

Insects as animal feed

Literature review

N. Hetényi

Állatorvostudományi Egyetem,
Állattenyésztési, Takarmányozástani
és Laborállat-tudományi Tanszék,
H-1078 Budapest, István u. 2.

*e-mail cím: Hetenyi.Nikoletta@univet.hu

Ízeltlábúak a takarmányozásban

Irodalmi összefoglaló

Hetényi Nikoletta

TAKARMÁNYOZÁSTAN

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző jelen közleményében összefoglalja a tenyésztett rovarokat tartalmazó takarmányok etetésének hatásait az újabb kutatások tükrében. Az Európai Unióban 2017. június 1-től – az élelmiszertermelő állatok közül elsőként – víziállatok számára is engedélyezett a tenyésztett rovarokból és azok lárváiból nyert feldolgozott állati fehérje felhasználása (1069/2009/EK). Hidrolizált formában azonban egyéb gazdasági haszonállatokkal is etethető a kérődzők kivételével. A tilalom nem vonatkozik az élő rovarra és a rovarokból származó olajra. Az eredmények alapján baromfi, sertés és hal számára a szója, ill. a halliszt megfelelő alternatívái lehetnek a rovarlisztek.

SUMMARY

Insects as a sustainable protein source have a growing importance as protein requirement of the world is increasing. Insects and their derived products – excluding live insects – that are intended to be used in animal feed are considered as animal by-products and allowed for use only in the feed of aquatic- and pet animals. For other farm animals – with the exception of ruminants – only the hydrolysed form can be given. According to the recommendation of the European Food Safety Authorities the following species are eligible for farming purposes (EU Regulation No 2017/893): black soldier fly (*Hermetia illucens*), common housefly (*Musca domestica*), yellow mealworm (*Tenebrio molitor*), lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*), house cricket (*Acheta domestica*), banded cricket (*Gryllodes sigillatus*) and field cricket (*Gryllus assimilis*). It should be noted that the feed ban does not apply to whole live insects nor to insect derived fats. According to the recently conducted studies insect meal can replace fishmeal, but in most of the species not completely. As a negative effect, the omega-3 fatty acid content of the fish meat decreases with the use of insect meals. In broiler chickens insect meal may replace other plant or animal origin proteins completely while in laying hens such high level of application reduces the production. Most of the studies suggest 50% instead of complete replacement in order to keep the high level of egg production and desired egg size.

Insects seem to have several positive health effects, such as the antibacterial proteins which have an enhancing effect on the immune system. The chitin and lauric acid content – which is very high in black soldier fly larvae – have positive effects on the gut microbes by reducing the presence of potentially pathogenic bacteria and increasing the beneficial ones.

Whole insects, their preparations and other derived products are qualified as 'novel food' under EU Regulation 2015/2283, which is applicable from 1 January 2018.

Előrejelzések szerint a 2012-es értékhez képest az állati eredetű fehérje iránti igény világszinten 70–80%-kal fog emelkedni 2050-re. Ennek biztosítása a jelenlegi hagyományos termeléssel, ill. növényi eredetű fehérjékkel nem megoldható (31). Az ízeltlábú eredetű fehérjetermelés fenntarthatóbb a jelentősen kisebb területigény (pl: 1 kg marhahúshoz nagyságrendileg 200 m², míg 1 kg tücsök megtermeléséhez 15 m² szükséges), kisebb vízfelhasználás, jobb takarmányértékesítés és gyorsabb szaporodás miatt. Emellett az üvegházhatású gázok termelődése is sokkal kisebb, mint a szarvasmarha- vagy sertéságazat esetében (11, 37, 42, 51). Számos faj esetében kidolgozták már a nagyüzemi tartástechnológiát (1. és 2. ábra).

