azáltal, hogy javítják az immunrendszer működését, csökkentik az oxidatív stresszt és fokozzák a betegségekkel szembeni ellenállóképességet, ahelyett, hogy közvetlenül a növekedéshez nélkülözhetetlen többlet tápanyagokat biztosítanak. | Confirmed (89%) |
| 204 | There is an array of products sold under commercial trademarks (e.g., Novacq, ALIMET, and Sanocare) that report improved survival and growth \[168, 169, 170, 171], and while the active ingredients of these can include bioactives obtained from plant-derived purifications, the majority appear to be from microbial biomass-derived sources. | Számos olyan termék létezik kereskedelmi védjegyekkel ellátva (pl. Novacq, ALIMET és Sanocare), amelyek jobb megmaradásról és növekedésről számolnak be, ¹⁶⁸⁻¹⁷¹ bár ezek hatóanyagai között lehetnek növényi eredetű tisztításból nyert bioaktív anyagok, de leginkább úgy tűnik, hogy a legtöbbjük mikrobiális biomassza eredetű forrásból származik. | Confirmed (78%) |
| 205 | In the absence of recombinant engineering of microbes, most of the processes used to produce functional feed | A mikrobák rekombináns tervezésének hiányában a funkcionális takarmány-adalékanyagok előállítására | Confirmed (90%) |

| | | | | |
|-----|--|--|--|-----------------|
| | additives are discoveries of biological action and lack the enforceable protections of a patent (e.g., US H2218H). | használt eljárások többsége biológiai hatások kutatása és nem rendelkeznek a szabadalom érvényesíthető védelmével (pl. US H2218H). | | |
| 206 | Consequently, there is a high level of commercial secrecy around their production and mode of action. | Következésképpen előállításukat és hatásmechanizmusukat nagyfokú kereskedelmi titoktartás övezi. | | Confirmed (90%) |
| 207 | After reviewing a number of patents that exist relating to microbial biomass products, it is apparent that their mode of action is through immune stimulation, gut microbial/microbiome modulation, or improved expressers of nutrient elements including selenium (Patent EP1602716A1), glucosamine (Patent US H2218H), and essential fatty acids (Patents JP599652B2 and US6255505B1). | A mikrobiális biomassza termékekkel kapcsolatos számos szabadalom áttekintése után nyilvánvaló, hogy hatásmechanizmusuk az immunstimuláció, a bél mikrobiális/mikrobiom moduláció, vagy a tápanyagelemek, köztük a szelén (EP1602716A1 szabadalom), a glükózamin (US H2218H szabadalom) és az esszenciális zsírsavak (JP599652B2 és US6255505B1 szabadalom) jobb kifejeződése révén valósul meg. | | Confirmed (90%) |
| 208 | Considering that the majority of functional feeds promote immune response and growth, it is perhaps misleading to consider them "optional additives" within the context of aquafeed preparation. | Tekintettel arra, hogy a funkcionális takarmányok többsége elősegíti az immunválaszt és a növekedést, talán félrevezető, ha ezeket „opcionális adalékanyagoknak” tekintjük a vízi élőlények számára előállított takarmányokhoz. | | Confirmed (90%) |
| 209 | Rather, they could be considered as additives that ameliorate deficiencies in current diet formulations. | Inkább olyan adalékanyagoknak tekinthetők, amelyek a jelenlegi takarmánykészítmények összetételének hiányosságait enyhítik. | | Confirmed (90%) |
| 210 | Recognizing that aquafeeds must supply the full spectrum of nutritional factors to support the action of multiple biological pathways within an animal (including immune competence under typical culture conditions) will facilitate a more logical and systematic approach toward the replacement of fish meal. | Annak felismerése, hogy a takarmányoknak biztosítaniuk kell a táplálkozási igények teljes spektrumát, hogy támogassák az állaton belüli többféle biológiai útvonal működését (beleértve a szabályos immunválaszra való képességet hagyományos tenyésztési körülmények között), logikusabb és tervszerűbb megközelítést tesz lehetővé a halliszt esetleges helyettesítésére. | | Confirmed (90%) |
| 211 | Many studies have sought to improve diet formulations, whereas others have focused on improving the performance of the animals fed a variety of diets through genetic improvement programs \[147,151]. | Számos tanulmány a takarmánykészítmények javítására törekszik, míg mások a különféle takarmányokkal táplált állatok teljesítményének javítására összpontosítanak korszerű genetikai programokon keresztül. ^{147,151} | | Confirmed (82%) |

