

ALTERNATÍV FEHÉRJE- ÉS ZSÍRFORRÁSOK A HALAK TAKARMÁNYOZÁSÁBAN

MÉZES MIKLÓS

ÖSSZEFOGLALÁS

A világ halliszt termelésének csökkenése miatt a haltakarmányozásban is egyre nő az igény olyan alternatív fehérjeforrások iránt, amelyekkel a halliszt hatékonyan helyettesíthető. Az egyéb állati eredetű fehérjék felhasználását az EU szabályozások nagyrészt tiltják, így elsősorban a növényi eredetű fehérjeforrások felhasználása terjed el. Ezek nagy része azonban olyan antinutritív és toxikus anyagokat tartalmaz, amelyek felhasználásukat korlátozza. Így például a szója olyan vegyületeket tartalmaz, amely súlyos bélgyulladást idézhet elő. Az egyéb növényi fehérjék aminosav-összetétele pedig nem elégíti ki a halak szükségletét, így csak aminosav-kiegészítéssel alkalmazhatók. Napjainkban felmerült az egy-sejt fehérjék, valamint a rovarlárvák felhasználásának lehetősége is, de ezek is csak bizonyos megkötésekkel alkalmazhatók. Hasonló a helyzet a zsírforrásokkal is, mert a korábban általánosan alkalmazott halolaj is csak korlátozottan áll rendelkezésre, ezért azt növényi olajokkal, vagy egyéb állati zsírokkal kell helyettesíteni. A halak takarmányainak optimális zsírtartalmára vonatkozóan csak becslések állnak rendelkezésre, de az jól ismert, hogy a halak különösen érzékenyek a többszörösen telítetlen zsírsavak hiányára. A halolajat ebben az esetben egyes növényi olajok mellett tengeri algákkal, valamint rovarokból származó zsírral lehet a leginkább eredményesen helyettesíteni.

SUMMARY

Mézes, M.: ALTERNATIVE PROTEIN AND FAT SOURCES IN FISH NUTRITION

Fishmeal production decreases all over the world, therefore there is a growing requirement for those alternative protein sources, which would be adequate replacements of fishmeal. The use of other animal protein sources is not allowed in the EU. For that reason, the use of plant protein sources spread even in fish nutrition. However, most of these plant protein sources contain anti-nutritive or toxic compounds, which limit their use. For instance, soybean contains some compounds which may provoke severe inflammatory processes in the gut. Additionally, the amino acid composition of other plant proteins is not demanded the requirement of fishes; therefore, those can be used only limited amounts and with amino acid supplementation. Nowadays, a new alternative is the possibility to use single-cell proteins, but those are expensive and can be used only with some limitations. There is the same situation for lipid sources because the generally used fish oil availability is also limited; therefore, those should be replaced with plant oils or other animal fats. The fat requirement of fishes is not precisely known; there are only predictions. However, it is known that fishes are susceptible to the deficiency of polyunsaturated fatty acids. The best sources for the replacement of fish oil are plant oils, marine microalgae, and insect oils.

A HALAK FEHÉRJEIGÉNYE ÉS A KIELÉGÍTÉS LEHETŐSÉGEI

A halak nyersfehérjeigénye az egyéb monogasztrikus állatfajokhoz viszonyítva több, így például a ragadozó fajoké 45-55%, míg a mindenevő fajoké 35-45% (Wilson, 2002). Az Európai Unió országaiban a gazdasági állatok, így a halak, takarmányaihoz felhasznált fehérje tekintetében jelentős hiány van, annak közel 70%-át importból szerzik be (Häusling, 2011).

A haltakarmányokban az elsődleges fehérjeforrás hosszú időn keresztül a halliszt volt, amelyet a későbbiekben igyekeztek extrahált szójadarával felváltani. Ennek oka az volt, hogy a világon előállított haltakarmányok mennyisége folyamatosan nőtt, a halliszt-előállítás mértéke viszont csökkent. A világon előállított összes halliszt mennyiségének így is 55%-át a haltakarmányozásban használják fel (FAO, 2012). A haltakarmány-előállítás volumenének növekedését az idézte elő, hogy a tógazdasági halhústermelés az elmúlt két évtizedben kétszeresére nőtt (FAO, 2018).

A halliszt, mint a haltakarmányok jelenleg ismert legjobb fehérjeforrása átlagosan 60-72% nyersfehérjét tartalmaz és annak aminosav-összetétele is általában megfelel a legtöbb halfaj szükségletének (Dersjant-Li, 2002). A halliszt kiváltásának egyik alternatívája lehet az egyéb állati eredetű fehérjék alkalmazása, így például az édesvízi halakból származó halliszt. Ennek a lehetőségnek azonban gátat szab, hogy jelenleg még érvényben van a 999/2001/EK rendelet 22. cikk (1) bekezdés a) pontja (EU, 2001), amely szerint „Azonos fajú állatokból származó állati eredetű fehérjével nem takarmányozhatók az élelmiszertermelés céljára tartott állatok”. A hazai szabályozás ennél még szigorúbb követelményeket határoz meg (VM rendelet 65/2012): „A hazánkban tartott halfajok takarmányozhatók tengeri halakból előállított halliszttal, de nem etethetők tógazdasági halakból előállított halliszttal, mivel ez utóbbiban már előfordulhat azonos fajba tartozó egyedből származó fehérje.”