Drámaian növekszik világszinten az állati eredetű fehérje iránti kereslet



1. ÁBRA. Fekete katonalegyek (*Hermetia illucens*) peterakás közben (51)

FIGURE 1. Ovipositing black soldier flies (*Hermetia illucens*; 51)



2. ÁBRA. Felületnövelés tücsök tartásánál

FIGURE 2. Surface area increase in cricket keeping

Az EU-ban a rovarok és rovar eredetű termékek takarmányozási célú felhasználása szigorúan szabályozott

Az összefoglalóban ismertetett kísérletekben a szója ill. a halliszt kiváltása volt a cél valamilyen ízeltlábú eredetű fehérjeforrással. A tápok a kontrollhoz képest azonos energia és fehérjetartalmúak voltak.

A ROVAROK FELHASZNÁLÁSI FORMÁI

Az egész, élő rovarok takarmányozási célú alkalmazása erősen korlátozott, elsősorban extenzíven tartott állományokban alkalmazható. Az egész, de elölt (pl.: fagyasztással) rovarok már a nagyüzemi technológiába is felhasználhatók lennének, mert a testek szárítása és darálása lehetővé teszi, hogy bármilyen pelletált takarmány összetevői legyenek. A nagy zsírtartalom (szárazanyagban [sz.a.] 25–50%) az avasodás veszélye miatt korlátozza a hosszabb távú raktározást. Ezért a testekből kivonható az olajtartalom, ami takarmány-összetevőként önállóan is használható. A fennmaradó fehérjekivonat már az avasodás veszélye nélkül tárolható (51). Ez a termékforma még tartalmazza a rovarok külső kitinvázát ami monogasztrikus állatok számára korlátozottan, ill. nem emészthető. Ennek eltávolításával növelhető a fehérje emészthetősége, ami történhet alkalikus kivonással, kitinbontó baktériumok hozzáadásával, ill. a lebontható kémiai vagy enzimatikus módszerekkel, ez azonban jelentősen emeli a költségeket (15, 51). A kivont kitinpor is megvásárolható külön termékként, ami kis koncentrációban kedvező hatású is lehet. Erről részleteiben a speciális élettani hatásokról szóló fejezetben lesz szó.

JOGI SZABÁLYOZÁS

Az Európai Unióban a rovarok és rovar eredetű termékek takarmányozási célú felhasználása szigorúan szabályozott és jelenleg a gazdasági használlatok számára még erősen korlátozott. Az egész, élő rovar etethető – a kérődzők kivételével – bármilyen fajjal, tehát élelmiszertermelő állatokkal is, amennyiben az adott tagállam illetékes hatósága ezt engedélyezi. Ennek oka, hogy ezek nem minősülnek állati mellékterméknek így felhasználásukat nem szabályozza az 1069/2009/EK rendelet.

Az egész, elölt (pl.: szárított és darált) rovarok esetében a szabályozás szigorúbb. Ennek oka, hogy ezek és egyéb nem gerinces állatok 3. kategóriájú állati mellékterméknek minősülnek (1069/2009/EU, 10. cikk). A rovarokból nyert, feldolgozott állati fehérje előállítását kizárólag tenyésztett rovarokból nyert termékek előállításával foglalkozó üzemekben végezhető. Társállatok, prêmes, állatkerti, cirkuszi és kedvtelésből tartott állatok valamint 2017. június 1-től – használlatok közül elsőként – vízi állatok számára engedélyezett a tenyésztett rovarokból és azok lárváiból nyert feldolgozott állati fehérje és az ilyen fehérjét tartalmazó összetett takarmány etetése (56/2013/EU, 2017/893/EU).

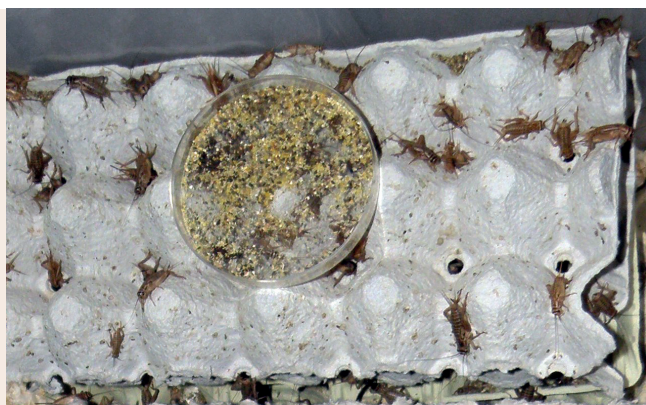
Vízi állatnak minősülnek (2006/88/EK irányelv 3. cikke alapján): az állkapocs nélküli halak (*Agnatha*) főosztályába, valamint a porcoshalak (*Chondrichthyes*) és csontvértes halak (*Osteichthyes*) osztályába tartozó halak, a puhaestűek (*Mollusca*) törzsbe tartozó állatok és a rákok (*Crustacea*) altörzsbe tartozó rákfélék.

