



## Irodalmi áttekintés

# Az ehető rovarok szerepe a vízi állatok fenntartható és környezetbarát takarmányozásában

HANCZ Csaba<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kaposvári Campus, Állattenyésztési Tudományok Intézet,  
7400 Kaposvár, Guba S. u. 40

**ABSTRACT - The role of edible insects in sustainable and environmentally friendly aquatic animal feeding - Review**

**Author:** Csaba HANCZ<sup>1</sup>

**Affiliation:** <sup>1</sup>Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Animal Sciences, Kaposvár Campus, H-7400 Kaposvár, Guba S. str. 40.

To ensure sustainable growth, feed-fed aquaculture needs to reduce its reliance on fishmeal and oil. Introducing of novel aquaculture feeds such as macroalgae, bacteria, yeasts, and insects can greatly reduce the need for fish in aquaculture while maintaining efficiency and omega-3 fatty acid profiles. Insects, particularly, can efficiently convert organic waste into valuable products, thus reducing waste management costs and replacing fish and soybean meal. The flexibility and efficiency of insect metabolism contribute to their potential in mass food and feed production. However, for insect farming to have a global impact, it needs to be economically viable and capable of supplying insect products in industrial quantities. Extensive research has been conducted to explore the potential of insect meal for various physiological effects in important crustacean and fish species in aquaculture. This paper aims to summarize the relevant literature on these topics and highlight the results of experiments conducted with key species.

**Keywords:** edible insects, feeding, aquaculture, sustainability

## BEVEZETÉS

A fenntarthatóság és a környezetbarátság méltán váltak korunk talán legnépszerűbb hívószavaivá. Továbbá a legtöbb élelmiszertermeléssel kapcsolatos tudományos cikket hagyományosan a gyorsan növekvő világnépesség élelmészésének sürgető problémáira való hivatkozással indítanak, ami szintén teljesen indokolt az akvakultúra témakörében is (FAO 2013, 2022). Általánosságban, de mégis inkább a szárazföldi állati termék előállításra koncentrálnak *Dunkel és Payne* (2016) az "Insects as Sustainable Food Ingredients" című könyv bevezetőjében átfogó áttekintést nyújtanak az ehető rovarok globális jelentőségéről, kiemelve az állati eredetű fehérjék iránti növekvő keresletet, a termőföld és a

\*CORRESPONDING AUTHOR

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem,

✉ 7400 Kaposvár, Guba Sándor u. 40., ☎ +36 30 907 8546

E-mail: [csaba.hancz@gmail.com](mailto:csaba.hancz@gmail.com)

víz hatékony felhasználását, valamint a nem megújuló energiaforrások korlátait. Kiemelve a fenntarthatósággal kapcsolatos növekvő aggodalmakat, *Guiné* és munkatársai (2021) fontos megállapításokat tesznek a rovarok hatékonyságáról más haszonállatokkal összehasonlítva. Állítják, hogy a rovartermelés környezeti hatását értékelve figyelembe kell venni a táplálék értékesítésének hatásfokát, a földhasználatot és a vízfogyasztást. Tény, hogy a rovarok igénylik a legkevesebb takarmányt, földet és vizet, őket követik a baromfifélék/tyúkok, a sertések és a szarvasmarhák.

Az is egyértelmű, hogy a takarmányozott akvakultúrának a jövőben tovább kell csökkentenie a halliszt- és olajfüggőséget a fenntartható ágazati növekedés biztosítása érdekében. Az újszerű akvakultúra takarmányok (makroalgák, baktériumok, élesztők és rovarok) globális bevezetése 2030-ra jelentősen csökkentheti az akvakultúra takarmányhal-szükségletét, a takarmányhatékonyság és az omega-3 zsírsavprofilok fenntartása mellett (*Cottrell* és munkatársai, 2020).

A rovarok az állatok legnagyobb és legváltozatosabb taxonját képviselik, több mint egymillió leírt fajjal, amelyek az összes ismert élő szervezet több mint felét, az állati létformák több mint 90%-át teszik ki. Kulcsfontosságú szerepet játszanak az ún. ökoszisztéma-szolgáltatások biztosításában, beleértve a beporzást, a biológiai védekezést, a táplálékellátást és a szerves anyagok újrahasznosítását. A rovarok a legtöbb szárazföldi ökoszisztémában a biológiai sokféleség meghatározó összetevőjét képviselik, és kritikus fontosságúak a tápanyagkörforgásban és az ökoszisztéma általános működésében (*Weisser* és *Siemann*, 2004; *Noriega* és munkatársai, 2017). Bár a növényevő rovarok károsítása a globális mezőgazdasági termelésben jelentős (mintegy 18%-osra tehető), az ismert rovarfajok kevesebb mint 0,5%-a tekinthető kártevőnek (*Jankielsohn*, 2018). A vízi rovarok is rendkívül változatosak, több mint 100.000 faj él az édesvízi ökoszisztémákban, és létfontosságú ökológiai szerepet játszanak, például lebontják a szerves anyagokat és energiát közvetítenek a trofikus szintek között. A vízi rovarok a tápanyagkörforgás láncszemeként szolgálnak, és biológiai kölcsönhatásaik jelentős hatással lehetnek az édesvízi ökoszisztémán belüli közösségi szerkezetre (*Baskar* és *Gawade*, 2021).

Az ökoszisztéma-szolgáltatások mellett a rovarok másik alapvető előnye a mezőgazdasági és egyéb szerves hulladékokon alapuló tömeges termelésük. A rovarok hatékonyan alakítják át a szerves hulladékot új termékekké, ami olyan előnyöket tesz lehetővé, mint a hulladékgazdálkodási költségek csökkentése és a rovarokból származó termékek (liszt és olaj) felhasználása a halliszt, sőt a szójaliszt helyettesítésére (*Gasco* és munkatársai, 2020). A rovarok élelmiszer-

ként és takarmányként való felhasználásával kapcsolatos legújabb fejleményekről *van Huis* (2022) adott áttekintést, megállapítva, hogy a figyelem a természetből való összegyűjtéséről már egy évtizeddel ezelőtt azok ipari termelésére helyeződött át. A termelés nagy része kezdetben a kedvtelésből tartott állatok tápjainak kiegészítését jelentette, de hamarosan az ún. aquafeed felé irányult.

A rovarból származó takarmányok számos állatfaj takarmányozási programjának részét képezik. Legfőbb előnyük, hogy fenntartható módot biztosítanak a hulladékok tápanyagokban gazdag összetevőkké történő újrahasznosítására. Mivel sok állat természetes módon fogyasztja a rovarokat, a takarmányozási programba való bevonásuk ténylegesen javíthatja akár az állatok jólétét is. Ezen kívül a rovarokból származó összetevők tápanyagösszetétele és emészthetősége általában nagyon kedvező az élettani követelményekhez és a formulázási igényekhez képest, továbbá az olyan összetevők, mint a kitin, a fehérjék és az antimikrobiális hatású zsírsavak további előnyöket biztosítanak, ahogy azt *Koutsos* (2021) összefoglalta. Végül, de nem utolsósorban hamarosan komoly gazdasági megfontolások is felmerülhetnek az egyéb állati fehérjeforrások, különösen a halliszt helyettesítésére történő felhasználásukkal kapcsolatban. Az alacsony termelt mennyiség és a magas termelési költségek miatt azonban a rovaralapú fehérjék ára még mindig magas és nem versenyképes a halliszthez vagy a szójaliszthez képest, bár a termelés növelésére irányuló folyamatos erőfeszítések növelni fogják a termék elérhetőségét és minőségét, valamint csökkenteni fogják a költségeket (*Pippinato és munkatársai, 2020*). A *Pinotti és munkatársai (2019)* által közölt adatok azonban figyelmet érdemelnek. Összehasonlítva a különböző rovarlisztek árát a szójaliszt (45% nyersfehérje) és a halliszt (65% nyersfehérje) árával, megállapították, hogy az utóbbiak 3, illetve 7-12-szer drágábbak. Amikor azonban ezt az összehasonlítást 100 g fehérjére vonatkozóan végezték, ezek az értékek 2, illetve 6-9 között alakultak.

A rovarok a legkorábbi idők óta szolgálnak az emberek táplálékául, és fogyasztásuk (entomofágia) a világ számos részén a hagyományok része, és újabban a fejlett országokban is terjedőben van, ám ennek tárgyalása jelen munkának nem célja. Célkitűzése viszont az iparszerű termelés és az erre alkalmas rovarfajok, valamint a rovarlisztek és -olajok felhasználásában elért eredmények rövid bemutatása.

A rovarok iparszerű termelésének természetesen többféle célja van. Amint az *Francuski és Beukeboom (2020)* áttekintéséből kiderül, összesen 62 faj sorolható fel ebben a körben a következő kategóriákban: biológiai védekezés

(33), élelmiszer (6), takarmány (5), beporzás (4), ipari termelés (3), gyógyászat és kozmetika (4), hulladékgyűjtés (2) és kutatás (5).