| | | | |
|-----|--|--|-----------------|
| 212 | Several studies have demonstrated the existence of genetic variability in different wild stocks as well as domesticated animals fed different proportions of fish meal and, therefore, protein. | Számos vizsgálat igazolta a genetikai változékonyság meglétét a különböző vadon élő állományokban, valamint a halliszttel, és így fehérjével, különböző arányban takarmányozott házasított állatoknál. | Confirmed (90%) |
| 213 | For example, divergent wild stocks (i.e., discrete genetic pools) of the freshwater prawn (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>) [172], alternative genetic strains of tilapia (<i>Oreochromis</i> spp.) [173], and selected groups of black tiger shrimp (<i>Penaeus monodon</i>) [174] have different capacities to use different animal proteins. | Például az óriás édesvízi garnélarák (<i>Macrobrachium rosenbergii</i>), az oreokmin sügerek nemzetségébe tartozó halak (<i>Oreochromis</i> spp.) alternatív genetikai törzsei és az óriás csíkos garnéla (<i>Penaeus monodon</i>) eltérő vadon élő állományai (azaz különálló genetikai készletei) különböző képességekkel rendelkeznek az eltérő állati fehérjék fogyasztásának hatására. | Confirmed (74%) |
| 214 | Furthermore, the mean heritability (h^2) estimates for feed efficiency traits (FCR and reduced residual feed intake [RFI]) in farmed fish range from 0.07 to 0.47, providing support for genetic improvement through selective breeding programs [148,175]. | Továbbá a tenyésztett halak takarmányhatékonysági tulajdonságaira (FCR és előrejelzett takarmányfelvétel [RFI]) vonatkozó átlagos örökölhetőségi indexe (h^2) becslések szerint 0,07 és 0,47 között mozog, amely alátámasztja a szelektív tenyésztési programokon keresztül történő genetikai javítás lehetőségét. ^{148,175} | Confirmed (82%) |
| 215 | In these studies, rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i> ; h^2 FCR 0.12; h^2 RFI 0.13–0.23) [175,176], sea bass (h^2 FCR 0.23 pedigree and 0.47 genomic) [177], European whitefish (<i>Coregonus lavaretus</i> ; h^2 FCR 0.07) [178], and Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i> ; h^2 FCR 0.32) [179] had moderate heritability estimates sometimes comparable with terrestrial animals (h^2 range of 0.12–0.67). | Ezekben a vizsgálatokban a szivárványos pisztráng (<i>Oncorhynchus mykiss</i> FCR $h^2=0,12$; RFI $h^2=0,13-0,23$), ^{175,176} a tengeri sügér (FCR $h^2=0,23$ törzskönyvi, genomikus 0,47), ¹⁷⁷ a nagy maréna (<i>Coregonus lavaretus</i> ; FCR $h^2=0,07$ törzskönyvi) ¹⁷⁸ és a nílusi tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i> FCR $h^2=0,32$) ¹⁷⁹ mérsékelt örökölhetőségi indexekkel rendelkezett, amelyek szárazföldi állatokéhoz hasonlóak voltak (h^2 index = 0,12–0,67). | Confirmed (75%) |
| 216 | While heritability estimates for feed efficiency are starting to emerge for farmed fish species, the lack of comprehensive heritability measurements among other aquatic animals is partly due to the difficulty in obtaining accurate trait measurements [182]. | Míg a takarmányozási hatékonyságra vonatkozó örökölhetőségi becslések kezdenek megjelenni a tenyésztett halfajok esetében, az átfogó örökölhetőségi mérések hiánya a többi víziállat esetében részben a tulajdonságok pontos mérésének nehézségeiből adódik. ¹⁸² | Confirmed (82%) |
| 217 | Although the concept of measuring aquaculture feed efficiency for selective breeding is long-standing, it lags behind terrestrial animal production, as recording feed | Bár az akvakultúra takarmányozási hatékonyságának szelektív tenyésztés céljából történő mérésének koncepciója régóta létezik, a szárazföldi állattenyésztéshez | Confirmed (82%) |

| | | | | |
|-----|--|--|--|-----------------|
| | intake routinely in individual animals in commercial aquatic systems is a considerable challenge \[176,182]. | képeket elmarad, mivel a takarmányfelvétel rutinszerű rögzítése az egyes állatoknál a kereskedelmi vízi rendszerekben jelentős kihívást jelent. ^{176,182} | | |
| 218 | Therefore, feed efficiency improvement using phenotypic trait selection in aquaculture can be difficult. | Ezért a takarmányhatékonyság fenotípusos tulajdonságszelekcióval történő javítása az akvakultúrában nehézségekbe ütközhet. | | Confirmed (90%) |
| 219 | The development of genomic approaches such as "genomic selection" can increase the precision of estimated breeding values for feed efficiency traits, which can then be used in selective breeding programs \[183]. | A genomikai megközelítések, például a "genomikus szelekció" fejlesztése növelheti a takarmányhatékonysági tulajdonságok becsült tenyésztési értékeinek pontosságát, amelyeket azután szelektív tenyésztési programokban lehet majd felhasználni. ¹⁸³ | | Confirmed (82%) |
| 220 | In this approach, large numbers of genome-wide genetic markers aid in animal selection. | Ebben a megközelítésben nagyszámú, az egész genomra kiterjedő genetikai marker segíti az állatok szelekcióját. | | Confirmed (90%) |
| 221 | Here, most quantitative trait loci (QTL) regulating feed efficiency will be in strong linkage disequilibrium with at least one genomic marker. | Ebben az esetben a takarmányhatékonyságot szabályozó legtöbb mennyiségi tulajdonsági lókus (QTL) legalább egy genomikus markerrel erős kapcsolati egyensúlyban van. | | Confirmed (90%) |
| 222 | As such, genomic selection methodology simultaneously estimates the combined genetic effects of all relevant QTL and provides accurate predictions of genetic merit for an animal \[184]. | A genomikus szelekciós módszertan egyidejűleg becsüli az összes releváns QTL kombinált genetikai hatását és pontos előrejelzést ad az állat genetikai értékére vonatkozóan. ¹⁸⁴ | | Confirmed (82%) |
| 223 | Of particular interest is the selective breeding of aquaculture animals that can effectively use plant-based ingredients without negative side effects. | Különösen érdekes a tenyésztett víziállatok szelektív tenyésztése, amelyek képesek a növényi eredetű összetevőket hatékonyan, negatív mellékhatások nélkül felhasználni. | | Confirmed (90%) |
| 224 | For example, there is significant genetic variability around growth traits of rainbow trout (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) when provided a plant-based diet (including high heritability estimates for body weight; e.g., 0.43–0.69), \[185], suggesting that genetic progress is achievable \[185, 186, 187]. | Például a szivárványos pisztráng (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) növekedési jellemzői körül jelentős genetikai variabilitás figyelhető meg, amikor növényi alapú takarmányt kapnak (beleértve a testtömegre vonatkozó magas öröklődési becsléseket; pl. 0,43-0,69), ¹⁸⁵ amely arra utal, hogy további genetikai fejlődés érhető el. ¹⁸⁵⁻¹⁸⁷ | | Confirmed (75%) |
| 225 | Furthermore, additional studies have demonstrated genetic improvement in growth traits by selectively breeding | További vizsgálatok kimutatták a növekedési tulajdonságok genetikai javulását a növényi alapú táplálkozásra | | Confirmed (76%) |