Az Európai Élelmiszer-biztonsági Hatóság kockázatelemzése alapján a következő rovarfajok azonosíthatók olyan tenyésztett rovarfajokként, amelyek esetében teljesülnek a takarmányozási célú rovartenyésztésre vonatkozó biztonsági feltételek (2017/893/EU): fekete katonalégy (*Hermetia illucens*), házilégy (*Musca domestica*), közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*, 3. ábra), penészevő gabonabogár (*Alphitobius diaperinus*), házi tücsök (*Acheta domesticus*, 4. ábra), sávós tücsök (*Gryllodes sigillatus*) és banántücsök (*Gryllus assimilis*). A nem élelmiszertermelő fajokkal (pl.: társállatok) etethető egyéb rovarok is.



3. ÁBRA. A közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*)

FIGURE 3. Mealworm larvae (*Tenebrio molitor*)



4. ÁBRA. Felnőtt és növendék házi tücsök (*Acheta domesticus*)

FIGURE 4. Adult and nymph house cricket (*Acheta domesticus*)

Bizonyos feltételekkel, hidrolizált formában ezek a fehérjék, kérődzők kivételével, élelmiszertermelő állatoknak is adhatók

Fontos kiemelni, hogy *hidrolizálás* után ezek a fehérjeforrások – kérődzők kivételével – adhatók vízi állatok mellett egyéb élelmiszertermelő állatoknak is, amennyiben az előállítási technológia megfelel az előírásoknak (999/2001/EK, 2002/32/EK, 183/2005/EK, 1069/2009/EU, 142/2011/EU).

Nem szükséges külön engedély a tenyésztett rovarokból nyert feldolgozott állati fehérjét tartalmazó összetett takarmányokból teljes értékű takarmányok előállításához a keverőüzemben, ha ez az összetett takarmány 50%-nál kevesebb nyersfehérjét tartalmaz (2017/893/EU).

A rovarokból kivont *olaj* felhasználható társállatok mellett a haszonállatok takarmányában is (2017/1017/EU), mert nem minősül állati mellékterméknek. Ez az eddigi vizsgálatok alapján alkalmas a szójaolaj és egyéb növényi olajok teljes mértékű kiváltására.

Az EU szigorúan szabályozza a takarmányozási célra előállított *rovarok táplálását* is, amelyek haszonállatoknak tekintendők (1069/2009/EK), ezért esetükben a 999/2001/EK rendeletben foglalt takarmányozási tilalomra vonatkozó szabályok, valamint az 1069/2009/EK rendeletben foglalt, az állati takarmányozásra vonatkozó szabályok alkalmazandók. Tehát tilos kérődzőkből származó állati fehérjét, étkezési hulladékot, hús- és csontlisztet, trágyát és emberi ürüléket felhasználni. Jelenleg csak a gazdasági haszonállatok számára is engedélyezett alapanyagok használhatók.

TÁPLÁLÓANYAG-TARTALOM

A megadott nyersfehérje-tartalom értékeit a kitin és egyéb anyagok miatt kb. 20%-kal csökkenteni kell