A fentiek alapján a nagy fehérjeigénnyel bíró halfajok számára (1. táblázat) szükséges olyan alternatív fehérjeforrásokat keresni, amelyekkel a halak igénye kielégíthető.

1. táblázat

Néhány halfaj becsült nyersfehérje-igénye

Halfaj (1)	Növekedés nyersfehérje-igénye (2) (%)
Nilusi tilapia (<i>Tilapia nilotica</i>) (3)	30
Ponty (<i>Cyprinus carpio</i>) (4)	38
Sebes pisztráng (<i>Salmo trutta</i>) (5)	42
Amur (<i>Ctenopharyngodon idella</i>) (6)	41-43

Forrás: NRC (2011)

Table 1. Estimated crude protein requirement of some fish species

fish species (1); crude protein requirement of growth (2); Nile tilapia (3); common carp (4); brown trout (5); grass carp (6)

NÖVÉNYI FEHÉRJEFORRÁSOK

A halak takarmányozásában jelenleg számos növényifehérje-forrást alkalmaznak a halliszt kiváltására, de ezek számos állategészségügyi problémát vetnek fel, mert sem a nyersfehérje mennyiségében, sem aminosav-összetételükben nem felelnek meg teljes mértékben az adott halfaj igényeinek, emiatt alkalmazásuk során csökken a halak fertőző betegségekkel szembeni ellenálló képessége (Oliva-Teles, 2012). Emellett a növényi eredetű fehérjeforrások keményítő-, valamint antinutritívanyag-tartalma emésztőszervi problémákat is előidézhet (Francis és mtsai, 2001). A legfontosabb növényi eredetű fehérjeforrások az extrahált szójadara, az extrahált napraforgódara, az extrahált repcedara, a gyapotmagdara, a búzadara, a takarmányborsó, valamint egyes ipari melléktermékek, mint például a DDGS vagy a CGF. Ezek nyersfehérje-tartalma 15-48% között alakul (Francis, 2011). Az állati eredetű fehérjeforrások közül nagy nyersfehérje-tartalommal (50-70%) rendelkezik a rákliszt, a húsliszt és a vérliszt (NRC, 2011), valamint napjainkban előtérbe kerültek a rovarlárvákból készült lisztek (Henry és mtsai, 2018). Az egyéb fehérjeforrások nyersfehérje-tartalma eltérő (4-85%), ide tartoznak például a fűfélék, a levélfehérje, a szilázsok (pl. kukorica szilázs vagy fűszilázs), a hidrolizált élesztő, a zooplankton és fitoplankton szervezetek, valamint az egy-sejt fehérjék (Gasco és mtsai, 2018).

Látható, hogy az egyes fehérjeforrások jelentős eltérést mutatnak a nyersfehérje-tartalom tekintetében, továbbá az is kitűnik, hogy sem a növényi, sem az állati, sem az egyéb fehérjeforrások önmagukban nem képesek kielégíteni a halak nyersfehérje-igényét. Ehhez társul az a probléma is, hogy míg a hallisztfehérje emészthetősége általában több mint 95%, addig a növényi, állati és egyéb fehérjék emészthetősége halakban rendkívül eltérő lehet, 67-96% között változik. A rovarliszttel kapcsolatban további problémaként merül fel, hogy bár például a közönséges lisztbogár lárvájának nyersfehérje-tartalma jelentős (53,8%), de a nitrogénalapon történő nyersfehérje tartalom számítás esetén a rovarliszt kitintartalma azt túlértékeli (Ghosh és mtsai, 2017).

A nyersfehérje-tartalom mellett tekintettel kell lenni az alkalmazott fehérjeforrások aminosavtartalmára is (2. táblázat). A halliszt aminosav-tartalmával összehasonlítva például megállapítható, hogy a legtöbb jelenleg alkalmazott növényi eredetű fehérjeforrás a halak szükségletét ugyan részben kielégíti, aminosav-tartalmuk azonban elmarad a halliszttól.

2. táblázat

A halliszt, és néhány növényi eredetű fehérjeforrás aminosav-tartalma (g/kg)

Aminosav (1)	Halliszt (2)	Szójadara (3)	Napraforgó dara (4)	Gyapotmag dara (5)	DDGS
Lys	4,81	2,83	1,17	1,72	0,71
Met+Cys	2,34	1,31	1,35	1,37	1,05
Thre	2,64	1,73	1,28	1,36	1,02
Trp	0,66	0,61	0,54	0,48	0,24

Forrás: NRC (1998)

Table 2. The amino acid content of fishmeal and some plant protein sources (g/kg)
amino acid (1); fishmeal (2); soybean meal (3); sunflower meal (4); cottonseed meal (5)

A halliszt kiváltása növényi eredetű fehérjeforrásokkal számos egyéb hátránnyal is jár, mert ezek a halak számára antinutritív, sőt akár toxikus anyagokat, többek között glükozidokat, glükozinolátokat, fitátokat, tripszin inhibitorokat, mikotoxinokat is tartalmazhatnak (Francis és mtsai, 2001). Egyes növényi fehérjék, így például a szójafehérje egyes komponensei, pedig súlyos bélgyulladást idézhetnek elő például lazacoknál (Baeverfjord és Krogdahl, 1996), de pontynál is (Urán és mtsai, 2008). A tilápia takarmányozása során például szójadara hatására csökken a bélcsatornában a lizozim aktivitás, emiatt nő a betegségekkel szembeni érzékenység (Krogdahl és mtsai, 2000). Az antinutritív anyagok, így például a tripszin inhibitorok, mennyisége megfelelő eljárásokkal ugyan csökkenthető, de ezek hatására nemcsak az antinutritív anyagok, de más fehérjék és egyes esszenciális aminosavak mennyisége és emészthetősége is csökken.