A legfontosabb ehető rovarfajokat az 1. táblázat tartalmazza. Más szerzők, mint például *Alfiko* és munkatársai (2022) részben más fajokat (*Bombyx mori*, *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus assimilis*) sorolnak ebbe a kategóriába.

### 1. táblázat

A legfontosabb ehető rovarfajok

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

Forrás: *Cortes Ortiz* és munkatársai, 2016; *Varelas*, 2019

## ROVAR BIOMASSZA TERMELÉS

A rovarok anyagcseréjének rugalmassága és hatékonysága minden bizonnyal a legfontosabb szempont a tömeges és gazdaságos élelmiszer- és takarmánytermelésben. *Ramos-Elorduy* (2008) hangsúlyozza, hogy ez elsősorban azon a jól ismert tényen alapul, hogy a rovarok poikilotherm, azaz változó testhőmérsékletű állatok, ami takarékosabb anyagcserét biztosít számukra. Adatai szerint az ehető rovarok energiataralma fajonként és régióként eltérő, de általában a *Coleoptera* és *Lepidoptera* fajok több energiát szolgáltatnak. Kiemelendő, hogy míg a haszonállatok energiaértéke 165-705 kcal/100g, a zöltségeké 308-352 kcal/100g, a szerves hulladékon nevelt rovaroké 288-575 kcal/100g. *Waldbauer* (1968) nyújtotta talán az első átfogó áttekintést a rovarok táplálékfogyasztásáról és felhasználásáról, elemezve a fajok, étrendek és környezeti tényezők közötti különbségeket. *Maino* és *Kearney* (2015) szerint a rovarokat kis méretük, nagy számuk, lenyűgöző szaporodási teljesítményük és gyors növekedésük jellemzi, amely minőségileg más növekedési modellt követ, mint sok más állaté. A rovarok biomasszára jutó energiataralékai a kor előrehaladtával nőnek, ami magasabb termelési hatékonyságot és biomassza energiasűrűséget jelent, amit a fajlagos asszimiláció növelésével és az energiataralékok növelésével érnek el. *Halloran* és munkatársai (2016) életciklus-leltárak alapján elemezték a különböző rovartermelési rendszerek környezeti hatásait. A termelékenység növelése érdekében a genetikai munka (szelekció) szükségessége is felmerült a takarmányhasznosítás javítása érdekében (*Rumbos* és munkatársai, 2021).

*Cortes Ortiz* és munkatársai (2016) egy könyvfejezetben foglalták össze a rovarok tömegtermeléséről aktuálisan rendelkezésükre álló tudnivalókat. Megállapították, hogy a termelési szintek emelkedésével várható a rovarok számára gyártott minőségi takarmányok és nyersanyagok iránti igény növekedése is. A tenyésztett rovarok tápanyagszükségletének és az alapanyagok által kínált tápanyagoknak a kiegyensúlyozása további drágább adalékanyagokat, takarmánygyártási módszereket igényel. Mindemellett szükséges az ingyenes/hulladékáramba kerülő anyagok és/vagy a fel nem használt, nem kellően hasznosított vagy újszerű, állati takarmányként még nem használt biomassza kihasználása is.

*Alfiko* és munkatársai (2022) arra a megállapításra jutottak, hogy a tenyésztett halak takarmányozásában a rovarok halliszt helyettesítésére történő felhasználása problémákat is felvet. Az egyik a rovarok tápláléértéke, amely fajonként és fajon belül fejlődési stádiumonként eltérő. Ezért a rovarok ipari méretű termeléséhez szükséges takarmányok tervezésekor elengedhetetlen, hogy a termelők állandó, jó minőségű összetevőkkel rendelkezzenek a rovarok

etetéséhez. Egy másik kérdés, hogy tulajdonképpen a rovarfajok egyike sem helyettesíti tökéletesen a hallisztet. Az aminosavak összetételét és a fehérjék emészthetőségét tekintve a fekete katonalégylárvá liszt hasonlít leginkább a hallisztre. A legtöbb rovarfajnak alacsonyabb a metionin és cisztin tartalma a halliszténél. Zsírjuktól hiányzik az EPA és DHA, így zsírsavkiegészítés nélkül nem alkalmazhatók a tengeri halak takarmányozásában. Meg kell vizsgálni továbbá a rovartenyésztés gazdaságilag életképes méretűre történő bővítésének megvalósíthatóságát, amely ipari mennyiségben (azaz összesen >1 millió tonna/év) képes terméket produkálni. A rovarlisztek mennyisége jelenleg még minimális, de növekszik, bár a következő néhány évben szerepük még mindig csekély lesz az akvakultúra-tápok gyártásában. A rovartenyésztési ágazat a következő évtizedben valószínűleg fellendül és a közeljövőben a rovarliszt, mint haltakarmány-összetevő, jelentősen befolyásolja majd az akvakultúrát, zölddé, jövedelmezővé és fenntarthatóvá téve azt.

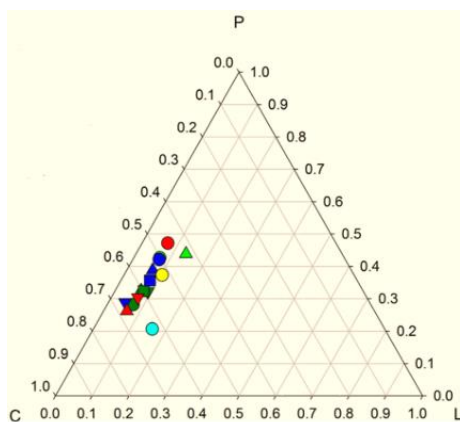
A rovarok takarmányozásra való felhasználásának táplálkozási szempontjairól *Makkar* és munkatársai (2014) írtak kiváló és részletes áttekintést. A rovarok táplálkozási adaptációjuk alapján a következők szerint osztályozhatók: folyékony táplálkozású, szívó szájszervekkel rendelkező rovarok; harapó szájszervekkel rendelkező, állati vagy növényi anyagok rágását lehetővé tevő táplálkozásúak; és szűrő-szívó rovarok, amelyek módosított szívó szájszervekkel rendelkeznek. A folyékony vagy cseppfolyós takarmányok jobban megfelelnek a szívó szájszervekkel rendelkező rovarok számára, bár a legtöbb, így táplálkozó faj képes a szilárd táplálékot extraorális emésztéssel cseppfolyósítani (*Eggink*, 2004). Mivel a rovarok szájszerkezete fajonként specifikus táplálkozási igényekhez igazodik, ezt a nekik kínált mesterséges takarmányok tervezése és gyártása során figyelembe kell vennünk.

A rovarok számára szánt takarmányok előállítására a jelenlegi technológiai eljárások alkalmazása a nyilvánvaló kiindulópont. A gyártási technológia jelentősen befolyásolja a takarmány funkcionális tulajdonságait, hibái a takarmány emészthetőségének csökkenéséhez vagy a takarmány tápanyagtartalmának csökkenéséhez vezethetnek. Továbbá az íz, az aroma, a textúra, a szín vagy más tulajdonságok megváltozása miatt a rovarok számára kevésbé elfogadhatóvá válhat a takarmány.

A legtöbb rovarfaj, amelyet világszerte élelmezési vagy takarmányozási céllal tenyésztenek, mindenevő, természetes környezetükben gyakran dögevők. A mindenevők nagyfokú táplálkozási rugalmasságot mutatnak, és sokféle eredetű táplálékot képesek fogyasztani. Táplálkozási igényeik azonban összetettek és nehezen meghatározhatók. Mivel sokféle táplálékforrást használnak fel,

és ennek megfelelően különböző táplálkozási jellemzőkkel rendelkeznek, nehéz meghatározni, hogy milyen arányban fogyasztják az egyes táplálékokat a természetben. Másrészt a mindenevő rovarok táplálkozási rugalmassága lehetővé teszi számukra, hogy több generáción keresztül fejlődjenek és szaporodjanak szuboptimális táplálékkal táplálkozva. Ez a táplálkozási rugalmasság teheti őket könnyen felnevelhetővé alacsony értékű táplálékforrások felhasználásával, ami ideálissá teszi őket a nagyüzemi termelés számára (*van Huis* és munkatársai, 2013). Mindazonáltal a tenyésztett rovarok termelékenysége javítható a megfelelően kiegyensúlyozott étrend biztosításával.

A három fő tápanyagcsoport, a fehérje, a lipid és a szénhidrát (F, L és Sz vagy angolul: P,L,C). *Morales-Ramos* és munkatársai (2014) a következők szerint használták ezek abszolút arányait a mesterséges étrend kialakításához. A PLC-arányok kiszámításához az egyes fő tápanyagok százalékos arányát elosztjuk a fehérje, lipid és emészthető szénhidrát (összes szénhidrát - rost) százalékos arányainak összegével. Például egy adott étrend fehérjearányát úgy számítják ki, hogy  $\%P/(\%P + \%L + \%C)$ . A három arány (P, L és C) összege mindig = 1; azonban a PLC-arányok 100-as vagy 1000-es bázisra alakíthatók át az egyes arányok megfelelő bázissal való megszorzásával. A tenyésztett rovarok (konkrétan 5 faj) takarmányaiban általánosan használt összetevők főbb tápanyag-csoportjainak tartalma és PLC-arányai alapján készült ún. háromszatú ábra jól mutatja, hogy a rendszertani és táplálkozási különbségektől függetlenül a számukra elfogadhatónak minősülő tápok tápanyag-aránya viszonylag szűk intervallumban mozgott (1. ábra).