| | | | | |
|-----|---|---|--|-----------------|
| | animals on a plant-based diet (e.g., rainbow trout \[157] and salmon \[188]). | szelektíven tenyésztett állatok (pl. szivárványos pisztráng ¹⁵⁷ és lazac ¹⁸⁸) esetében. | | |
| 226 | However, when transitioning production animals from conventional feed ingredients to plant-based diets, the interaction of genetics and diet (i.e., re-ranking of family performance on specific diets) needs to be considered, particularly in established breeding programs. | Amikor azonban a haszonállatokat a hagyományos takarmány-összetevőkről a növényi alapú étrendekre állítják át, figyelembe kell venni a genetika és takarmány kölcsönhatását (azaz a rokoni teljesítmény újbóli rangsorolását bizonyos takarmányokon), különösen a már kialakult tenyésztési programokban. | | Confirmed (90%) |
| 227 | Significant genotype (animal performance) by diet (plant-based diets) interactions have been observed in fish whereby some animals can more effectively accept and use the diets than others \[189,190]. | A halaknál jelentős genotípus (állati teljesítmény) és étrend (növényi alapú étrend) közötti kölcsönhatásokat figyeltek meg, amelyek során egyes állatok hatékonyabban tudják elfogadni és felhasználni a takarmányokat, mint fajtársaik. ^{189,190} | | Confirmed (82%) |
| 228 | It is apparent that animals that performed well on traditional animal-based diets may not necessarily perform equally well on a plant-based or modified diet. | Természetesen a hagyományos állati alapú étrenden jól teljesítő állatok nem feltétlenül teljesítenek ugyanolyan jól a növényi alapú vagy módosított takarmányokon. | | Confirmed (90%) |
| 229 | However, exposing fish to plant-based diets early in life improves later-life fish performance when fed the same diet again \[191,192]. | Azonban, ha a halakat korai életszakaszukban megismertetik a növényi alapú tápanyag összetevőkkel, akkor a későbbiekben javítja a halak teljesítményét, amikor ugyanezekkel a típusú takarmányokkal találkoznak. ^{191,192} | | Confirmed (81%) |
| 230 | Regardless, to ensure optimum genetic gain and productivity, the aquaculture industry needs to develop selective breeding programs specific to plant-based diets from first feeding. | Ettől függetlenül az optimális genetikai nyereség és termelékenység biztosítása érdekében az akvakultúra-iparnak szelekciós tenyésztési programokat kell kidolgoznia a növényi alapú takarmány összetevők alkalmazására az első takarmányozási naptól kezdve. | | Confirmed (90%) |
| 231 | Future Directions | Jövőbeli irányok | | Confirmed (90%) |
| 232 | Feeds for lower-trophic-level freshwater fish species (e.g., catfish, tilapia, and herbivorous carp) contain considerably lower levels of fish meal compared with those for carnivorous species (e.g., salmon, other marine fishes, diadromous fishes, eels, and marine shrimps; Figure 2). | Az alacsonyabb trofitási szinten élő édesvízi halfajok (pl. harcsa, tilápia és növényevő ponty) takarmányai lényegesen alacsonyabb hallisztet tartalmaznak, mint a ragadozó fajoké (pl. lazac, egyéb tengeri halak, diadrom halak, angolna és tengeri garnélarák; 2.ábra). | | Confirmed (89%) |
| 233 | Therefore, consumer awareness, labeling, and interest in seafood sustainability may help increase consumption rates | Ezért a fogyasztók tudatossága, a tenger gyümölcseinek fenntartható termelése iránti igényük és azok minősítése, | | Confirmed (90%) |

| | | | | |
|-----|--|--|--|-----------------|
| | of farmed freshwater fish at the expense of species with greater protein demands. | elősegítheti a tenyésztett édesvízi halak fogyasztásának növelését a nagyobb fehérjeigényű fajok rovására. | | |
| 234 | As a caveat, to date there is limited evidence for an increase in consumer demand for sustainable seafood as a result of sustainable seafood labeling. | A fenntartással kapcsolatban megjegyzendő, hogy a mai napig csak korlátozott bizonyítékok állnak rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy a fenntartható gazdaságból származó tenger gyümölcsei iránti fogyasztói kereslet a tenger gyümölcseinek címkézése következtében megnövekedett volna. | | Confirmed (90%) |
| 235 | Although the percentage inclusion level of fish meal in feeds is low for farmed freshwater fish in comparison with marine fish and crustaceans, the global production of these fed carp, catfish, and tilapia is very high [11] (Figure 2). | A halliszt százalékos aránya a takarmányokban a tenyésztett édesvízi halak esetében alacsony szemben a tengeri fajok takarmányával, így az ezzel etetett pontynak, harcsáknak és tilápiáknak a globális termelése igen magas a tengeri halakhoz és rákfélékhez képest. ¹¹ (2. ábra) | | Confirmed (80%) |
| 236 | Therefore, the inclusion of even low levels of fish meal results in substantial quantities of fish meal overall. | Ezért még az alacsony mennyiségű halliszt takarmánnyal történő bevitele is jelentős mennyiségű hallisztet eredményez a végtermékben. | | Confirmed (90%) |
| 237 | Given the projected increase in production of these species and associated aquafeed demand (Figure 2), substituting fish meal by alternative protein sources in these diets will result in a considerable reduction in the total quantity of fish meal used. | Az előrejelzések szerint az előbb felsorolt édesvízi fajok termelési mennyiségeinek növekedésére lehet számítani, amelyhez szorosan kapcsolódik a fokozódó takarmányigény is. A halliszt alternatív fehérjeforrásokkal való helyettesítése ezekben a takarmányokban a felhasznált halliszt teljes mennyiségének jelentős csökkenését eredményezheti. | | Confirmed (89%) |
| 238 | Simulations by Froehlich et al. [12] suggest that this sector has the highest potential to mitigate the use of forage fish by mid-century. | Froehlich és munkatársainak ¹² modelljei azt mutatják, hogy a század közepére ez az ágazat rendelkezik majd a legnagyobb lehetőségekkel, hogy a takarmányhalak felhasználása csökkenjen. | | Confirmed (78%) |
| 239 | Significant gains in aquaculture production to supply additional protein, especially for freshwater fish, may also be made by combining unfed aquaculture with fed aquaculture or through the development, promotion, and expansion of polyculture-based systems, resulting in the | Az akvakultúra-termelésben – különösen az édesvízi halak számára – további fehérjeellátást biztosító jelentős növekedést lehet elérni a takarmányozás nélküli akvakultúra és a takarmányozott akvakultúra kombinálásával, vagy a polikultúrás termelési rendszerekkel. A polikultúrás rendszerek fejlesztése, | | Confirmed (83%) |