Ahogy arra korábban már utalás történt, a halak takarmányozásában alternatív fehérjeforrásként a legnagyobb mennyiségben az extrahált szójadarát alkalmazzák, amely kétféle nyersfehérje-tartalommal kerül forgalomba. A kisebb (44%) nyersfehérje-tartalmú általában sajtolással készül, míg a nagyobb (48%) nyersfehérje-tartalmú szójadara héjmentesített, és oldószeres extrakcióval készül. Az antinutritív faktorokat, elsősorban a tripszin inhibitorokat, a szójadara esetében nedves hőkezeléssel csökkentik. Ennek alkalmazásával, halfajtól függően, a halliszt jelentős mértékben (30-75%) kiváltható, aminosav-kiegészítés mellett (Akiyama, 1988).

A takarmányborsó is felmerült, mint alternatív fehérjeforrás, bár annak nyersfehérje-tartalma (25%) lényegesen kisebb, mint a szójadaráé. Emellett fehérjetartalmának aminosav-összetétele, elsősorban alacsony lizin- és metionintartalma, miatt halak számára csak megfelelő aminosav-kiegészítéssel tekinthető megfelelő alternatívának (Allan és mtsai, 2000).

A csillagfűrt a borsónál nagyobb nyersfehérje-tartalmú (44%), de a fehérje lizin- és metionin-tartalma alacsony, a haltakarmányozás során tehát kiegészítésre szorul (Allan és mtsai, 2000). Toxikus hatású lupinalkaloid-tartalma miatt a haltakarmányokban legfeljebb 30%, de az alacsony alkaloidtartalmú változatok magja akár 50%-ban is alkalmazható.

Az extrahált repcedara is kedvező nyersfehérje-tartalmú (38%), a fehérje aminosav-összetétele azonban halak számára nem optimális. Toxikus hatású glükozinolát-tartalma halaknál is problémákat, pajzsmirigy működési zavarok, okozhat. Ezek mennyisége az alacsony glükozinolát-tartalmú változatoknál általában nem haladja meg a 15 $\mu\text{mol/g}$ mennyiséget (Gatlin és mtsai, 2007), amely még nem éri el a gazdasági állatok takarmányában javasolt maximális (42 mmol/kg) glükozinolát-tartalmat (EFSA, 2008).

Az ipari melléktermékek közül a DDGS (szárított szeszmoslék) keletkezik a legnagyobb mennyiségben a bioetanol gyártás során. Kukorica-alapanyag használata esetén 26-27%, lizinben és triptofánban szegény, fehérjét tartalmaz. A haltakarmányozásban jelenleg még nem terjedt el a felhasználása, amelyet az is jelez, hogy a világon előállított teljes mennyiségnek mindössze kb. 1%-át használják csak ilyen célra. A DDGS alkalmazását általában 15% mennyiségben javasolják a haltakarmányokban, de ennek mértéke akár 40%-ra is növelhető egyes halfajok, pl. afrikai harcsa, esetében. A DDGS fehérje aminosav-összetétele miatt alkalmazása esetén lizin- és triptofán-kiegészítés szükséges (Omar, 2011).

A DDGS felhasználását a bioetanol gyártáshoz felhasznált kukorica mikotoxin szennyezettsége is korlátozhatja, mert a mikotoxinok mennyisége a fermentáció hatására körülbelül háromszoros mennyiségre nő a DDGS-ben (*Hofstetter*, 2009).

A CGF (kukoricaglutén takarmány) szintén ipari melléktermék, amely a kukorica alapú keményítőgyártás során keletkezik. A haltakarmányozásában közepesen nagy nyersfehérje-tartalma miatt (18-23,5%) maximálisan 35% mértékben helyettesítheti a hallisztet, és alkalmazása során lizin- és triptofán-kiegészítést igényel (*Ayadi és mtsai*, 2012). A CGF felhasználását is korlátozhatja annak mikotoxin szennyezettsége (*Acosta-Aragón és mtsai*, 2010).

ÁLLATIFEHÉRJE-FORRÁSOK

Az állatifehérje-források közül a halliszt nyersfehérje-tartalma is eltérő. A legnagyobb (70%) nyersfehérje-tartalommal a heringliszt rendelkezik, amelyet a szardellaliszt (64%) és a menhaden liszt (60%) követ. A ráklisztek ugyanakkor ennél lényegesen kevesebb (30-45%) nyersfehérjét tartalmaznak (*Raamsdonk és mtsai*, 2012).