**1. ábra.** Különböző rovarfajok számára készített tápok fehérje (P), lipid (L) és szénhidrát (C) tartalmának arányai. (A különböző színű alakzatok értékeit különböző szerzők közleményei alapján számították.)

(*Cortes Ortiz* és munkatársai, 2016 nyomán)

A mikrotápanyagok kis mennyiségben, de a rovarok táplálkozásához is nélkülözhetetlenek, és egy mikrotápanyag hiánya jelentős negatív hatással van biológiájukra még akkor is, ha a főbb tápanyagcsoportok megfelelő mennyiségben és arányban vannak jelen a táplálékukban. A mikrotápanyagok többnyire komplex lipideket, például szterolokat, vitaminokat és néhány ásványi anyagot tartalmaznak.

Az ehető rovarok tömeges tenyésztésének egyik fő kihívása ökonómiai szempontból a megfelelő egyensúly megtalálása a gépesítés, az automatizálás, a munkaerő, a beruházás és a termelékenység szintje között. A rovartermeléssel kapcsolatos minőségi elvárások és termelési költségek, mint például a takarmányozás, az itatás, a kezelés, a termékbetakarítás, a tisztítórendszerek, a feldolgozás, a csomagolás és a tárolás, jelentősen javíthatók a technológia fejlesztésével. Korábban a rovarokat termelő üzemek nem érték el a gépesítés magas szintjét, aminek két következménye volt: a piacon kapható termékek túlárazottak, és gyakran alacsony vagy nagyon eltérő minőségűek voltak. Ez a helyzet azonban rohamosan változik a fejlett országokban épülő újabb és újabb "rovargyárak" termelésének beindulásával, ahol a felügyeleti rendszerek integrálhatók a vezérlőrendszerekkel, amelyek folyamatos teljesítményadatokat szolgáltatnak, beleértve a takarmányozást, a párosodási és a peteérési arányt, a környezetet és a mikrobiológiai ellenőrzést, valamint az életciklus aktuális fázisát (Cortes Ortiz és munkatársai, 2016). A rovarok iparszerű termelésére és feldolgozására épülő termék-előállítás (rovarliszt és -olaj gyártás) jelenét és jövőjét formáló tényezőkről szemléletes képet ad a *Gasco* és munkatársai (2020) munkájában található SWOT analízis, valamint annak összefoglaló táblázata (2. táblázat).

## 2. táblázat

A rovarok felhasználásának SWOT analízise. Belső (Erősségek és Gyengeségek) valamint Külső (Lehetőségek és Fenyegetések) tényezők

	<b>Erősségek</b>	<b>Gyengeségek</b>
<b>Belső tényezők</b>	<i>Testösszetétel</i> Magas tápanyagtartalom, ami a nevelő szubsztrát által alakítható. Bioaktív vegyületek jelenléte.	<i>Magas piaci ár</i> <i>Relatív PUFA és ásványianyag hiány.</i> <i>Versengő vállalatok, viszonylag kis volumenű termelés.</i>
	<b>Lehetőségek</b>	<b>Fenyegetések</b>
<b>Külső tényezők</b>	<i>Szerves hulladék, melléktermék hasznosítás.</i> <i>Takarmány vs. táplálék.</i> <i>A termelés jelentősen növelhető.</i>	<i>A jogi szabályzás bizonytalanságai.</i>

Forrás: *Gasco* és munkatársai (2020)



## A ROVARLISZTEK ALKALMAZÁSÁBAN ELÉRT EREDMÉNYEK AZ AKVA-KULTÚRÁBAN

Az akvakultúrában használt takarmányok elsősorban gabonafélékből, olajos magvakból és tengeri eredetű összetevőkből állnak, ugyanakkor a szárazföldi állattenyésztés takarmányai iránti kereslet kihívást jelent előbbieik jövedelmezősége szempontjából, ami szükségessé tette egyéb kiegészítő összetevők felhasználásának tesztelését (Freccia és munkatársai, 2020). Számos tanulmány az alternatív állati fehérjeforrásokra összpontosított, de a növényi fehérjék, a mikroorganizmus-alapú fehérjék és a különböző állati melléktermékek kutatása is folyamatban van az antinutritív tényezők és a kiegyensúlyozatlan tápanyagprofilok kezelése céljából. A rovarok felhasználása a vízi állatok takarmányozásában szintén intenzíven folyik, és a rovarok az akvakultúrában is jelentős szerepet kezdenek betölteni, mint helyettesítő fehérjeforrások. A rovarok a legtöbb édesvízi környezetben bőségesen előfordulnak, míg a tengervízben csak három nemzetség él (Henry és munkatársai, 2015). A halak nevelésében elsősorban lárva- ivadékstádiumban jelentősek a különböző rovarfajok, mert értékes fehérjeforrást jelentenek a halak számára (Makkar és munkatársai, 2014; Sánchez-Muros és munkatársai, 2014) és 7,9% és 40% közötti zsírtartalmuk (Finke, 2015; Meneguz és munkatársai, 2018) miatt. Figyelembe kell azonban venni a zsírsav- és aminosav tartalomban mutatkozó különbségeket is. Fontos tény továbbá, hogy a rovarok nem csak hal- és húslisztpótlók, hanem a kitin és az AMP (adenozin monofoszfát) tartalmuk miatt prebiotikumok is, így a rovarliszteknek a halak és rákfélék tápjaiba való beillesztése, még viszonylag alacsony mennyiségben is, javíthatja azok immunrendszerének működését és növelheti a teljesítményüket, ahogyan azt korábban más használati fajok esetében is kimutatták. Szem előtt kell ugyanakkor azt is tartani, hogy több mint 200 tenyésztett halfaj létezik, melyek táplálkozási igényei nem eléggé ismertek. Ezenkívül figyelembe kell venni a rovarliszt gyártási folyamatát is (pl. fejlődési fázis „betakarításkor”) mielőtt azt takarmányban használnák (Nogales-Mérida és munkatársai, 2018).

### Rákfélék

A rákok rendszertanilag az ízeltlábúak altörzse, amelynek 5 osztályába fajok sokasága tartozik. A természetes táplálékláncok meghatározó tagjai, gondolkunk csak a tengeri krillre vagy az édesvizek *Cladocera* és *Copepoda* taxonjaira. Utóbbiak nem csak a természetes vizek életében, de az ún. félintenzív (azaz halastavi) akvakultúrában alkalmazott ivadéknevelésben is meghatározó sze-

repet játszanak. Jelen tanulmány viszont az emberi táplálékként, általában intenzív körülmények között nevelt fajokra, illetve azok takarmányozására koncentrál.

Az ágazatban a tengeri garnélarákok dominálnak, mint a legjelentősebbnek nevezhető *Litopenaeus vannamei* és a *Penaeus monodon*, de az édesvízi *Procambarus clarkii*, az *Eriocheir sinensis* és a *Macrobrachium nipponense* vagy a *M. rosenbergii* szintén jelentősek. (Mivel ezek fogyasztása hazánkban elenyésző, a fajok magyar nevének általában nincs is egységesen elfogadott változata, úgy, mint az angolban, ezért inkább nem adunk meg ilyet.)

Hasonlóan az akvakultúrában termelt halakhoz, a tenyésztett rákfélék közel 90%-át is Ázsiában termelik (ebből 50%-ot Kínában), és a legtöbbet ott is fogyasztják. Az intenzívebb termelés az 1980-as években kezdődött, amelynek mértéke a vízcsere, a levegőztetés, a (pelletált) takarmányok, a műtrágya és a gyógyszerek bevitele, valamint az ebből származó magasabb hozamok alapján számszerűsíthető. A mai garnélarák tenyésztés a nevelőhely típusa (tó, átfolyóvízes medence vagy tartály), a vízcsereelő rendszer típusa (nyitott, félig zárt vagy zárt), a relatív állománysűrűség, valamint a vízellátás, a takarmányozás és a szállítás energiaigénye (extenzív, félig intenzív, intenzív vagy szuperintenzív) alapján osztályozható (Röthig és munkatársai, 2023). A modern, szuperintenzív ráktenyésztésben vízminőség-kezelés és speciális takarmányok szükségesek a szennyezőanyagok kibocsátásának elkerülése ill. csökkentése és az optimális tartási feltételek biztosítása érdekében. Az új technológiák lehetővé teszik az "intelligens akvakultúrát", ami az internetes technológia és a hagyományos akvakultúra kombinációja (Hu és munkatársai, 2020; Mustapha és munkatársai, 2021). A szuperintenzív rendszerek két fő formája a recirkulációs akvakultúra rendszer (RAS) és a bioflok. Az előbbiben a nagy teljesítményű szűrőknek köszönhetően a víz kevesebb mint 1%-át cserélik ki naponta az ammóniát eltávolító bioszűrők és a mechanikus szűrők kombinálásával, valamint UV vagy ózon üzemű vízfertőtlenítőkkel, bár ez nagymértékű beruházási költségekkel jár, és sok energiát fogyaszt (Badiola és munkatársai, 2018). Ezeket a költségeket részben ellensúlyozhatja a nagyon magas állománysűrűség, ami viszont növeli a betegségek kockázatát. Röthig és munkatársai (2023) részletesen tárgyalják a molekuláris mechanizmusokat, amelyek a rákfélék akvakultúrájában immunitást és betegségekkel szembeni ellenállást biztosítanak, bemutatják továbbá a rákfélék akvakultúrájának és a rovartenyésztésnek környezeti fenntarthatóságát, a rovaralapú takarmányok használatának jogi kereteit és a fogyasztói elfogadottság kérdéseit.