| | | | | |
|-----|---|---|---------------------------------------|-----------------|
| | simultaneous culture of multiple fed species in a single system \[194]. | terjeszkedése és népszerűsítése több akvakultúrában tartott faj egyidejű tenyésztését teszi lehetővé. ¹⁹⁴ | | |
| 240 | In the related integrated multi-trophic aquaculture systems, which combine fed aquaculture with extractive aquaculture, a higher yield of protein is achieved through the production of several products \[100,101,195]. | A kapcsolódó integrált multitrofikus akvakultúra-rendszerekben (turisztikai és ökológiai szolgáltatásokat is biztosító multi-funkcionális tógazdálkodás), amelyek a takarmányozásra alapuló akvakultúrát ötvözik a folyamatos termeléssel és lehalászással, így végeredményben a több végtermék előállításával nagyobb fehérjehozam érhető el. ^{100,101,195} | | Confirmed (82%) |
| 241 | While detailed knowledge is required to balance multiple species \[196], these systems have the added benefits of nutrient bioremediation and positive consumer perception. | Bár több faj termelési egyensúlyának megértéséhez részletesebb ismeretekre van szükség, ¹⁹⁶ azonban ezeknek a rendszerek további előnye a tápanyag-bioremediáció és a pozitív fogyasztói megítélés. | | Confirmed (78%) |
| 242 | The greatest challenges to alternative protein sources in aquafeeds include variable protein content (see Figure S1) and the feasibility of increasing production, which is a function of available processing technologies, cost, and scalability (Figure 4 includes a subjective assessment of ingredient potential). | Az alternatív fehérjeforrásokkal kapcsolatos legnagyobb kihívások közé tartozik a változó fehérjetartalom (lásd az S1. ábrát) és a termelés növelésének megvalósíthatósága, amely a rendelkezésre álló feldolgozási technológiák, a költségek és a méretezhetőség függvényei (a 4. ábra az összetevők lehetőségének szubjektív értékelését tartalmazza). | | Confirmed (89%) |
| 243 | Consumer acceptance also varies among these raw materials. | A fogyasztói elfogadottság is eltérő az egyes nyersanyagok esetében. | | Confirmed (90%) |
| 244 | Given these challenges, there is enormous potential for technological improvements to consistently produce high-quality alternative protein products with enhanced nutritional profiles, while economies of scale can result in improved price competitiveness. | Tekintettel ezekre a kihívásokra, óriási lehetőségek rejlenek a technológiai fejlesztésekben, amelyek következetesen jó minőségű alternatív fehérjetermékeket állítanak elő magasabb táplálóanyag összetétellel, miközben javítják a méretgazdaságosságot és az árverseny-képességet is. | | Confirmed (90%) |
| 245 | Some protein sources, such as fish byproducts and insect meals, are viable and promising alternatives to conventional fish meal, whereas some raw materials such as food waste may still need to overcome a number of obstacles before becoming a staple in formulated | Egyes fehérjeforrások, mint például a halmelléktermékek és a rovarlisztek, életképes és ígéretes alternatívái a hagyományos hallisztnek és eredményesebben használhatók a biokonverzióban/biotranszformációban, míg más nyersanyagoknak, például az élelmiszer-hulladékoknak még mindig számos akadályt le kell küzdeniük, mielőtt a | A túl hosszú körmondattal, a beékelőd | Confirmed (82%) |

| | | | | |
|-----|---|--|-----------------------------------|-----------------|
| | aquafeeds (Figure 4) and may find greater use in bioconversion/biotransformation. | vízi állatok számára takarmányok alapanyagaivá válhatnak (4. ábra). | ött mondatrészt a elejére vettem. | |
| 246 | Figure 4. | 4. ábra | | Confirmed (99%) |
| 247 | Qualitative Feasibility Assessment of Alternative Protein Sources for Fed-Aquaculture Diets | Alternatív fehérjeforrások minőségének megvalósíthatósági értékelése vízi állatok számára előállított takarmányok esetében | | Confirmed (90%) |
| 248 | The broad-level qualitative assessments of alternative protein sources were based on a combination of the current-day realities and the future potential (10–20 years) of each protein source. | Az alternatív fehérjeforrások általános szintű minőségi értékelése a jelenlegi realitások és az egyes fehérjeforrások jövőbeli (10-20 éves) lehetőségeinek kombinációján alapult. | | Confirmed (90%) |
| 249 | Positive (+) represents a protein source with high potential to meet demand, while negative (–) represents a protein source that has obstacles that will need to be overcome before development. | A pozitív (+) érték olyan fehérjeforrást jelöl, amely nagy potenciállal rendelkezik a kereslet kielégítésére, míg a negatív (-) érték olyan fehérjeforrásra mutat, amelynek a fejlesztése előtt jelentős akadályokat kell leküzdeni. | | Confirmed (90%) |
| 250 | The assessments were subjective and based on a relative comparison with fish meal from wild-capture fisheries (for proximate composition see Figure S1). | Az értékelések szubjektívek voltak és a vadon fogott halászatból származó hallisztrel való relatív összehasonlításon alapultak (az összetételt az S1 ábra mutatja be). | | Confirmed (89%) |
| 251 | The assessment for “feasibility” was determined by considering the economics of commercial-scale production, the relative limit of the resource, the likelihood of meeting consistent supply, the short-term prediction of commodity price, and the legal ease of implementation. | A „megvalósíthatóság” értékelését a kereskedelmi léptékű termelés gazdaságossága, az erőforrás relatív korlátja, a konzisztens kínálat teljesítésének valószínűsége, a nyersanyagárak rövid távú előrejelzése és a végrehajtás jogi egyszerűsége alapján határozták meg. | | Confirmed (90%) |
| 252 | Figure S1.[1]Proximate composition of emerging alternative[1]protein sources for aquafeeds. | S1 ábra. Az újonnan megjelenő alternatív fehérjeforrások megközelítő összetétele a vízi élőlények keveréktakarmányai számára. | | Confirmed (88%) |
| 253 | Related to Figure 4. | A 4. ábrához kapcsolódik. | | Confirmed (90%) |
| 254 | Data are % dry matter. | Az adatok a szárazanyag %-ában értendők. | | Confirmed (90%) |
| 255 | The microbial biomass is separated into three components: | A mikrobiális biomassza három komponensre oszlik: | | Confirmed (90%) |