Az elmúlt években előtérbe került a rovarfehérje, mint alternatív fehérjeforrás. Az Európai Unió 893/2017 rendeletében (EU, 2017) hét rovarfaj (fekete katonalégy, házi légy, közönséges lisztbogár, alombogár, házi tücsök, csíkos tücsök, földi tücsök), illetve annak lárváját engedélyezte rovarliszt formájában a halak takarmányozásában. Ezek közül a leginkább ígéretes alternatívának a közönséges lisztbogár, a fekete katonalégy és a házi légy lárváját tartják, amelyek felhasználásával jelentős mennyiségű halliszt helyettesíthető (*Henry és mtsai*, 2018). Megjegyzendő, hogy természetes környezetben a rovarok és rovarlárva számos ragadozó és minden-
evő halfaj természetes táplálékai, így a halak emésztőrendszere azok hatékony hasznosításához kiválóan alkalmazkodott (*Henry és mtsai*, 2015), ebbe beleértve a kitin részleges lebontását is (*Rangaswamy*, 2006).

A rovarlisztek nyersfehérje-tartalma rendkívül eltérő (3. táblázat), mert azt befolyásolják a tartási és takarmányozási körülmények, valamint a rovarlárva fejlettsége is. A rovarlisztek nyersfehérje-tartalmának emészthetősége is függ az adott rovarfajtól, valamint a takarmányban lévő mennyiségtől, továbbá az etetett halfajtól is (*Nogales-Mérida és mtsai*, 2019). A hazai gazdasági jelentőséggel bíró halfajokra vonatkozóan azonban az irodalomban nem állnak rendelkezésre adatok.

3. táblázat

Egyes rovarlisztek nyersfehérje-tartalma

Rovar faj (1)	Nyersfehérje-tartalom (2) (g/kg)
Közönséges lisztbogár (3)	83,0 - 598,1
Fekete katonalégy (4)	307,5 - 588,0
Házilégy (5)	286,3 - 704,0
Házi tücsök (6)	88,0 - 641,0

Forrás: *Nogales-Mérida és mtsai* (2019)

Table 3. The crude protein content of some insect meals

insect species (1); crude protein content (2); yellow mealworm (3); black soldier fly (4); housefly (5); house cricket (6)

A rovarlisztek esszenciális/nem-esszenciális aminosav aránya 0,78 és 1,12 között alakul, amely akkor lenne ideális, ha annak értéke 1,00 körül lenne. A közönséges lisztbogár esetében az arány értéke 0,77-0,91, a fekete katonalégynél 0,73-0,95, a házi légynél 0,98-1,90, míg a házi tücsöknél 0,79-0,84 (Nogales-Mérida és mtsai, 2019). A rovarlárvák fehérjei ugyanakkor számos bioaktív peptidet tartalmaznak, amelyek egy része antimikrobiális tulajdonságokkal is rendelkezik (Yi és mtsai, 2014).

EGYÉB FEHÉRJEFORRÁSOK

Az elmúlt évtizedek egyik jelentős áttörése volt a gazdasági állatok takarmányozásában az ún. egy-sejt fehérje (baktérium fehérje) bevezetése. Ezek felhasználását a 767/2009/EK rendelet szabályozza (EU, 2009). Napjainkban erre a célra a *Methylococcus capsulatus*, *Alcaligenes acidovorans*, *Bacillus brevis* és *Bacillus firmus* fajokat használják, amelyek további előnye, hogy szénforrásként képesek a metánt, nitrogénforrásként pedig az ammóniát felhasználni (Aas és mtsai, 2006a). Gyakorlati tapasztalatok szerint a ragadozó halak, pl. szivárványos pisztráng (4. táblázat) számára lehet bizonyos mennyiségben alkalmazva kedvező hatású a takarmányértékesítés javítása révén (Aas és mtsai, 2006b). Alkalmazásával az állati/növényi fehérje 18-19%-a, mindenevő halaknál pedig 25-30%-a helyettesíthető (Aas és mtsai, 2006a).

4. táblázat

Egy-sejt fehérje (*Methylococcus capsulatus*) etetés hatása a takarmány-értékesítésre szivárványos pisztrángban

Egy-sejt fehérje a takarmányban (1) (%)	kg takarmány/kg súlygyarapodás (2)
0	1,24
20	1,23
50	1,26
100	1,29

Forrás: Aas és mtsai (2006b)

Table 4. Effect of single-cell protein (*Methylococcus capsulatus*) feeding on the feed conversion ratio in rainbow trout

single-cell protein in the feed (1); kg feed/kg weight gain (2)

Az élesztő nagy fehérje- (54%) és nukleotid- (6-20%) tartalmú takarmánykomponens, bár a fehérje aminosav-összetétele a legtöbb halfaj számára nem kielégítő. A halliszt akár 30%-ka is kiváltható élesztőfehérjével a termelési paraméterek csökkenése nélkül, ennél nagyobb mennyiség azonban már takarmány visszautasítást idéz elő (Ozório és mtsai, 2012). Az élesztő sejtfalának b-glükán-tartalma pedig halaknál is immunstimuláns hatású, így javítja a betegségekkel szembeni ellenálló képességet (Meena és mtsai, 2012). A haltakarmányozás gyakorlatában általában hidrolizált élesztőt alkalmaznak fehérjeforrásként.