Az aminosav-összetétel hasonló a szója-, ill. a hallisztfehérjéjéhez

A rovarok táplálóanyag-tartalmát jelentősen befolyásolja a faj és a fejlődési stádium (1. táblázat). A nyersfehérje 30–60% sz.a.-ban és jellemzően a lárvákban kisebb. Ez nagyon kedvezőnek tűnik, azt azonban fontos megjegyezni, hogy az ízeltlábúak, különösen a kitin miatt 11–26%-ban tartalmaznak nem fehérje eredetű nitrogénforrást (nonprotein nitrogen = NPN; 19). Ezért a legújabb mérési eredmények alapján a nyersfehérje meghatározásnál használt nitrogéntartalom szorzata 6,25-tel túlbecsüli a monogasztrikus állatok számára hasznosítható fehérjetartalmát (19). Így a jelenlegi irodalmi adatok sem tükrözik megfelelően a fehérje mennyiségét. Mérések alapján a konvertáló faktor ízeltlábúaknál teljes test esetében $4,76 \pm 0,09$, tisztított fehérjekészítménynél $5,6 \pm 0,39$. Látható, hogy a kitintartalom kivonása után is tartalmaznak NPN-anyagokat, mint a nukleinsavak, ammónia vagy húgysav. Ez azt jelenti, hogy az irodalmi adatokban szereplő értékeket nagyságrendileg 20%-kal kell csökkenteni (19). Felmerülhet a kérdés, hogy ez az új megközelítés mennyiben befolyásolja az elmúlt években közölt tudományos eredményeket. Egy korábban megjelent, baromfival végzett kísérlet átszámolása után egyértelműen kimutatták a liszt kukac fehérjetartalmának túlbecsülését (43), de összességében az emészthetőségi adatok és kedvező élettani hatások nem változtak (36). Ettől függetlenül a jövőben elvégzett kísérleteknél már mindenképpen az új konvertáló faktortal kell számolni, hogy elkerüljük a kis fehérjebevitelt. A 2. táblázat tartalmazza a gyakorlati szempontból jelentős fajok és fejlődési stádiumok aminosav-összetételét. Látható, hogy ez nagyon hasonló a szója-, ill. a hallisztfehérje aminosav-összetételéhez és jó lizinforrások, ami az egyik legfontosabb limitáló aminosav (31). A háziállatok számára a rovarlisztek elsődleges limitáló aminosavai a metionin és a cisztein, kivéve sertés és harcsafélék számára a házi tücsköt, itt az előbbinek triptofán-, az utóbbinak treonin- és triptofán-kiegészítés szükséges (51).

A lárvák nyerszsírtartalma a sz.a.-ban 30–50% között mozog, míg a kifejlett rovarokban ez jelentősen kisebb, 20–30% (13, 31, 42). A zsírsavösszetétel sem egységes és a fajon és fejlődési stádiumon kívül a rovar táplálása is befolyásolja (3. táblázat). A fekete katonalégy (FKL) laurinsavban gazdag. A liszt kukac, a házilégylárva és a kifejlett házi tücsök jellemzően palmitinsavat, olajsavat és linolsavat tartalmaznak.

A rovarok és lárvák külső vázát alkotó kitin (N-acetyl- β -D-glükózamin polimer) nitrogénben gazdag poliszacharid, NPN-forrásnak tekinthető és szerkezetileg hasonlít a cellulózhoz. A rovarok hámsejtjeinek jellegzetessége, hogy kifelé egy vékony, látszólag élettelen (nem sejtes szerkezetű) réteget, kutikulát választanak ki. Ez a rákfélékben a fehérje és az ásványi anyagok (főleg kalcium) mátrixa, míg rovaroknál fehérje, zsírok és egyéb összetevők alkotják, ezért az utóbbiak emészthetősége jobb (12). Korábbi feltételezések szerint ez a szerkezet csökkenti az emésztőenzimek (pl.: kitináz és fehérjebontók) hatékonyságát, a táplálóanyagok hozzáférhetőségét és ezen keresztül rontja a zsírok és a fehérjék emészthetőségét is. Ennek ellentmond, hogy rákféléket, ill. rovarokat tartalmazó takarmányok etetésekor javult a táplálóanyagok emészthetősége (15). A rovarok kitintartalma egy kg sz.a.-ban 11,6–137,2 mg között változik – összes nitrogén 1,0–7%-át tartalmazza – és mennyisége nincs összefüggésben a külső váz keménységével, ill. puhaságával, tehát pl. azonos a gyászbogárlárva és a kifejlett tücsök esetében (12).