A rovaroknak a garnélarákok takarmányozásában játszott szerepével foglalkozik Sánchez-Muroz és munkatársai (2018) irodalmi áttekintése, majd

*Gasco* és munkatársai (2023) is kitérnek erre a körkörös gazdaság szempontjaira fókuszáló legújabb áttekintésükben. Összefoglaló tanulmányukból az alábbi eredmények emelhetők ki, mint legfontosabbak. A *Litopenaeus vannamei* faj teljesítményében nincs különbség a teljes zsírtartalmú liszt kukac (*Tenebrio molitor*) liszt 30,5%-os arányú beviteléig, amely teljes mértékben helyettesíti a hallisztet az esszenciális aminosavak megfelelő egyensúlya tekintetében is. Egy nem kiegyensúlyozott tápban viszont már a 7% zsírtalanított fekete katonalégy lárvalisztet tartalmazó százalékos arány negatívan befolyásolta a *L. vannamei* növekedését. A hallisztet tartalmazó táp etetésével összehasonlítva, a teljes zsírtartalmú fekete katonalégy lárva liszt 10%-os bevétele a halliszt részleges helyettesítésére a garnélaivadékok teljesítményének javulását eredményezte. A teljes zsírtartalmú liszt kukac liszt alkalmazása esetén azonban nem mutatkozott különbség, még akkor sem, ha mindkét rovarreledelkezelés magas emészthetőségi együtthatót mutatott a nyersfehérje (84%, illetve 85%) és a nyerszsír (95%, illetve 97%) tekintetében (*Shin és Lee, 2021*). *Richardson* és munkatársai (2021) a (zsírtalanított) fekete katonalégy lárva liszt pozitív hatását találták a *L. vannamei* növekedési teljesítményére.

*Aaqillah-Amr* és munkatársai (2021) áttekintő tanulmánya szerint a rákfélék tápláléktípusai, táplálkozási viselkedése és a tápok összetétele közötti kölcsönhatások létfontosságúak. Kitérnek a rákfélék számára összeállított tápok fejlesztésével kapcsolatos kihívásokra és lehetőségekre is, mint például az alternatív fehérje- és lipidforrások használata, a funkcionális összetevők beépítése, a takarmánygyártás optimalizálása, valamint a takarmányhatékonyság és fenntarthatóság értékelése. A szerzők javasolják, hogy a jövőbeni kutatásoknak olyan fajspecifikus és környezetbarát tápok kifejlesztésére kell összpontosítaniuk, amelyek képesek kielégíteni a rákfélék táplálkozási és élettani igényeit, valamint fokozzák növekedésüket, szaporodásukat, egészségüket és jólétüket. Ezen általánosságokon túlmenően kiemelendő az a megállapításuk, hogy az akvakultúra ágazat globálisan heterogén, az üzemméret tekintetében is. A fejlődő országokban a kkv kategóriába tartozó gazdaságok az akvakultúra termelésének ugyan nem túl jelentős részét teszik ki, a helyi lakosság megélhetése azonban gyakran tőlük függ. Itt a rákfélék és a rovarok kombinálásával ezeknek a gazdaságoknak lehetőségük van a regionális termelés gazdaságosságának növelésére.

## Halak

Az alábbiakban olyan halfajokkal végzett kutatási eredmények bemutatására vállalkozunk – természetesen a teljesség igénye nélkül -, amelyeket vagy kizár-

rólág intenzív módon nevelnek, vagy az intenzív technológiai körülmények közötti tartásuk is elterjedt és gazdaságos. (Ezek említésük sorrendjében a következők: atlanti lazac, szivárványos pisztráng, tengeri keszeg, európai tengeri sügér, nílusi tilápia, afrikai harcsa.)

A világ haltermelését halászatra (fogásra) és akvakultúrára osztják. 2021-ben körülbelül 92,6 millió tonna halat fogtak ki, míg 85,5 millió tonna halat neveltek és tenyésztettek ellenőrzött akvakultúrában. A fogás és a termelés adatai ellentétes tendenciát mutatnak a tengervízből és az édesvízből (a FAO nevezéktana szerint: inland waters) származó halak esetében. Előbbi esetében ez az arány 68:8, míg az utóbbinál 12:48 millió tonna (FAO, 2022).

A tenyésztett lazac ágazat az 1960-as évekbeli kezdetek óta az elmúlt évtizedekben jelentősen nőtt, és ma már a világszerte termelt lazac mintegy 70%-át tenyésztett lazacból állítják elő. A 2021-es évben több mint 2,8 millió tonna tenyésztett lazacot állítottak elő. Ehhez képest a vadon élő lazacfélékből csak mintegy 705.000 tonnát fogtak ki. Ezek a számok, ha nem is tűnnek meghatározónak a világszintű összes akvakultúra termelésen belül, azért a tengeri halakon belül például jelentős arányt jeleznek. Azt pedig, hogy az irodalmi áttekintést ezzel az ágazattal kezdjük az a tény is indokolja, hogy a pisztráng és lazacfajok takarmányozására vonatkozó kutatások tekinthetők hagyományosan a leggazdagabban dokumentáltak.

A rovarok lazactápokban való felhasználásával kapcsolatos kutatások ígéretes eredményekre vezettek. *Lock* és munkatársai (2015) két rovarliszt terméket teszteltek kb. 250 g tömegű atlanti lazacok (*Salmo salar*) takarmányának összetevőjeként. A modern kontrolltáp 200 g/kg hallisztet (FM100) tartalmazott, amelyet fokozatosan 25, 50, 100%-ban helyettesítettek A és B rovarliszttel. A két kísérleti táp zsírtartalma volt különböző (A: 25,5 vs. B: 17,0%). A teszt 15 hétig tartott, a halak növekedési teljesítményén túl értékelték a zsírsav és aminosav összetétel alakulását és azok emészthetőségét, továbbá a máj, a vese, a középső és hátsó bél morfológiáját. Végül a filék érzékszervi vizsgálatát is elvégezték. Az A táp mindhárom verziója ugyanolyan jól teljesített, mint az FM100-es étrend. A szövettani vizsgálat nem mutatott különbséget a csoportok között, és az FM100, A100 és B25 filék érzékszervi vizsgálata sem mutatott jelentős különbséget a csoportok között a szag, az íz vagy a textúra tekintetében. Az A táp alkalmas volt a halliszt 100%-os helyettesítésére, míg a B táp nem teljesített hasonlóan jól. *Belghit* és munkatársai (2018) kimutatták, hogy a halliszt teljes helyettesítése fekete katonalégy lárva (BSFL) őrlményenyl a lazactápokban káros hatások nélkül alkalmas. Megállapították, hogy lehetséges 600 g/kg rovarlisztet rovarolajjal kombinálva hozzáadni az édesvíz-