ZSÍRFORRÁSOK A HALTAKARMÁNYOKBAN

A halak takarmányainak optimális zsírtartalmával, azaz az egyes halfajok zsír-szükségletével kapcsolatban csak kevés adat áll rendelkezésre. Általánosságban elfogadott, hogy a halak telítetlen, azon belül az n-3, zsírsavakkal szemben támasztott igénye nagy, bár az egyes halfajok között ebben a tekintetben jelentős különbségek vannak. A tengeri halak húsa például általában több n-3 zsírsavat tartalmaz (n-6/n-3 arány: 0,16), mint az édesvízi fajoké (n-6/n-3 arány: 0,37), ami természetesen azt jelenti, hogy a tengeri halak n-3 zsírsavakkal szemben támasztott igénye is nagyobb, mint az édesvízi halaké.

A haltakarmányok alapvető zsírforrása hosszú időn keresztül kizárólag a halolaj volt, amely amellet, hogy kiváló zsírforrás, hosszú szénláncú többszörösen telítetlen n-3 zsírsavakban is gazdag. A halolaj fő forrása elsősorban a kisméretű nyílt-tengeri hal volt, de ezek mennyisége a folyamatos és intenzív halászat következtében az elmúlt évtizedekben fokozatosan csökkent (*Froehlich és mtsai*, 2018). Emiatt a halolaj mennyisége vált a haltakarmány gyártás egyik fő limitáló tényezőjévé. A halolaj alternatívái lehetnek a növényi olajok, az állati zsírok, az algákból nyert olajok, a halfeldolgozás melléktermékei, valamint napjainkban a rovarlárvákból nyert zsír is (*Tocher*, 2015).

Az alternatív zsírforrások alkalmazása során a legnagyobb problémát a hosszú szénláncú többszörösen telítetlen zsírsavak, így az eikozapentaénsav (EPA; C20:5n-3), valamint a dokozahexaénsav (DHA; C22:6n-3) hiánya jelenti (*Tocher és mtsai*, 2019). Ezeket a zsírsavakat a halak részben a táplálékkal veszik fel, de számos halfaj képes azokat előanyagáiból is előállítani (*Tocher*, 2015). Emiatt az egyes halakból nyert olajok zsírsavösszetételében is jelentős különbségek vannak (5. táblázat). A növényi olajok viszont ezeket a többszörösen telítetlen zsírsavakat nem, nagyrészt csak azok előanyagát, az a-linolénsavat (C18:3n-3), tartalmazzák (5. táblázat). A növényi olajok közül repceolajból állítottak elő kémiai úton nagy EPA tartalmú zsírforrást kifejezetten haltakarmányozási célra (*Barber*, 2018). A tengeri mikroalgák ugyanakkor kiváló zsírsavforrások, mert nem csak n-3 zsírsavakban, de azok hosszú szénláncú formáiban is gazdagok (5. táblázat). Az egyes mikroalgák olajtartalmának zsírsavösszetétele azonban rendkívül eltérő, mert néhány faj, így például a *Schizochytrium* olajának DHA-tartalma az összes zsírsav 32,9%-a (*Ashford és mtsai*, 2000). Más fajok, így például a *Thraustochytrids*, az *Aurantiochytrids*, az *Oblongiochytrids* és az *Aplanochytrids* a DHA mellett jelentős mennyiségben termelnek eikozapentaénsavat (C20:5n-3) dokozapentaénsavat (C22: n-6 vagy C22:5n-3) vagy arachidonsavat (C20:4n-6) is (*Ratlidge és Lippmeier*, 2017). A mikroalgákat többszörösen telítetlen zsírsavforrásként, más fajok mellett, például a pontytakarmányok előállításához is felhasználják (*Alltech Coppens*, 2018).

A rovarliszt nem csupán fehérje-, de zsírforrásként is alternatív forrás lehet a haltakarmányozásban, bár annak zsírtartalmát az adott rovarfaj, vagy annak lárvája, és a feldolgozás is jelentős mértékben befolyásolja (8-35%), attól függően, hogy milyen zsírkivonási módszert alkalmaztak (*Gasco és mtsai*, 2018). A zsírtartalom kivonása nélkül például a közönséges lisztbogár lárvája 32-34,5% (*Ghosh és mtsai*, 2017), a fekete katonalégy lárvája 11,3-40,7%, a házilégy lárvája 7,1-25,3%, a házitücsök lárvája pedig 7,9-24,0% zsírtartalommal rendelkezik (*Nogales-Mérida*

5. táblázat

Egyes növényi olajok, a mikroalga és a halolaj fontosabb zsírsavainak aránya az összes zsírsav százalékában

Olaj (1)	Olajsav (2) (C18:1 n-9)	Linolsav (3) (C18:2 n-6)	α -Linolénsav (4) (C18:3 n-3)	EPA (C20:5 n-3)	DHA (C22:6 n-3)
Kukorica (5)	24,2	59,0	0,7	-	-
Szója (6)	22,8	51,0	6,8	-	-
Repce (7)	56,1	20,3	9,3	-	-
Fehérvirágú csillagfűrt (8)	53,3	22,0	8,7	-	-
Sárgavirágú csillagfűrt (9)	22,2	51,2	10,1	-	-
Mikroalga (10)	2,1	16,0	13,0	24,3	2,4
Menhaden	15,0	1,3	1,0	17,3	8,8
Tőkehal máj (11)	14,2	2,9	4,8	18,1	14,8
Lazac (12)	24,7	2,1	1,3	10,4	9,4
Herring	20,0	2,5	0,5	8,0	7,0