| | | | | |
|-----|---|--|---|-----------------|
| 256 | Bacteria biomass and dry bio-flocculated materials (Bacteria and dry bio-floc), Yeast, and Microalgae. | Baktérium biomassza, száraz bioflokolt anyagok (baktériumok és száraz bioflok), valamint élesztők és mikroalgák. | flokkuláció az a fizikai-kémiai folyamat, amelynek során a folyékony agglomerátumban lévő szuszpenzált szilárd anyagok nagyobb, általában nagyon porózus részecskéket képeznek. Ezeket flokkoknak nevezzük. | Confirmed (90%) |
| 257 | It is important to bear in mind that aquaculture feeds are formulated using a multitude of ingredients and it is unlikely, nor necessary, that a single protein source will meet the requirements of the cultured species or fully replace fish meal. | Fontos szem előtt tartani, hogy a vízi keveréktakarmányokat számos összetevőből állítják össze, és nem valószínű, de nem is szükséges, hogy egyetlen fehérjeforrás megfeleljen a tenyésztett faj igényeinek, vagy teljes mértékben helyettesítse a hallisztet. | | Confirmed (90%) |
| 258 | Multiple protein sources can also be used in combination to benefit from their complementary nutritional profiles. | Több fehérjeforrás kombinálva is használható, hogy kihasználhassuk egymást kiegészítő táplálkozási profiljuk előnyeit. | | Confirmed (90%) |

| | | | |
|-----|---|---|-----------------|
| 259 | Feed supplements can also be used to balance the nutrient composition of the feeds and functional ingredients can be used to facilitate the replacement of fish meal with alternative ingredients. | A takarmányok tápanyag-összetételének kiegyensúlyozására takarmánykiegészítőket is lehet alkalmazni és funkcionális összetevőket lehet használni a halliszt alternatív összetevőkkel való helyettesítésének megkönnyítésére. | Confirmed (90%) |
| 260 | Furthermore, using multiple protein sources allows flexibility in feed formulations when ingredient prices fluctuate \[192], as feed manufacturers often use cost as a determinant in selecting ingredients. | Ezenkívül a többféle fehérjeforrás használata rugalmassá teszi a takarmányok összeállítását, amikor az összetevők ára ingadozik, ¹⁹² mivel a takarmánygyártók gyakran a költségeket használják meghatározó tényezőként az összetevők kiválasztásánál. | Confirmed (78%) |
| 261 | There has been a 4-fold increase in fed-aquaculture production from 12.2 million tons to 50.7 million tons from 1995 to 2015 \[197]. | A takarmányozott akvakultúrában tenyésztett fajok termelése 1995 és 2015 között 12,2 millió tonnáról 50,7 millió tonnára, azaz négyszeresére nőtt. ¹⁹⁷ | Confirmed (81%) |
| 262 | In parallel, the increase in aquafeed production was 6-fold, from 7.6 million tons to 47.7 million tons from 1995 to 2015 \[25, 197]. | Ezzel párhuzamosan az akvakultúra-termelés növekedése hatszorosára, 7,6 millió tonnáról 47,7 millió tonnára ugyanezen időszak között. ^{25,197} | Confirmed (80%) |
| 263 | Even though aquafeeds only account for a small proportion (less than 4%) of total global animal feed production, the ingredients used are also used in terrestrial livestock feed, pet food, and human food \[11, 25, 192]. | Annak ellenére, hogy a vízi állatok számára előállított takarmányok a teljes világszintű takarmánytermelésnek csak kis részét (kevesebb, mint 4%-át) teszik ki, a felhasznált összetevőket szárazföldi haszonállatok takarmányában, állateledelben és emberi táplálékban is felhasználják. ^{11,25,197} | Confirmed (80%) |
| 264 | Therefore, developing and optimizing alternative sources of protein for aquafeeds will play an important role in ensuring a socially and environmentally sustainable future for the aquaculture industry. | Ezért a vízi élőlények takarmányainak alternatív fehérjeforrásainak fejlesztése és finomítása fontos szerepet fog játszani az akvakultúra ipar társadalmilag és környezetvédelmi szempontból fenntartható jövőjének biztosításában. | Confirmed (90%) |
| 265 | Acknowledgments | Köszönetnyilvánítás | Confirmed (90%) |
| 266 | The figures for this article were created by Hillary Smith. | A kézirathoz tartozó ábrákat Hillary Smith készítette. | Confirmed (90%) |