ben nevelt atlanti lazacok takarmányához anélkül, hogy az bármilyen káros hatással lenne a növekedési teljesítményre, a takarmányhasznosításra, a látszólagos emészthetőségre és a teljestest összetételére. Továbbá a fekete katonalégylárvá fehérjedara jó aminosav-forrásnak tűnik, mert magas biológiai hozzáférhetőséggel rendelkezik. Figyelembe kell azonban venni a BSFL lisztben lévő taurin alacsony koncentrációját, és ennek a lipidanyagcserére gyakorolt lehetséges hatásait. *Weththasinghe* és munkatársai (2021) megállapították, hogy a teljes zsírtartalmú fekete katonalégy lárvá liszt javította az atlanti lazacok takarmányfelvételét és növekedési ütemét. Hat extrudált takarmányt teszteltek átlagosan 28 g kezdeti tömegű lazacokkal: kontroll táp; teljes zsírtartalmú BSFL-lisztet tartalmazó táp; zsírtalanított BSFL-lisztet tartalmazó táp; kitinmentesített BSFL-liszt; BSFL-olajos és BSFL exoskeletonos táp. A kontrolltápban lévő fehérje 15%-át helyettesítették. A teljes zsírtartalmú és a kitinmentesített tápok számszerűen csökkentették a pellet keménységét, a duzzadást és a vízstabilitást. A teljes zsírtartalmú és a kitinmentesített tápok javították a lazacok növekedési ütemét, míg a zsírtalanított liszt, az olaj és az exoskeleton a kontrollhoz hasonló növekedési teljesítményt nyújtott. A takarmányfelvétel és a halak növekedési üteme a teljes zsírtartalmú lisztet tartalmazó táppal etetett halaknál magasabb volt, mint a többi rovaros táppal etetett halaknál, de a zsírtalanított liszt jobb takarmány-hasznosítási arányt adott, mint a teljes zsírtartalmú liszt. Összefoglalva, a teljes zsírtartalmú BSFL-liszt használata javította a takarmányfelvételt és a halak növekedési ütemét, a takarmányfehérje 15%-os helyettesítési arányánál. Ezek az eredmények azt sugallják, hogy a BSFL kevésbé feldolgozott, teljes zsírtartalmú formája optimálisabb a lazacok takarmányozásában. Mindezek a vizsgálatok együttesen azt bizonyítják, hogy a rovarlisztek, különösen a BSFL-ből származó rovarlisztek, a hagyományos fehérjeforrások életképes és fenntartható alternatívái lehetnek a laccárokban.

A pisztrángfélék, jelesül a szivárványos pisztráng (*Onchorynchus mykiss*), takarmányozásának irodalma szintén gazdag, általában és a rovarlisztek felhasználását illetően is. *Chemello* és munkatársai (2020) szerint a rovarlisztek jó jelöltek arra, hogy az ún. aquatápok új fehérjeforrásaként helyettesítsék a hallisztet, ezért vizsgálatukban a halliszt helyettesítésének hatását értékelték különböző takarmányozási szinteken. Vizsgálták a részben zsírtalanított *Tenebrio molitor* (*L.*) lárváörlemény (TM) hatását szivárványos pisztráng növekedésére, a táplálék emészthetőségére és a máj köztes anyagcseréjére. A 154 napos növekedési kísérletben négy kísérleti táppal etettek, amelyek növekvő mennyiségű TM-et tartalmaztak: 0% (TM0), 25% (TM25), 50% (TM50), és 100%-os (TM100) halliszt-helyettesítést, ami megfelelt 0%-os, 5%-os, 10%-

os, és 20%-os TM aránynak a tápban. Az emészthetőségi vizsgálatot szivárványos pisztráanggal ( $94,6 \pm 7,31$  g) végezték. A növekedési paramétereket nem befolyásolta TM-tápok etetése. A látszólagos emészthetőségi együtthatókat tekintve ez csak a nyersfehérje emészthetőségét befolyásolta, a következő tendenciát mutatva:  $TM0 = TM25 > TM50 > TM100$ . A kulcsfontosságú aminosav-katabolikus és lipogén májenzimek aktivitását nem befolyásolta a takarmány összetétele. Az eredmények azt sugallják, hogy a részben zsírtalanított TM teljes mértékben helyettesítheti a hallisztet a kereskedelmi szivárványos pisztráng tápokban a halak teljesítményére gyakorolt negatív hatások nélkül. *Melenchón* és munkatársai (2022) vizsgálatában a fekete katonalégy lárva és a sárga lisztkukac liszt szerepelt a hallisztet 50%-ban kiváltó arányban a kísérleti (HI ill. TM) tápokban. A kontroll táp nyersfehérje tartalma 43,9% volt. Bár a növekedés abszolút értékeit tekintve a HI vagy a TM használata a szivárványos pisztráng takarmányában egyaránt hatékony volt, a TM-mel etetett halak jobban nőttek, mint a HI-val etetettek. Ezeket a különbségeket a nagyobb takarmányfelvétel jellemezte és az aktívabb emésztési funkció, amit a bél szövettani vizsgálatai is alátámasztottak, különösen a TM esetében a bélbolyhok magasságának növekedésével. Az is figyelemre méltó, hogy az enterociták magasságának kismértékű növekedését írták le a rovaralapú táplálék esetében, ami a rovarzsír eltérő felszívódásával függhet össze. A máj szövettanában vagy a köztes anyagcserében nem észleltek változást. Az antioxidáns és immunológiai rendszer aktivitása a rovaralapú takarmányok esetében kismértékben javult, ami a szövetkárosodási mutatók (malondialdehid és savas foszfátáz) csökkenésében tükröződött, de ez nem változtatta meg a halak általános egészségi és jóléti állapotát. A filék összetételében kisebb változásokat figyeltek meg, de a rovarokkal etetett halak fehérjetartalma nagyobb volt. Egy közelmúltban megjelent cikkben *Dietz* és munkatársai (2023) a takarmányfelhasználást és a növekedési teljesítményt értékelték különböző szivárványos pisztrángtörzsek esetében. Kísérletükben a halliszt (FM) helyettesítésére részben zsírtalanított rovarlisztet vagy mikroalga-port alkalmaztak. Az izonitrogén és izoenergetikus tápokkal  $495,15 \pm 37$  g kezdeti súlyú fiatal szivárványos pisztrángot etettek. Míg a kontroll táp 20% FM-et tartalmazott, a két kísérleti táp FM-mentes volt. Ehelyett ugyanolyan mennyiségű permetszáraz *Spirulina* por (SP) vagy részben zsírtalanított *Hermetia*-liszt (HM) került alkalmazásra alternatív fehérjeforrásként. A takarmányhasznosítás és növekedés mutatóit egy kereskedelmi fajtán és három helyi törzsen vizsgálták 56 napon keresztül. A tápokat állandó, 1,0%/napos napi adagban etették. Bár a növekedés hasonló volt a különböző tápok között, a növekedés és a takarmányhasznosítás különbözött a fajták között. A fehérje hasznosulása a helyi törzseknél a takarmánytól

függetlenül jobb volt, a kezdeti testtömegek közötti nagy különbségek miatt a kompenzációs növekedés lehetővé tette, ami befolyásolhatta a vizsgálat eredményét. Mindkét alternatív fehérjeforrás megfelelőnek bizonyult a szívárványos pisztráng táplálékában az FM teljes körű helyettesítésére. A nagy mennyiségű HM-et vagy SP-t tartalmazó táplálékhoz való jobb alkalmazkodás az eredmények alapján szelektív tenyésztéssel érhető el.

A rovarlisztek felhasználási lehetőségét a mediterrán tengeri akvakultúra legfontosabb halfajai esetében is vizsgálták. *Randazzo* és munkatársai (2023) vizsgálatának célja a tengeri keszeg (*Sparus aurata*, GSB) és az európai tengeri sügér (*Dicentrarchus labrax*, ES) növekedési reakciójának, bélrendszeri egészségének és fiziológiai állapotának értékelése volt a teljes mértékben hallisztmentes és alternatív összetevőkkel kiegészített étrenddel történő etetést követően. A halakat (45%) és izolipid (20%) tartalmú tápokkal etették. A fekete katonalégyből származó lisztek (*Hermetia illucens*, H) prepupákból, egész vörös mocsári rákból (*Procambarus clarkii*, RC) vagy mikroalgakeverékből készült lisztekkel készült *Tisochrysis lutea* és *Tetraselmis suecica*, MA keverékét használták arra, hogy a 10%-os fehérjetartalmú, hallisztmentes, növényi fehérje alapú, magas szójaliszt-tartalmú kontroll táp (CV) kiegészítésére. Mind-egyik tápot háromszoros ismétlésben etették, 12 (GSB) és 18 (ES) héten keresztül. Mindkét halfaj esetében az MA-táplálék eredményezte a legrosszabb fajlagos növekedési rátát (SGR), takarmányegyütthatót (FCR) és fehérjehatékonysági arányt (PER) a CV-hez képest. A H diéta csak a GSB esetében javította jelentősen az SGR-t anélkül, hogy az FCR-t befolyásolta volna. A szárazanyag látszólagos emészthetőségi együttható (ADC) a H tápban volt a legmagasabb (kb. 76%), és a kontroll tápban a legalacsonyabb (kb. 73%), míg az RC-táplálék esetében mindkét halfaj esetében köztes értéket mértek. Enyhén gyulladt bél és megváltozott nyálkahártya-morfológiát figyeltek meg mindkét halfajnál, a CV táppal etetett csoportokban, a GSB nagyobb érzékenységgel reagált ezzel a táppal szemben. Viszont a H, RC és MA étrendek a gyulladáshoz vezető gének modulációjához vezettek. Összességében az eredmények azt mutatták, hogy a növényi fehérje alapú étrendben a H és az RC 10%-os fehérjetartalma javítja a halak növekedését és bélrendszerük egészségét mindkét halfaj esetében. Az ES esetében a mikroalgákat tartalmazó étrend szintén kedvezően hatott a halak bélrendszerének egészségére, a CV-hez képest, bár a receptúra további finomítására van szükség a növekedésre és a fiziológiai állapotra gyakorolt kedvezőtlen hatások csökkentése érdekében. Az eredmények azt sugallják, hogy a rovar- és rákeleségek funkcionális összetevőként felhasználhatók a szubadult halak számára készített tápokban mindkét faj esetében, míg a mikroalgák funkcionális takarmányként való felhasználásában további vizsgálatokra van szükség.