Forrás: Canvin (1965); Bureau és mtsai (2002); Shen és mtsai (2016); Khalid és mtsai (2019)

Table 5. Some important fatty acids as a percent of total fatty acids in several plant oils, microalgae and fish oil

oil (1); oleic acid (2); linoleic acid (3); α -linolenic acid (4); corn (5); soya (6); rapeseed (7); white lupine (8); yellow lupine (9); microalgae (10); cod liver (11); salmon (12)

és mtsai, 2019). A rovarlárvák és az azokból készült rovarlisztek nyerszsírtartalma azonban még azonos faj esetében is eltérő a tartási és takarmányozási körülményektől függően (6. táblázat), továbbá azt befolyásolja a lárvák fejlettségi állapota is (Pearincott, 1960). A zsírtartalom mellett lényeges a zsírsavösszetétel is, amelyet a rovarlárvák takarmányozására felhasznált anyagok jelentősen befolyásolnak (Gyenis és mtsai, 2012). Leírták például, hogy a fekete katonalégy lárvá zsírtalmán belül szarvasmarha vagy sertéstrágya takarmányon tartva nő a telített, de csökken a telítetlen, és különösen a többszörösen telítetlen zsírsavak aránya

6. táblázat

Egyes rovarlárvák zsírtartalmának zsírsav-összetétele (az összes zsírsav %-ban)

Zsírsav (1)	Fekete katonalégy (2)	Házilégy (3)	Lisztbogár (4)	Házitücsök (5)
Olajsav (C18:1 n-9) (6)	32,1	24,8	37,7	23,8
Linolsav (C18:2 n-6) (7)	4,5	19,8	27,4	38,0
α -Linolénsav (C18:3 n-3) (8)	0,2	2,0	1,2	1,2
EPA (C20:5 n-3)	0,03	-	-	-
DHA (C22:6 n-3)	0,006	-	-	-

Forrás: Makkar és mtsai (2014)

Table 6. Fatty acid composition of the fat of several insect larvae (percent of total fatty acids)

fatty acid (1); black soldier fly (2); housefly (3); yellow mealworm (4); house cricket (5); oleic acid (6); linoleic acid (7); α -linolenic acid (8)

(Makkar és mtsai, 2014). A rovarliszt zsírtartalma a haltakarmányozásban azért különösen fontos, mert viszonylag nagy arányban tartalmaz telítetlen zsírsavakat (Ravzanaadii és mtsai, 2012), bár a halak számára fontos többszörösen telítetlen zsírsavakat, például EPA-t vagy DHA-t csak egyes fajok, és azok is csak elenyésző mennyiségben (6. táblázat).

Az egyes rovarfajok lárváinak többszörösen telítetlen zsírsavtartalmán belül az n-3 zsírsavak mennyisége 0,2-2,2% között változik. A fekete katonalégy lárvájának n-3 zsírsavtartalma jelentősen megnövelhető, akár 6,2%-ra, amennyiben a lárvákat kizárólag tengeri algaliszttel takarmányozták (Sealey és mtsai, 2011). Az egyéb rovarlárvák n-3 zsírsavtartalma viszont a halliszthez, vagy a szójaolajhoz viszonyítva alacsony. Az n-6 zsírsavak mennyisége magasabb ugyan, mint a halolaj, de alacsonyabb, mint a szójaolaj értéke.

Az n-3/n-6 zsírsavak aránya a rovarlárvák zsírsavain belül általában alacsony, 0-0,5 között alakul (Paula és mtsai, 2017). Ennek az arálynak azért van jelentősége, mert abban az esetben, ha a halak takarmányában a halolajat teljes mértékben a rovarliszt zsírtartalmával váltják ki, akkor többszörösen telítetlen n-3 zsírsavhiány lép fel, amelynek hatására egyrészt romlanak a termelési eredmények, másrészt csökken a halak betegségekkel szembeni ellenálló képessége (Taşbozan és Gökçe, 2017).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- Aas, T. S. - Grisdale-Helland, B. - Terjesen, B. F. - Helland, S. J. (2006a): Improved growth and nutrient utilization in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets containing bacterial protein meal. *Aquaculture*, 259. 365-376.
- Aas, T. S. - Hatlen, B. - Grisdale-Helland, B. - Terjesen, B. F. - Bakke-McKellep, A. M. - Helland, S. J. (2006b): Effects of diet containing a bacterial protein meal on growth and feed utilization in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 261. 357-368.
- Acosta-Aragón, Y. - Rodríguez, I. - Pedrosa, K. (2010): Mycotoxin contamination in corn gluten meal. *BioMin World Mycotoxin Forum*, Salzburg (Abstract 69).
- Akiyama, D. M. (1988): Soybean meal utilization in fish feeds. *Korean Feed Association Conference*, Seoul, Korea.
- Allan, G. L. - Parkinson, S. - Booth, M. A. - Stone, D. A. J. - Rowland, S. J. - Frances, J. - Warner-Smith, R. (2000): Replacement of fishmeal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, 186. 293-310.
- Alltech Coppens (2018): Industrial fish feed. <https://www.alltechcoppens.com/en/industrial> (letöltve: 2020. június 12).
- Ashford, A. - Barclay, W. R. - Weaver, C. A. - Giddings, T. H. - Zeller, S. (2000): Electron microscopy may reveal structure of docosahexaenoic acid-rich oil within *Schizochytrium* sp., *Lipids*, 35. 1377-1386.
- Ayadi, F. Y. - Rosentrater, K. A. - Muthukumarappan, K. (2012): Alternative protein sources for aquaculture feeds. *J. Aquacult. Feed Sci. Nutr.*, 4. 1-26.