A rovarok ásványianyag-tartalma gyakorlati szempontból kevésbé jelentős, hiszen azokat takarmánykiegészítők formájában könnyű biztosítani. Kiemelhető a kicsi kalcium-tartalom (kivéve FKL), ill. kedvezőtlen kalcium-foszfor arány (13, 31).

1. TÁBLÁZAT. A takarmányként felhasználható rovarok táplálékanyag-tartalma (sz.a. %; 31)**TABLE 1.** Nutritional value of insect as feeds (% dry matter; 31)

	NyF	NyZs	NyH	BE (MJ/kg sz.a.)	Ca	P
FKL-lárva ¹	42,1 ± 1,0	26,0 ± 8,3	20,6 ± 6,0	22,1	7,5 ± 1,7	0,9 ± 0,4
Házilégylárva ²	50,4 ± 5,3	18,9 ± 5,6	10,1 ± 3,3	22,9 ± 1,4	0,5 ± 0,2	1,6 ± 0,5
Liszt kukac ³	52,8 ± 4,2	36,1 ± 4,1	3,1 ± 0,9	26,8 ± 0,4	0,3 ± 0,2	0,8 ± 0,4
Házi tücsök (kifejlett) ⁴	63,3 ± 5,7	17,3 ± 6,3	5,6 ± 2,4	-	1,0 ± 0,5	0,8 ± 0,1

FKL = fekete katonalégy, NyF = nyersfehérje (crude protein), NyZs = nyerszsír (ether extract), BE = bruttó energia (gross energy), ¹black soldier fly larva, ²house fly maggot, ³mealworm, ⁴adult house cricket

2. TÁBLÁZAT. Rovarok aminosav-tartalma a halliszthez és a szójáéhoz viszonyítva (31, 51)**TABLE 2.** Amino acid composition of insects compared to fishmeal and soymeal (31, 51)

Aminosav	FKL-lárva ¹	Házilégylárva ²	Liszt kukac ³	Házi tücsök, kifejlett ⁴	Halliszt ⁵	Szója ⁶
g/16 g nitrogén						
MET	2,1	2,2	1,5	1,4	2,7	1,3
CYS	0,1	0,7	0,8	0,8	0,8	1,4
VAL	8,2	4,0	6,0	5,1	4,9	4,5
ILE	5,1	3,2	4,6	4,4	4,2	4,1
LEU	7,9	5,4	8,6	9,8	7,2	7,6
PHE	5,2	4,6	4,0	3,0	3,9	5,2
TYR	6,9	4,7	7,4	5,2	3,1	3,3
HSS	3,0	2,4	3,4	2,3	2,4	3,0
LYS	6,6	6,1	5,4	5,4	7,5	6,2
THR	3,7	3,5	4,0	3,6	4,1	3,8
TRP	0,5	1,5	0,6	0,6	1,0	1,3
SER	3,1	3,6	7,0	4,6	3,9	5,2
ARG	5,6	4,6	4,8	6,1	6,2	7,6
GLU	10,9	11,7	11,3	10,4	12,6	19,9
ASP	11,0	7,5	7,5	7,7	9,1	14,1
PRO	6,6	3,3	6,8	5,6	4,2	5,9
GLY	5,7	4,2	4,9	5,2	6,4	4,5
ALA	7,7	5,8	7,3	8,8	6,3	4,5

FKL = fekete katonalégy, ¹black soldier fly larva, ²house fly maggot, ³mealworm, ⁴adult house cricket, ⁵fishmeal, ⁶soymeal

3. TÁBLÁZAT. Rovarak zsírsav-összetétele (% zsírsav; 31)

TABLE 3. Fatty acid composition of insects (% fatty acid; 31)