*Rangel* és munkatársainak (2024) vizsgálata a rovarlisztekben különböző arányban jelenlévő kitin emészthetőségének javítását célozta. Megállapították, hogy a szénhidrátbontó spóráképző probiotikumok versenyképes ipari megközelítést kínálnak, mivel képesek ellenállni a takarmánygyártási folyamatnak, a szállításnak, a tárolásnak és az állatok gyomor-bélrendszerének, miközben képesek növelni az egyébként emészthetetlen összetevők emészthetőségét. A kitin emészthetőségének növelése céljából két, a *Bacillus licheniformis* fajjal közeli rokonságban álló, kitinolitikus spóráképző halizolátumot /645-ös (FI645) és 658-as (FI658) halizolátum/ különítettek el az európai tengeri sügér gyomor-bélrendszeréből, és (egyenként vagy keverékként) nagy mennyiségű zsírtalanított *Hermetia illucens* lárvalisztet (HM) tartalmazó sügértápra keverték (30%-os arányban). Az FI izolátumokat a halak növekedési teljesítményére és az emészthetőségére gyakorolt hatásuk alapján értékelték. A spórák a 180 napos, szobahőmérsékleten történő takarmánytárolás során mindig megőrizték életképességüket. A FI645 takarmányba való bevitele magasabb kitin emészthetőséget eredményezett. Ezzel párhuzamosan a szárazanyag (DM), a fehérje és az energia emészthetősége is nőtt, ami összességében magasabb takarmányhatékonyságot és fehérjehatékonysági arányt eredményezett. A FI645 étrendi bevitele a plazma N-acetilglükózamin (GlcNAc) szintjének növekedéséhez vezetett. Ez az első bizonyíték a plazma GlcNAc-koncentrációjának étrend által közvetített modulációjára. A FI645 étrendi bevitele megnövelte az N-acetilglükózamin-kinázt (nagk) és a GlcNAc-foszfomutázt (pgm3), a GlcNAc-mentő útvonal és a hexozamin-bioszintézis útvonal (HBP) kulcsenzimeinek expresszióját is. Másrészt nem találtak különbséget az N-acetil-D-glükózamin-6-foszfát-deacetiláz (amdhd2), a GlcNAc glikolízisbe történő átírányításának előenzimje expressziójának tekintetében. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a megnövekedett kitin emészthetőségből származó szabad GlcNAc a halak sejtjeiben a HBP-n keresztül preferenciálisan a fehérjék O-GlcNAcylation folyamataiba irányulhat át. Továbbá, amikor *Vibrio anguillarum* fertőzésnek tették ki, és miután egy hónapig ugyanazzal a táplálékkal etették őket, az FI645 szintén növelte a halak túlélését 52,5%-ról 77,5%-ra a kontrollhoz képest. Ezek az eredmények együttesen megalapozzák a FI645 probiotikumként való felhasználásának lehetőségét a kitin emésztésének fokozására és a tengeri sügér *V. anguillarum* fertőzéssel szembeni védelmét szolgáló profilaktikus szerként való működésére. Ez a stratégia új lehetőségeket nyithat az alapanyagok felhasználására, beleértve a magas kitinszintet a haltápokban, és az antibiotikumok használatának csökkentésére az akvakultúrában.



A hazánkban is méltán népszerű és jelentős mennyiségben termelt afrikai harcsa (*Clarias gariepinus*) takarmányozása egyre inkább kutatott terület, beleértve a rovarlisztek felhasználási lehetőségeit különböző korcsoportjai számára. Fawole és munkatársai (2020) egy 60 napos kísérletet végeztek annak vizsgálatára, hogy milyen hatással van a halliszt fekete légy lárvával történő helyettesítése az ivadékok növekedési teljesítményére, tápanyag-felhasználására, hematológiájára, szérum biokémiájára és oxidatív állapotára. Négy tápot állítottak össze izonitrogén (418 g/kg nyersfehérje), izolipid (95 g/kg nyerszsír) és izokalóriás (20,14 MJ/kg bruttó energia) mutatókkal. A kontroll tápot úgy állították össze, hogy a fő fehérjeforrás a halliszt (FM) volt, amelyet fokozatosan helyettesítettek *Hermetia illucens* (a továbbiakban: HP) lárváőrleménnyel 25, 50 és 75 %-ban, egyenértékű fehérjealapon, ami 57, 115 és 172 g/kg táplálékbeviteli szintnek felelt meg. A kísérlethez összesen 180 4g indulósúlyú ivadékokat használtak fel. A kísérlet végén a HP 50%-kal etetett halaknál volt a legmagasabb a végső testtömeg, a súlygyarapodás, a súlygyarapodás százalékos aránya és a fajlagos növekedési ráta a többi csoporthoz képest ( $p < 0,05$ ). A tápanyaghasznosítási mutatók, mint például a takarmányegyűtőhatóság, a fehérje hatékonysági arány is jobbnak bizonyult a HP 50%-kal etetett halaknál a kontrollhoz képest, de a takarmányfelvételre nem észleltek szignifikáns hatást ( $p > 0,05$ ). Szignifikánsan magasabb teljes testfehérje-tartalmat mértek a HP 50%-ban, míg a lipid- és hamutartalom nem mutatott eltérést ( $p > 0,05$ ). A vérparaméterek és a differenciális leukocitaszámok statisztikailag nem különböztek, azonban a szérum összfehérje, globulin, glükóz, trigliceridek és az összes bilirubin szignifikánsan különbözött a takarmányozási csoportok között ( $p < 0,05$ ). A májfunkciós enzim (AST és ALT) azt mutatta, hogy a HP 50%-kal etetett halaknál volt a legalacsonyabb az érték. Az oxidatív stressz biomarker eredményei azt mutatják, hogy a HP-alapú táppal etetett halak malondialdehid tartalma hasonló volt a kontrollhoz, de a szuperoxid-dizmutáz és kataláz enzimaktivitás magasabbnak bizonyult a kontroll és a HP 50%-ban. Összefoglalva, a vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy az afrikai harcsa hatékonyan hasznosíthatja a fekete katonalégy lárváőrleményt 172 g/kg-ig (75%-os FM-helyettesítés) anélkül, hogy a halak növekedése, tápanyag-hasznosítása, antioxidáns- és egészségi állapota romlana.

Feltétlenül említést érdemelnek még azok az eredmények, amelyeket egy világszerte jelentős mennyiségben tenyésztett faj, a nílusi tilápia (*Oreochromis niloticus*) takarmányozásában értek el a rovarlisztek alkalmazásával. Fontes és munkatársai (2019) a szárazanyag, fehérje, zsír, energia és kitin (!) látszólagos (ADC) emészthetőségének értékelését hím nílusi tilápia ivadékokkal végezték. Hat takarmányozási kezelést alkalmaztak: (kontroll, *Nauphoeta cinerea*