7. Forrásnyelvi és célnyelvi 2000 karakteres szöveg fordítói megjegyzésekkel, minimális és maximális utószerkesztésekkel

| szegmens szám | forrásnyelv: angol | célnyelv: magyar gépi fordítás (GF) | min. utószerkesztés | max. utószerkesztés/ célnyelv: magyar saját fordítás (SF) | Megjegyzés |
|---------------|--|---|---|--|---|
| 1. | Fish are valuable sources of nutrients and micronutrients, and play an important role in human nutrition and the global food supply. | A halak értékes tápanyag- és mikrotápanyagforrások, és fontos szerepet játszanak az emberi táplálkozásban és a globális élelmiszerellátásban. | A tartalom nem sérült, az információátadás teljesült, min. utószerkesztés nem szükséges | A halhús értékes tápanyag- és mikrotápanyag forrás, és igen fontos szerepet játszik az emberi táplálkozásban valamint a globális élelmiszerellátásban. | A hal kifejezést konkretizáltam halhússá . T/3 személyből átváltási művelettel E/3. személyt írtam |
| 2. | In addition to being a rich source of high-quality protein and essential amino acids, fish are a dietary source of health-promoting omega-3 or n-3 long-chain polyunsaturated fatty acids (LC-PUFA), eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA), essential minerals (calcium, phosphorus, zinc, | Amellett, hogy a halak kiváló minőségű fehérjék és esszenciális aminosavak gazdag forrásai, az egészséget elősegítő omega-3 vagy n-3 hosszú láncú, többszörösen telítetlen zsírsavak (LC-PUFA), eikozapentaénsav (EPA) és dokozahexaénsav (DHA), esszenciális ásványi anyagok (kalcium, foszfor, cink, vas, szelén és jód), valamint vitaminok (AKO, B és D) étrendi forrásai. | A tartalom nem sérült, az információátadás teljesült, min. utószerkesztés nem szükséges | Amellett, hogy a halhús igen gazdag kiváló minőségű fehérjék és esszenciális aminosavakban, az egészséghez nélkülözhetetlen omega-3 vagy n-3 hosszú láncú, többszörösen telítetlen zsírsavakat (LC-PUFA), az eikozapentaénsavat (EPA) és a dokozahexaénsavat (DHA), az esszenciális ásványi anyagokat (kalcium, foszfor, cink, vas, | A hal kifejezést konkretizáltam halhússá és ennek megfelelően átváltást alkalmaztam az igék ragozásában: (T/3- E/1). |

| | | | | | |
|----|---|--|--|---|---|
| | iron, selenium, and iodine), and vitamins (A, B, and D). | | | szelén és jód), valamint a vitaminokat (A, B és D) is tartalmazza. | |
| 3. | Even with increased prevalence of alternative ingredients in aquafeeds, fish products from aquaculture must continue to maintain the levels of these fatty acids and micronutrients for healthy and nutritious human diets. | Még az alternatív összetevők növekvő elterjedése mellett is az akvakultúrából származó haltermékeknek továbbra is fenn kell tartaniuk a zsírsavak és mikrotápanyagok szintjét az egészséges és tápláló emberi táplálkozás érdekében. | A tartalom ugyan nem sérült, az információátadás teljesült, de grammatikailag helytelen megfogalmazás, min. utószerkesztés nem szükséges | Az akvakultúrában használt alternatív tápösszetevők egyre növekvő elterjedése mellett az haltermékeknek továbbra is fontos szerepük, hogy biztosítsák ezeknek a zsírsavaknak és mikrotápanyagoknak az egészséges szintjét az emberi táplálkozásban. | Magyartalan fordítás. Konkretizáltam az összetevőket tápösszetevőkre, a „fenn kell tartaniuk” szenvedő szerkezetes kifejezést magyarosítottam. A DeepL a (hal)tápok kifejezést teljesen kihagyta. |
| 4. | Modern aquafeeds are a sophisticated, engineered mix of ingredients (raw materials) that provide the nutritional requirements that facilitate the intensive and efficient production of aquaculture species. | A modern aquatápok olyan összetevőket (nyersanyagokat) tartalmaznak, amelyek olyan tápanyagigényt biztosítanak, amely elősegíti az akvakultúrában tenyésztett fajok intenzív és hatékony termelését. | A tartalom nem sérült, az információátadás teljesült, min. utószerkesztés nem szükséges | A modern, akvakultúrában használt tápok olyan összetevőket (nyersanyagokat) tartalmazó igényes, kikísérletezett keverék takarmányok, amelyek biztosítják a tenyésztett fajok intenzív és hatékony termelését elősegítő | A DeepL rövid mondatot szerkesztett, az „aquafeed” kifejezést tévesen és csak félig fordította. Mondatszerkesztése magyartalan. Bővítést és betoldást alkalmaztam a mondat fordítása során, valamint magyarázó fordítást a tápok esetén. A főneveket igésítettem és egyszerűsítést is alkalmaztam. |

| | | | | | |
|-----|--|---|---|--|---|
| | | | | takarmányozási követelményeket. | |
| 5. | These raw ingredients include commodity meals, oils, vitamins, pigments, minerals, and concentrates, which, when combined, satisfy an organism's demand for macronutrients and micronutrients. | Ezek a nyersanyagok közé tartoznak az alapanyagok, olajok, vitaminok, pigmentek, ásványi anyagok és koncentrátumok, amelyek kombinálva kielégítik a szervezet makro- és mikrotápanyagok iránti igényét. | A tartalom nem sérült, az információátadás részben teljesült, min. utószerkesztés nem szükséges | Ilyen nyersanyagok például a tápok alapjait képező lisztek, olajok, vitaminok, pigmentek, ásványi anyagok és koncentrátumok, amelyek jól kombinálva kielégítik a szervezet makro- és mikrotápanyagokra vonatkozó igényét. | Grammatikailag helytelen gépi fordítás. Betoldást és bővítést alkalmazva fordítottam. |
| 6.. | In addition, these ingredients ensure rapid rates of growth, support animal health, and, importantly, result in a product with sensory and quality properties that meet consumer demands. | Ezen túlmenően ezek az összetevők biztosítják a gyors növekedési ütemet, támogatják az állatok egészségét, és ami fontos, olyan érzékszervi és minőségi tulajdonságokkal rendelkező terméket eredményeznek, amely megfelel a fogyasztói igényeknek. | A tartalom nem sérült, az információátadás teljesült. min. utószerkesztés nem szükséges | Ráadásul ezek az összetevők biztosítják az egyedek gyors növekedését, támogatják az egészséges állapot fenntartását, és ezáltal olyan késztermék jön létre, amely érzékszervi és minőségi tulajdonságai alapján messzemenőig megfelel a fogyasztói igényeknek. | Grammatikailag helytelen gépi fordítás. Betoldást és bővítést alkalmazva fordítottam: (pl. termék-késztermék), „messzemenőig” A DeepL tükörfordítást alkalmazott, mely nehéz értelmezhetőséget eredményezett. |
| 7. | Traditionally, forage fish have been the foundation | Hagyományosan a takarmányhalak az aquafeedek alapösszetevői, | A tartalom nem sérült, az információátadás | Hagyományosan az akvakutúrában alkalmazott | Betoldást és bővítést alkalmazva fordítottam a fordításban, valamint konkretizáltam és |