összetevők, % zsírsav	FKL-lárva ¹	Házilégylárva ²	Lisztukac ³	Házi tücsök kifejlett ⁴
Telített zsírsavak				
Laurinsav, 12:0	21,4–49,3	-	0–1	-
Mirisztinsav, 14:0	2,9–6,9	4,1–6,8	2,3–6,4	0,6–0,7
Palmitinsav, 16:0	10,5–16,1	26,7–38,0	16,1–28,7	21,9–24,9
Sztearinsav, 18:0	2,8–5,7	2,3–4,4	2,3–3,1	9,3–10,4
Egyszeresen telítetlen zsírsavak				
Palmitoleinsav, 16:1n-7	3,5	6,1–25,9	2,8–6,1	1,1–1,4
Olajsav, 18:1n-9	11,8–32,1	21,8–27,7	27,7–43,3	23,0–24,6
Többszörösen telítetlen zsírsavak				
Linolsav, 18:2n-6	3,6–4,5	16,4–23,1	23,1–31,0	36,5–39,5
Linolénsav, 18:3n-3	0,08–0,74	2,0	1,1–1,4	1,0–1,4
Eikozapentaénsav, 20:5n-3	0–1,7	-	-	-
Dekozapentaénsav, 22:6n-3	0–0,6	-	-	-

¹black soldier fly larva, ²house fly maggot, ³melaworm, ⁴adult house cricket

SPECIÁLIS ÉLETTANI HATÁSOK

A rovarok számos kedvező élettani hatású anyagot tartalmaznak

A kitin prebiotikumnak tekinthető, sertésben és baromfiban fokozza a növekedés ütemét

Az újabb vizsgálatok alapján a rovarok számos kedvező élettani hatású anyagot tartalmaznak. Az egyik ilyen a *kitin* (7, 14, 24, 26, 27), ami állatfajtól függően a vékonybélben és a gyomorban nem, ill. nagyon korlátozottan emészthető. Ezért a vastagbél mikrobái fermentálják így itt prebiotikumként funkcionál. Bakteriosztatikus hatású számos Gram-negatív baktériumra nézve (pl.: *Vibrio cholerae*, *Shigella dysenteriae*, *Bacteroides fragile*; [6, 14, 15, 27]). Gyászbogárlárva-liszttel és garnélarákkal táplált brojlercsirkék vakbelében csökkent az *E.coli* és a *Salmonella* mennyisége és emelkedett a vér IgG- és IgA-szintje is (18, 26). A fermentáció végtermékei az illózsírsavak, amelyek a bélhámsejtek és a bélflóra hasznos baktériumai (pl.: *Lactobacillus*) számára tápanyagok, különös tekintettel a vajsavra (7, 18, 31). Sertésben és baromfiban a kitin fokozza a növekedés ütemét, javítja a táplálóanyagok emészthetőségét és a bélflóra összetételét, valamint csökkentheti a malacok választáskörüli hasmenésének előfordulását (22, 53). Halakban is megállapították a kitin bélflóra gyakorolt kedvező hatását, azon keresztül, hogy a hasznos baktériumok növekedését serkenti (31) és immunstimuláló (16, 54). Hasonló hatású az 1%-os kitin- vagy kitozántartalmú kivonat etetése is (14). A garnélarákból származó tisztított kitinpor (83,9% kitintartalom) csökkenti a brojlercsirke bélrendszerében termelődött ammónia mennyiségét, de a bélflóra összetételére nincs hatása (26).

Az újgenerációs szekvenciameghatározási (pl.: 16s-RNS) módszereknek köszönhetően a bélflórát érintő mélyebb változásokat is nyomon lehet követni. Az FKL-kiegészítésben részesült brojlercsirkékben a *Bacillaceae* és *Rhodobacteraceae* családba tartozó baktériumok relatív mennyisége csökkent a vakbélflórában. Ennek hátterében az állhat, hogy a *Bacillaceae* családon belül

50%-ot a *Bacillus thuringiensis* tesz ki és az FKL ez ellen ható antibakteriális fehérjéket termel (35).

Az FKL esetében a kitin mellett a rövid szénláncú zsírsavak, különösen az antibakteriális hatású laurinsav is hozzájárul a bélflórára gyakorolt kedvező hatáshoz (4, 26). Mivel a többi rovarfaj jellemzően más zsírsavakban gazdag, ilyen hatással csak ennél a fajnál lehet számolni.