liszt (NCM) (*Blattodea*), *Zophobas morio* lárva liszt (ZMM) (*Coleptera*), *Gromphadorhina portentosa* liszt (GPM) (*Blattodea*), *Gryllus assimilis* liszt (GAM) (*Orthoptera*) és *Tenebrio molitor* lárvaőrlemény (TMM) (*Coleptera*) három isméltésben, tartályonként 50 hallal. A kontrolltáp nem tartalmazott rovarlisztet, a másik öt kezelés pedig 80%-ban kereskedelmi forgalomban kapható tápot és 20% vizsgálati összetevőt tartalmazott, 0,1% krómoxiddal mint inert markerrel. A TMM magasabb ADC-t eredményezett a szárazanyag, a fehérje, a korrigált fehérje és a kitin tekintetében, mint a többi kezelés ( $p < 0,01$ ). A GPM viszont a legmagasabb ADC-t mutatta a lipidek esetében ( $p < 0,01$ ). Általánosságban elmondható, hogy a TMM mutatta a legjobb emészthetőséget a tápanyagok, az energia tekintetében, de az összes vizsgált rovareledel potenciális takarmány a nílusi tilápia ivadékok számára. Kiemelendő még az a tény, hogy a kitin emészthetősége is kiválóan bizonyult, 60-81%-s ADC értéket mutatva. Ezt a kedvező képet árnyalják egyébként *Eggink* és munkatársai (2022) kísérletének eredményei, akik fekete katonalégy lárvaínak lisztjét, mint új haltakarmány összetevőt tesztelték 8 ill. 50 grammos nílusi tilápia és szivárványos pisztráng ivadékkal. A BSFL lisztet három méretfrakcióra szitálták, és így különböző kitintartalmat kaptak: 0-200  $\mu\text{m}$  (finom), 200-400  $\mu\text{m}$  (közepes), >400  $\mu\text{m}$  (durva), 1,8, 2,7 és 15,4% kitin szárazanyag alapján. Minden faj számára négy izoenergetikus és izonitrogén-mentes takarmányt állítottak össze, beleértve egy kísérleti referenciatápot is. Három olyan tápban, amely a kísérleti referencia-táplálék 25%-át egy olyan tápanyaggal helyettesítette, amely a három BSFLM méretfrakció egyikét tartalmazta. A durva BSFLM-frakció étrendi beiktatása szignifikánsan alacsonyabb DM, nyersfehérje, nitrogén-mentes kivonat és kitin emészthetőséget eredményezett mindkét halfaj esetében, ami alátámasztja azt a hipotézist, hogy a kitin antitápanyagként működhet. Ugyanakkor, azt is megállapították, hogy mindkét faj képes megemészteni a kitint, de annak emészthetősége csökkent a táplálékban lévő kitin magasabb szintjével. *Tippayadara* és munkatársai (2021) a fekete katonalégy lárvaínak lisztjét egy 12 hetes kísérletben tesztelték nílusi tilápián. Négy százhusz (14,77 $\pm$ 2,09 g) halat hét csoportban hétféle táppal etettek: kontroll (0% BSFLM-100% FM), illetve az FM-et BSFLM-mel helyettesítő FM 10%, 20%, 40%, 60%, 80% és 100%-os arányban. A növekedési mutatók, a takarmányhasznosítási mutatók, a takarmányfelvétel és a túlélési arány nem különbözött szignifikánsan az FM és a BSFLM kezelések között. A vörös vértest, fehér vérsajt, hemoglobin, hematokrit, vérlemezke értékeket nem befolyásolta a BSFLM alkalmazás. A bőr, a nyálkahártya lizozim és peroxidáz aktivitási értékei javultak a rovarliszttel etetett halaknál. Tehát kísérletük eredményei alapján a

BSFLM káros hatások nélkül használható a halliszt helyettesítésére a nilusi tilápia esetében akár 100%-os arányban is.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Az akvakultúrának a jövőben tovább kell csökkentenie a halliszt és halolaj függőséget a fenntartható ágazati növekedés biztosítása érdekében. Az újszerű akvakultúra takarmányösszetevők (rovarok mellett a makroalgák, baktériumok, élesztők) globális bevezetése jelentősen csökkentheti az akvakultúra tengeri fogásokból származó takarmányhal szükségletét, az optimális takarmányegyütthatók és az omega-3 zsírsavprofilok fenntartása mellett. Az ökoszisztéma-szolgáltatások mellett a rovarok további alapvető előnye, hogy akár mezőgazdasági és egyéb szerves hulladékokon is tömegesen termelhetők, így a körforgásos gazdaság elvét alkalmazva ezeket hatékonyan alakítják át új termékekké. Ez olyan előnyöket tesz lehetővé, mint a hulladékgazdálkodási költségek csökkentése és a rovarokból származó termékek (liszt és olaj) felhasználása a halliszt, sőt a szójaliszt helyettesítésére.

Bár önmagában a rovarfajok egyike sem helyettesíti tökéletesen a hallisztet, az aminosav összetétel és a fehérje emészthetőségét tekintve a fekete katonalégylárvá liszt hasonlít leginkább a hallisztre. A legtöbb rovarfajnak alacsonyabb a kéntartalmú aminosav (cisztein, cisztin és a metionin) tartalma, mint a halliszté és zsírjukból hiányzik az EPA és DHA, ezért felhasználásukkor az ezekkel történő kiegészítés nélkülözhetetlen. Ugyanakkor a rovarok nem csak hal- és húslisztpótlók, hanem kitin és adenzin monofoszfát tartalmuk miatt prebiotikumok is, így a rovarliszteknek a takarmányokba keverése, még viszonylag alacsony mennyiségben is, javíthatja az immunrendszer működését és növelheti a teljesítményt.

Az akvakultúra legfontosabb rák- és halfajai számára legújabban fejlesztett tápokban a rovarlisztek felhasználhatóságának lehetőségeit intenzív kutatások alapozzák meg. Ugyanakkor igazi áttörést globálisan csak a rovartenyésztés gazdaságilag életképes méretűre történő bővítése hozhat, ami ipari mennyiségben képes rovarterméket biztosítani, lehetővé téve a versenyképes halliszt árak elérését.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Aaqillah-Amr, M., Ariffin Hidir, M., Azra, N. et al. (2021) "Use of Pelleted Diets in Commercially Farmed Decapods during Juvenile Stages: A Review" *Animals* 11(6), 1761. DOI: [10.3390/ani11061761](https://doi.org/10.3390/ani11061761)
- Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R.T., Wong, J., Wang, L. (2022) Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*. 7(2), 166-178. DOI: [10.1016/j.aaf.2021.10.004](https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.10.004).

- Badiola, M., Basurko, O.C., Piedrahita, R., Hundley, P. and Mendiola, D. (2018) Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering* 81, 57-70. DOI: [10.1016/j.aquaeng.2018.03.003](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.03.003)
- Baskar K., Gawade S. (2021) Aquatic insects and their importance in assessing ecosystem health. *MOJ Eco Environ Sci.* 6(4), 136–137. DOI: [10.15406/mojes.2021.06.00226](https://doi.org/10.15406/mojes.2021.06.00226)
- Belghit, I., Liland, N.S., Waagbø, R., Biancarosa, I., Pelusio, N., Li, Y., Krogdahl, Å., Lock, E.-J. (2018) Potential of insect-based diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 491, 72–81. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2018.03.016](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.016)
- Chemello, G., Renna, M., Caimi, C., Oliva-Teles, A. et al. (2020) Partially Defatted *Tenebrio molitor* Larva Meal in Diets for Grow-Out Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum): Effects on Growth Performance, Diet Digestibility and Metabolic ResHuponses. *Animals*, 10(2), 229–. DOI: [10.3390/ani10020229](https://doi.org/10.3390/ani10020229)
- Cortes Ortiz, J.A. et al. (2016) Insect Mass Production Technologies. In: *Insects as Sustainable Food Ingredients*. Edited by: Aaron T. Dossey, Juan A., Morales-Ramos and M. Guadalupe Rojas Chapter 6, 153–201. DOI: [10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00006-5)
- Cottrell, R. S., Blanchard, J. L., Halpern, B. S., Metian, M., Froehlich, H. E. (2020) Global adoption of novel aquaculture feeds could substantially reduce forage fish demand by 2030. *Nature Food*, 1(5), 301–308. DOI: [10.1038/s43016-020-0078-x](https://doi.org/10.1038/s43016-020-0078-x)
- Dietz, C., Wessels, S., Sünder, A., Sharif, R., Gährken, J., Liebert, F. (2023) Does Genetic Background of Rainbow Trout Impact Growth and Feed Utilisation following Fishmeal Substitution by Partly Defatted Insect Meal (*Hermetia illucens*) or Microalgae Powder (*Arthrospira platensis*)? *Aquaculture Research*. Article ID 4774048, 11 page.
- Dunkel, F.V. and Payne C. (2016) Introduction to Edible Insects. in *Insects as Sustainable Food Ingredients* Edited by: Aaron T. Dossey, Juan A., Morales-Ramos and M. Guadalupe Rojas. Chapter 1, 1–27. DOI: [10.1016/B978-0-12-802856-8.00001-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802856-8.00001-6)
- Eggink, K. M., Pedersen, P. B., Lund, I., Dalsgaard, J. (2022) Chitin digestibility and intestinal exochitinase activity in Nile tilapia and rainbow trout fed different black soldier fly larvae meal size fractions. *Aquaculture Research*, 53(16), 5536–5546. DOI: [10.1111/are.16035](https://doi.org/10.1111/are.16035)
- FAO (2013) The contribution of insects to food security, livelihoods and the environment (fao.org)
- FAO (2022) Is the time ripe for using insect meal in aquafeeds? Bangkok [Link](#)
- Fawole, Femi J., Adeoye, Ayodeji A., Tihamiyu, Lateef O. et al. (2020) Substituting fishmeal with *Hermetia illucens* in the diets of African catfish (*Clarias gariepinus*): Effects on growth, nutrient utilization, haemato-physiological response, and oxidative stress biomarker. *Aquaculture*, 518, DOI: [10.1016/j.aquaculture.2019.734849](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734849)
- Finke, M.D. (2015) Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Biology* 34, 554–564. DOI: [10.1002/zoo.21246](https://doi.org/10.1002/zoo.21246)
- Fontes, T.V., de Oliveira, K.R.B., Gomes Almeida, I.L. et al. (2019) Digestibility of Insect Meals for Nile Tilapia Fingerlings. *Animals*, 9(4), 181–. DOI: [10.3390/ani9040181](https://doi.org/10.3390/ani9040181)
- Francuski, L. and Beukeboom, L. W. (2020) Insects in production: An introduction. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(6-7), 422-431. DOI: [10.1111/eea.12935](https://doi.org/10.1111/eea.12935)
- Freccia, A., Bee Tubin, J. S., Nishioka, A. R., Coelho, M. G. E. (2020) Insects in Aquaculture Nutrition: An Emerging Eco-Friendly Approach or Commercial Reality? (Chapter 9) in *Emerging Technologies, Environment and Research for Sustainable Aquaculture*. Qian, L., Mohammad, S. 10.5772/intechopen.82887, DOI: [10.5772/intechopen.90489](https://doi.org/10.5772/intechopen.90489)
- Gasco, L., Biancarosa, I., Liland, N. S. (2020) From waste to feed: a review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 23, 67–79, DOI: [10.1016/j.cogsc.2020.03.003](https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.003)