- Baeverfjord, G. - Krogdahl, A. (1996): Development and regression of soybean meal-induced enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. distal intestine: a comparison with the intestines of fasted fish. *J. Fish Dis.*, 19. 375-387.
- Barber, M. J. (2018): Cargill launches Latitude™, a sustainable, plant-based alternative source of Omega-3 for fish feed applications. <https://www.cargill.com/2018/cargill-launches-latitude> (letöltve, 2020. június 12).
- Bureau, D. P. - Gibson, J. - El-Mowafi, A. (2002): Review: Use of animal fats in aquaculture feeds. In: *Avances en Nutrición Acuícola V.*, Cruz-Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M.G., Simoes, N. eds., *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, Cancún, Quintana Roo, México.
- Canvin, D. T. (1965): The effect of temperature on the oil content and fatty acid composition of the oils of several oilseed crops. *Can. J. Botany*, 43. 63-69.
- Dersjant-Li, Y. (2002): The use of soy protein in aquafeeds. In: *Avances en Nutrición Acuícola VI.*, Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. eds., *Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuicola*, Cancún, Quintana Roo, México.
- EFSA (2008): Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the European Commission on glucosinolates as undesirable substances in animal feed. *EFSA J.*, 590. 1-76.
- EU (2001): Az Európai Parlament és a Tanács 999/2001/EK rendelete (2001. május 22) egyes fertőző agyvelőbántalma megelőzésére, az ellenük való védekezésre és a felszámolásukra vonatkozó szabályok megállapításáról.
- EU (2009): Az Európai Parlament és a Tanács 767/2009/EK rendelete (2009. július 13.) a takarmányok forgalomba hozataláról és felhasználásáról, az 1831/2003/EK rendelet módosításáról, valamint a 79/373/EGK tanácsi irányelv, a 80/511/EGK bizottsági irányelv, a 82/471/EGK, 83/228/EGK, 93/74/EGK, 93/113/EK és 96/25/EK tanácsi irányelv és a 2004/217/EK bizottsági határozat hatályon kívül helyezéséről.
- EU (2017): A Bizottság (EU) 2017/893 rendelete a 999/2001/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet I. és IV. mellékletének, valamint a 142/2011/EU bizottsági rendelet X., XIV. és XV. mellékletének a feldolgozott állati fehérjére vonatkozó rendelkezések tekintetében történő módosításáról.
- FAO (2012): The state of world fisheries and aquaculture 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO (2018): The State of World Fisheries and Aquaculture 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Francis, G. - Makkar, H. P. S. - Becker, K. (2001): Antinutritional factors present in plant-derived alternative fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199. 197-227.
- Froehlich, H. E. - Jacobsen, N. S. - Essington, T. E. - Clavelle, T. - Halpern, B. S. (2018): Avoiding the ecological limits of forage fish for fed aquaculture. *Nat. Sustain.*, 1. 298-303.
- Gasco, L. - Gai, F. - Maricchiolo, G. - Genovese, L. - Ragonese, S. - Bottari, T. - Caruso, G. (2018): Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. In: *Feeds for the Aquaculture Sector*, Springer, Berlin/Heidelberg, 1-28.
- Gatlin, D. M. - Barrows, F. T. - Brown, P. - Dabrowski, K. - Gaylord, T. G. - Hardy, R. W. - Herman, E. - Hu, G. - Krogdahl, Å. - Nelson, R. - Overturf, K. - Rust, M. - Sealey, W. - Skonberg, D. - Souza, E. J. - Stone, D. - Wilson, R. - Wurtele, E. (2007): Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquacult. Res.*, 38. 551-579.
- Ghosh, S. - Lee, S. M. - Jung, C. - Meyer-Rochow, V. (2017): Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.*, 20. 686-694.
- Gyenis, J. - Szendrő, Zs. - Szendrő, K. (2018): Rovarliszt a baromfitakarmányban. II. rész. *Baromfiágazat*, 18. 44-51.
- Häusling, M. (2011): Az EU-ban tapasztalható fehérjehiányról: mi a megoldás erre a régóta fennálló problémára? Az Európai Parlament Mezőgazdasági és Vidékfejlesztési Bizottság jelentése