| | | | | | |
|-----|---|--|--|--|--|
| | ingredient of aquafeeds, as they contain high-quality protein, micronutrients, and lipids, and are an important source of LC-PUFA. | mivel kiváló minőségű fehérjét, mikrotápanyagokat és lipideket tartalmaznak, és fontos forrása az LC-PUFA-knak. | részben, de nehézkesen teljesült. min. utószerkesztés nem szükséges | takarmányok alapösszetevői a halak (takarmányhalak), mivel kiváló minőségű fehérjét, mikrotápanyagokat és lipideket tartalmaznak és kiemelkedő forrásai a többszörösen telítetlen zsírsavaknak. | köznelvi alakban alkalmaztam a PC-PUFA zsírsavakat leírását. Így érthetőbbé tettem ennek a szakszónak a jelentését. |
| 8. | In addition to finding alternative sources of protein to alleviate the pressure on forage fish, we recognize that alternative sources of micronutrients and lipids will be essential. | A takarmányhalakra nehezedő nyomás enyhítése érdekében alternatív fehérjeforrások megtalálása mellett felismerjük, hogy a mikrotápanyagok és a lipidek alternatív forrásai is elengedhetetlenek lesznek. | A tartalom sérült, az információátadás részben, de nehézkesen teljesült. min. utószerkesztés nem szükséges | A takarmányhalakra nehezedő túlhalászás miatti nyomás enyhítése érdekében az alternatív fehérjeforrások kutatása mellett, a mikrotápanyagok és lipidek alternatív forrásai is alapvető fontosságúak lesznek. | Grammatikailag helytelen gépi fordítás. Betoldást és bővítést alkalmazva fordítottam, szórendet változtattam és konkretizáltam a „nyomás” kifejezést, amit sem az angol, sem a gépi fordítás változatban nem szerepel. |
| 9 . | Fish-oil use in aquaculture is projected to increase by 14% due to the growing demand in the marine finfish and crustacean aquaculture sectors as they expand. | Az előrejelzések szerint a halolaj felhasználása az akvakultúrában 14%-kal fog növekedni a tengeri halak és rákfélék akvakultúra-ágazatának növekvő kereslete miatt. | A tartalom nem sérült, az információátadás részben teljesült. min. utószerkesztés nem szükséges | Az előrejelzések szerint, a halolaj felhasználása az akvakultúrában 14%-kal fog növekedni a tengeri halak és rákfélék akvakultúra-ágazatának bővülése, és ezáltal a termékek | A gépi fordítás tükörfordítást alkalmaz, ami jelen esetben nem hátráltatja az információátadást. Grammatikailag magyartalan a fordítás. Betoldást és bővítést alkalmazva fordítottam, szórendet változtattam. |

| | | | | | |
|-----|---|--|---|--|--|
| | | | | iránti növekvő kereslet miatt. | A GF nem használt átváltási műveletet és nem igésítette a főneveket. |
| 10. | As such, global fish-oil supply is one of the limiting factors for the aquaculture feed industry. | Így a globális halolaj-ellátás az egyik korlátozó tényező az akvakultúra-takarmányipar számára. | A tartalom nem sérült, az információátadás teljesült. min. utószerkesztés nem szükséges | Így a globális halolajellátás az egyik korlátozó tényező az akvakultúra-takarmányipar számára. | A gépi fordítás (GF) tükörfordítást alkalmaz, ami jelen esetben nem hátráltatja az információátadást. GF a kohéziót helyesen, kötőszóval biztosítja. |
| 11. | Alternative lipid sources to fish oil include vegetable oils, animal fats, single-cell oils, algae oils, transgenic oils, and fish byproduct oil. | A halolaj alternatív lipidforrásai közé tartoznak a növényi olajok, állati zsírok, egysejtű olajok, algaolajok, transzgenikus olajok és hal melléktermék olaj. | A tartalom nem sérült, az információátadás teljesült. min. utószerkesztés nem szükséges | A halolaj alternatív lipidforrásai közé tartoznak a növényi olajok, állati zsírok, egysejtű olajok, algaolajok, transzgenikus olajok és hal-melléktermék olaj. | A GF fordítás változatlanul meghagyható. Az idegen szavakat szintén helyesen meghagyta. |
| 12. | However, discussions of alternative lipid and micronutrient sources are beyond the scope of this review. | Az alternatív lipid- és mikrotápanyagforrások megvitatása azonban meghaladja e felülvizsgálat kereteit. | min. utószerkesztés nem szükséges | Az alternatív lipid- és mikrotápanyagforrások tárgyalása azonban meghaladja e vizsgálat kereteit. | A GF fordítás szinte változatlanul meghagyható. Az idegen szavakat szintén helyesen meghagyta. |

Felhasznált irodalom

Online szótárak

Glosbe, többnyelvű fordítómemória alapú online szótár: <https://hu.glosbe.com/>

Britannica online szótár: <https://www.britannica.com>

Cambridge Dictionary: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/>

DeepL online gépi fordító: <https://deepl.com>

Online források

<https://www.fao.org/3/ca0191en.pdf> In brief, The State of World Fisheries and Aquaculture, 2018 FAO