- Guiné, R., Correia, P., Coelho, C., Costa, C. (2021) The role of edible insects to mitigate challenges for sustainability. *Open Agriculture*. DOI: [10.1515/opag-2020-0206](https://doi.org/10.1515/opag-2020-0206)
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., Bruun, S. (2016) Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 57–. DOI: [10.1007/s13593-016-0392-8](https://doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8)
- Henry, M., Gasco L, Piccolo, G., Fountoulaki, E. (2015) Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Animal Feed Science and Technology* 203, 1–22. DOI: [10.1016/j.ani-feedsci.2015.03.001](https://doi.org/10.1016/j.ani-feedsci.2015.03.001)
- Hu, Z., Li, R., Xia, X., Yu, C., Fan, X. and Zhao, Y., (2020) A method overview in smart aquaculture. *Environmental Monitoring and Assessment* 192, 1-25. DOI: [10.1007/s10661-020-08409-9](https://doi.org/10.1007/s10661-020-08409-9)
- Jankielsohn, A. (2018) The Importance of Insects in Agricultural Ecosystems. *Advances in Entomology*, 6, 62-73. DOI: [10.4236/ae.2018.62006](https://doi.org/10.4236/ae.2018.62006)
- Koutsos, L. (2021) Applications of Insect-derived Ingredients in Animal Diets, *Journal of Animal Science*, Volume 99, Issue Supplement\_3, DOI: [10.1093/jas/skab235.218](https://doi.org/10.1093/jas/skab235.218)
- Lock, E.R., Arsiwalla, T., Waagbø, R. (2015) Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquaculture Nutrition*, 22, 1202-1213. DOI: [10.1111/anu.12343](https://doi.org/10.1111/anu.12343)
- Maino, J. and Kearney, M. (2015) Testing mechanistic models of growth in insects. *proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. DOI: [10.1098/rspb.2015.1973](https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1973)
- Makkar, H.P.S., et al. (2014) State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Tech.* DOI: [10.1016/j.anifeeds.2014.07.008](https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2014.07.008)
- Melenchón, F., de Mercado, E., Pula, H.J., Cardenete, G., Barroso, F.G., Fabrikov, D., Lourenço, H.M., Pessoa, M.-F., Lagos, L. et al. 2022. Fishmeal Dietary Replacement Up to 50%: A Comparative Study of Two Insect Meals for Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Animals*. 12(2), 179. DOI: [10.3390/ani12020179](https://doi.org/10.3390/ani12020179)
- Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M. et al. (2018) Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. DOI: [10.1002/jsfa.9127](https://doi.org/10.1002/jsfa.9127)
- Mustapha, U.F., Alhassan, A., Jiang, D. and Li, G. (2021) Sustainable aquaculture development: a review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). *Reviews in Aquaculture* 13, 2076-2091. DOI: [10.1111/raq.12559](https://doi.org/10.1111/raq.12559)
- Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J. et al. (2018) Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*. 11, 1080–1103. DOI: [10.1111/raq.12281](https://doi.org/10.1111/raq.12281)
- Noriega, J.A., Hortal, J., Azcárate, F.M. et al. (2017) Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic and Applied Ecology*, (26), 8-23. DOI: [10.1016/j.baaec.2017.09.006](https://doi.org/10.1016/j.baaec.2017.09.006)
- Pinotti, L., Giromini, C., Ottoboni, M., Tretola, M., Marchis, D. (2019). Review: Insects and former foodstuffs for upgrading food waste biomasses/streams to feed ingredients for farm animals. *Animal: an international journal of animal bioscience*, 13(7), 1365-1375. DOI: [10.1017/S1751731118003622](https://doi.org/10.1017/S1751731118003622)
- Pippinato, L., Gasco, L., Di Vita, G., Mancuso, T. (2020) Current scenario in the European edible-insect industry: a preliminary study. *Journal of Insects as Food and Feed* 6, 371-381. DOI: [10.3920/JIFF2020.000](https://doi.org/10.3920/JIFF2020.000)
- Ramos-Elorduy J. (2008) Energy supplied by edible insects from Mexico and their nutritional and ecological importance. *Ecol Food Nutr.* 47, 280–297. DOI: [10.1080/03670240701805074](https://doi.org/10.1080/03670240701805074)
- Randazzo, B., Di Marco, P., Zarantonello, M., Daniso, E. et al. (2023) Effects of supplementing a plant protein-rich diet with insect, crayfish or microalgae meals on gilthead sea bream (*Sparus aurata*)

- and European seabass (*Dicentrarchus labrax*) growth, physiological status and gut health, *Aquaculture*. 575, DOI: [10.1016/j.aquaculture.2023.739811](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739811)
- Rangel, F., Monteiro, M., Santos, R.A., Ferreira-Martins, D. et al. (2024) Novel chitinolytic *Bacillus* spp. increase feed efficiency, feed digestibility, and survivability to *Vibrio anguillarum* in European seabass fed with diets containing *Hermetia illucens* larvae meal, *Aquaculture*, Volume 579, DOI: [10.1016/j.aquaculture.2023.740258](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740258)
- Richardson, A., Dantas-Lima, J., Lefranc, M. and Walraven, M. (2021) Effect of a Black soldier fly ingredient on the growth performance and disease resistance of juvenile Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Animals*. 11, 1450. DOI: [10.3390/ani11051450](https://doi.org/10.3390/ani11051450)
- Röthig, T., Barth, A., Tschirner, M. et al. (2023) Insect feed in sustainable crustacean aquaculture. *Journal of Insects as Food and Feed*. in press DOI: [10.3920/jiff2022.0117](https://doi.org/10.3920/jiff2022.0117)
- Rumbos, C., Adamaki-Sotiraki, C., Gourgouta, M., Karapanagiotidis, I., Asimaki, A., Mente, E., Athanasiou, C. (2021) Strain matters: strain effect on the larval growth and performance of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor* L. *Journal of Insects as Food and Feed*. DOI: [10.3920/JIFF2021.0035](https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0035)
- Sánchez-Muros, M.-J., Barroso, F.G., Manzano-Agugliaro, F. (2014) Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16–27.
- Shin, J. and Lee, K.-J. (2021) Digestibility of insect meals for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and their performance for growth, feed utilization and immune responses. *PLOS ONE* 16, e0260305. DOI: [10.1371/journal.pone.0260305](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260305)
- Tippayadara, N., Dawood, M.A.O., Krutmuang, P., Hoseinifar, S.H. et al. (2021) Replacement of Fish Meal by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal: Effects on Growth, Haematology, and Skin Mucus Immunity of Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Animals*, 11(1), 193. DOI: [10.3390/ani11010193](https://doi.org/10.3390/ani11010193)
- van Huis, A. (2022) Edible insects: Challenges and prospects. *Entomological Research*, 52, 161– 177. DOI: [10.1111/1748-5967.12582](https://doi.org/10.1111/1748-5967.12582)
- Varelas, V. (2019) Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. *Fermentation*, 5(3), 81–. DOI: [10.3390/fermentation5030081](https://doi.org/10.3390/fermentation5030081)
- Waldbauer, G.P. (1968). The Consumption and Utilization of Food by Insects. p. 229–288. in *Advances in Insect Physiology*. 5, DOI: [10.1016/s0065-2806\(08\)60230-1](https://doi.org/10.1016/s0065-2806(08)60230-1)
- Weisser W.W., and Siemann E. (Eds.) *Insects and Ecosystem Function*. *Ecological Studies*, Vol. 173. © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004
- Weththasinghe, P., Hansen, J.Ø., Rawski, M., Józefiak, D., Ghimire, S.H., Øverland, M. (2021) Insects in Atlantic salmon (*Salmo salar*) diets – comparison between full-fat, defatted, and de-chitinised meals, and oil and exoskeleton fractions. *Journal of Insects as Food and Feed*. DOI: [10.3920/jiff2021.0094](https://doi.org/10.3920/jiff2021.0094)



© Copyright 2023 by the authors. This is an open access article under the terms and conditions of the Creative Commons attribution ([CC-BY-NC-ND](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)) license 4.0.