- az Európai Parlamentnek (2010/2111 (INI)). <https://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A7-2011-0026+0+DOC+XML+V0//HU> (letöltés 2020. 04. 24)
- Henry, M. – Gasco, L. – Piccolo, G. – 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.
- Henry, M.A. – Gasco, L. – Chatzifotis, S. – Piccolo, G. (2018): Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Dev. Comp. Immunol.*, 81. 204–209.
- Hofstetter, U. (2009): Results of a survey on the occurrence of mycotoxins in DDGS. Poultry Science Association Annual Meeting, Raleigh, NC, (Abstract)
- Khalid, I. I. – Elhardallou, S. B. (2019): Physico-chemical properties and fatty acids composition of bitter and sweet lupine seed. *Orient. J. Chem.*, 35. 1148-1153.
- Krogdahl, A. – Bakke-McKellep, A. M. – Røed, K. H. – Baeverfjord, G. (2000): Feeding Atlantic salmon *Salmo salar* L. soybean products: effects on disease resistance (Furunculosis), and lysozyme and IgM levels in the intestinal mucosa. *Aquacult. Nutr.*, 6. 77-84.
- Makkar, H. P. S. – Tran, G. – Heuzé, V. – Ankers, P. (2014): Review: State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 197. 1-33.
- Meena, D. K. – Das, P. – Kumar, S. – Mandal, S. C. – Prusty, A. K. – Singh, S. K. – Akhtar, M. S. – Behera, B. K. – Kumar, K. – Pal, A. K. – Mukherjee, S. C. (2013): Beta-glucan: an ideal immunostimulant in aquaculture (a review). *Fish Physiol. Biochem.*, 39. 431-457.
- Nogales-Mérida, S. – Gobbi, P. – Józefiak, D. – Mazurkiewicz, J. – Dudek, K. – Rawski, M. – Kieronczyk, B. – Józefiak, A. (2019): Insect meals in fish nutrition. *Rev. Aquacult.*, 1. 1080–1103.
- NRC (1998): Nutrient requirements of swine. The National Academy Press, Washington DC.
- NRC (2011): Nutrient requirements of fish and shrimp. The National Academy Press, Washington DC.
- Oliva-Teles, A. (2012): Nutrition and health of aquaculture fish. *J. Fish Dis.*, 35. 83–108.
- Omar, S. S. (2011): The potential of distillers dried grains and solubles (DDGS) for inclusion in aquafeeds. *Internat. AquaFeed*, May-June, 16-18.
- Ozório, R. O. A. – Portz, L. – Borghesi, R. – Cyrino, J. E. P. (2012): Effects of dietary yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) supplementation in practical diets of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animals*, 2. 16-24.
- Paula, A. – Frederich, M. – Megido, R. C. – Alabi, T. – Malik, P. – Uyttenbroeck, R. – Francis, F. – Blecker, C. – Haubruge, E. – Lognay, G. – Danthine, S. (2017): Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and *Tenebrio molitor* L. larvae. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 20. 337-340.
- Pearincott, J. V. (1960): Changes in the lipid content during growth and metamorphosis of the house fly *Musca domestica* Linnaeus. *J. Cell. Comp. Physiol.*, 55. 167–174.
- Raamsdonk, L. D. W. – Margry, R. J. – van Kaathoven, R. G. C. – Bremer, M. G. (2012): Animal proteins in aqua feed. RIKILT, Nederland
- Rangaswamy, C. P. (2006): Physiology of digestion in fish and shrimp. In: Training manual on shrimp and fish nutrition and feed management, Ed: Ali, S. A., Central Institute of Brackish Water Aquaculture, India, 2–9.
- Ratledge, C. – Lippmeier, C. (2017): Microbial production of fatty acids. In: Fatty acids: Chemistry, synthesis, and applications, Ed: Ahmad, M. U., AOCS Press., USA, 237-278.
- Ravzanaadii, N. – Kim, S. – Choi, W. H. – Hoi, W. H. – Hong, S. – Kim, N. J. (2012): Nutritional value of mealworm, *Tenebrio molitor*, as food source. *Int. J. Industr. Entomol.*, 25. 93-98.
- Sealey, W. M. – Gaylord, T. G. – Barrows, F. T. – Tomberlin, J. K. – McGuire, M. A. – Ross, C. – 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.
- Shen, P. I. – Wang, H. T. – Pan, Y. F. – Meng, Y. Y. – Wu, P. C. – Xue, S. (2016): Identification of characteristic fatty acids to quantify triacylglycerols in microalgae. *Front. Plant Sci.*, <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00162>

- Taşbozan, O. - Gökçe, M. A. (2017): Fatty acids in fish. In: Fatty acids, Catala, A. ed., InTech Open, Rijeka, 143-159.
- Tocher, D. R. (2015): Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids and aquaculture in perspective. *Aquaculture*, 449. 94–107.
- Tocher, D. R. - Betancor, M. B. - Sprague, M. - Olsen, R. E. - Napier, J. A. (2019): Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: bridging the gap between supply and demand. *Nutrients*, 11. 89. <https://doi.org/10.3390/nu11010089>.
- Urán, P. A. - Gonçalves, A. A. - Taverne-Thiel, J. J. - Schrama, J. W. - Verreth, J. A. J. - Rombout, J. H. (2008): Soybean meal induces intestinal inflammation in common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Fish Shellfish Immun.*, 25. 751-760.
- Yi, H. Y. – Chowdhury, M. – Huang, Y. D. – Yu, X. Q. (2014): Insect antimicrobial peptides and their applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 98. 5807–5822.
- VM rendelet 65/2012. (VII. 4.) a takarmányok előállításának, forgalomba hozatalának és felhasználásának egyes szabályairól.
- Wilson, R. P. (2002): Amino acids and proteins. In: Fish Nutrition, Eds: Halver, J. E., Hardy, R.W. , Academic Press, San Diego, 144–175.

Érkezett: 2020. július

Szerző címe: Mézes M.

Szent István Egyetem, Gödöllői Campus

Author's address: Szent István University, Gödöllő Campus

H-2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.

mezes.miklos@szie.hu