<https://oceanservice.noaa.gov/facts/aquaculture.html>

<https://www.fao.org/3/x6941e/x6941e04.htm>

<https://www.britannica.com/topic/aquaculture> "*Aquaculture, fishery*" Last Updated: Oct 5, 2023.

https://www.parlament.hu/documents/10181/4464848/Infojegyzet_2020_71_halgazdalkodas_es_akvakultura.pdf

https://www.parlament.hu/documents/10181/4464848/Infojegyzet_2020_71_halgazdalkodas_es_akvakultura.pdf

<https://www.globalseafood.org/blog/what-is-aquaculture-why-do-we-need-it>
[/https://www.britannica.com/topic/aquaculture](https://www.britannica.com/topic/aquaculture)

<https://www.fisheries.noaa.gov/feature-story/5-things-know-about-aquafeeds>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128008737000038>

https://haki.naik.hu/sites/default/files/uploads/2018-09/sustainaqua_handbook_hu.pdf

<https://hu.glosbe.com/en/hu/pellet>

<https://www.feed-pellet-mill.com/news/how-to-choose-feed-pellets.html>

https://www.researchgate.net/figure/Soil-microbial-biomass-carbon-and-sequestration-through-legumes_fig3_326230403

<https://www.soilquality.org.au/factsheets/microbial-biomass>

<https://mtzrt.hu/mi-a-mikroba/>

<https://wikiszotar.hu/ertelmezo-szotar/Mikroba>

<https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Lexikonok-a-magyar-nyelv-ertelmezo-szotara-1BE8B/m-3C77D/mikroba-3FA4B/>

<https://24.hu/tag/mikroba/>

<http://eta.bibl.u-szeged.hu> > bioremediacio

<https://core.ac.uk>

<https://biologydictionary.net/detrivore/>

<https://soil.evs.buffalo.edu/index.php/Detrivores>

<https://www.scienceabc.com/nature/animals/what-are-detrivores.html>

<https://microbiologynote.com/hu/decomposers/>

<https://ttmbio.hu/tudomany-a-horgaszat-vilagaban-4-resz/>

<https://ib.bioninja.com.au/standard-level/topic-4-ecology/41-species-communities-and-heterotrophs.html>

<https://www.seafish.org/trade-and-regulation/seafood-traceability-and-labelling-regulations/the-fish-labelling-regulations/>

https://taste-the-ocean.campaign.europa.eu/sustainable-fish-and-seafood_hu

<https://eoq.hu/evik/evik06-2.pdf>

<https://www.heartlandcatfish.com/the-anatomy-of-a-fresh-packaged-seafood-label/>

Egyéb források

ME Cundy, J Santana-Garcon, AG McLennan, ME Ayad, PE Bayer, M Cooper, S Corrigan. Seafood label quality and mislabelling rates hamper consumer choices for sustainability in Australia *Scientific Reports* volume 13, Article number: 10146 (2023)

Agar, D. A., Rudolfsson, M., Kalén, G., Campargue, M., Perez, D. D. S., & Larsson, S. H. (2018). A systematic study of ring-die pellet production from forest and agricultural biomass. *Fuel Processing Technology*, 180, 47-55.

A **pellet**. Kisalföld újság Építész Magazin III. évf./12. szám 16. oldal ISSN 1787-0674

“A Novel Lipase as Aquafeed Additive for Warm-Water Aquaculture”, in *PLOS ONE*: Lastly, LipG1 was evaluated as an **aquafeed** additive for juvenile common carp (*Cyprinus carpio*). 2015 July 6.

New additives and ingredients in the formulation of aquafeeds 2012. *Tacon* A.G.J. and *Metian* M. (2008) in Sustainable Aquafeeds Technological Innovation and Novel Ingredients, Edited By Jose M. Lorenzo, Jesus Simal-Gandara, Copyright 2022.

A takarmányok ismeret és tartósításuk, A takarmányozástani előadások tematikája, Ménesgazda szak I. évfolyama, Kiadta: Szalainé Borbála, 2011

Nyilatkozatok

Szerzői nyilatkozat

Nyilatkozat

Alulírott Szöghy Emese Zsuzsanna nyilatkozom arról, hogy a képezítőfordítás oktatási és kutatási célokra felhasználható.

Gödöllő, 2023. november 2.


.....

Engedélykérés

Re: Ask for permission - The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets

Jan Strugnell <jan.strugnell@jcu.edu.au>

2023. 10. 30., H, 11:10

Címzett: Dr. Lefler Kinga Katalin <Lefler.Kinga.Katalin@uni-mate.hu>

Yes of course. Go for it!

Best wishes

Jan

Sent from my iPhone

On 30 Oct 2023, at 9:04 pm, Dr. Lefler Kinga Katalin <Lefler.Kinga.Katalin@uni-mate.hu> wrote:

This message was sent from someone external to JCU. Please do not click links or open attachments unless you recognise the email and know the content is safe.

Dear Jan,

I am a graduating university student at the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences (MATE) studying technical translation and I am working also here at the Department of Aquaculture as a research associate (the main focus of my research interest is on fish reproduction and freshwater fisheries). I would like to ask your kind permission to translate your publication into Hungarian "**The Future of Aquatic Protein: Implications for Protein Sources in Aquaculture Diets**" for the purpose of my thesis. I am not going to publish the translated document and it will be used for pedagogical purposes only. It would be not considered an official translation.

Looking forward to your positive reply.

Kind regards,
Kinga Katalin Lefler

Dr. Lefler Kinga Katalin
tudományos munkatárs
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Akvakultúra és Környezetbiztonsági Intézet

Halgazdálkodási Tanszék
2100 Gödöllő, Páter K. u.1.

Konzulensi nyilatkozat

NYILATKOZAT

Dr. Lefler Kinga Katalin (név) (hallgató Neptun azonosítója: C9R2X4) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a képesítő fordítást¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védelemre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Gödöllő, 2023. év 11. hó 02. nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendó.

³ A megfelelő aláhúzendó.