Az ízeltlábúakban található kisméretű, kationos fehérjéknek (*antibakteriális fehérjék*) 4 típusa ismert (α -helicalis peptidek [pl.: cecropin], cysteinben gazdag peptidek [pl.: defensin], prolinban gazdag peptidek [pl.: drosocin] és glycinben gazdag fehérjék [pl.: attacin]), amelyek gomba-, baktérium-, vírus- és parazitaellenes tulajdonságúak. Ezek esetében a rezisztencia kialakulásának kockázata kicsi, ezért a jövőben az antibiotikumok alternatívái lehetnek. A célsejt membránjában ioncsatornákat és transzmembrán pórusokat alakítanak ki, amellyel károsítják azt (8, 23).

TAKARMÁNYBIZTONSÁG

Az ízeltlábúak hajlamosak a nehézfémek, különösen a kadmium felhalmozására

Takarmánybiztonsági és -higiéniai szempontból kiemelhető, hogy az ízeltlábúak hajlamosak a nehézfémek, különösen a kadmium felhalmozására (50). Az EU-ban előállított termékek esetében a szigorú előírások miatt ezzel nem kell számolni, az Ázsiából származóknál viszont a szennyezettebb környezet miatt felmerülhet ez a probléma. Hasonlóan igaz ez a baktériumtartalomra (pl.: *E. coli*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter*), ezért az utóbbi beszerzési források esetében javasolt a hőkezelés. Az állatokra, ill. emberre nézve potenciálisan kórokozó baktériumok a rovarokban nem képesek szaporodni, de fertőzésforrást jelenthetnek nem megfelelő hőkezelés esetén, különösen akkor, ha trágyán szaporított egyedekről van szó (50, 51). Irodadalmi adatok alapján a mikotoxin-szennyezettség nem jelent állategészségügyi kockázatot (49). Egyéb, a rovarok által termelt (pl.: alkének, benzokionok), ill. a rovar által elfogyasztott növényből származó (pl.: cianoglikozidok) vegyületek jelenlétére is figyelmet kell fordítani (52), de jelen ismereteink szerint ezek gyakorlati jelentősége kicsi.

ROVAROK SZEREPE A HALAK TAKARMÁNYOZÁSÁBAN

A legtöbb kísérleti eredmény a halakról áll rendelkezésre. A mindenevő és ragadozó halak rendelkeznek kitináz-aktivitással, mivel természetes étrendjük részét képezik az ízeltlábúak (15). A halak aminosavigényét leginkább a kétszárnyúak rendjébe tartozó (*Diptera*, pl.: FKL) rovarok fedezik (42). Az FKL-el és a *lisztkekaccal* végzett kísérletek eredményeit a 4. táblázat foglalja össze. Az ismertetett kísérletek mindegyikében a takarmány halliszttartalmát váltották ki a rovarokkal. Az egyes halfajok aminosavigénye eltér egymástól, ezzel magyarázható, hogy az eredmények nem egységesek és a rovarlisztek optimális bekeverési aránya jelentős eltérést mutat az egyes fajok esetében.

Általánosságban elmondható, hogy a rovarok optimális mennyiségű alkalmazásakor a hallisztel megegyező, ill. jobb termelési eredményeket kaptak. Célfajtól és az etetett rovar fajtától függetlenül azonban megfigyelhető az a kedvezőtlen jelenség, hogy a rovarlisztek bekeverésével csökken az omega-3-zsírsav mennyisége, ami – a bekeverési arány függvényében – akár 30–50%-ot is jelenthet (15, 31, 41, 46). A szárazföldi rovarok telítetlenzsírsav-tartalmát jelentősen növeli, ha halbelsőseget (25–50%-ban), ill. halolajat is tartalmazó takarmányt kapnak (51). A rovarok 50% feletti bekeverésnél bizonyos fajok (pl.: harcsa, tilápia) esetében megváltoztatják a hús állagát és ízét (15), de az eredmények alapján a fajok döntő többségében ezzel nem kell számolni.

Halak esetében a rovarok optimális mennyiségű alkalmazásakor a hallisztel megegyező, ill. jobb termelési eredményeket kaptak

4. TÁBLÁZAT. Rovarak felhasználása a haltakarmányozásban (15, 30, 31, 38, 41, 47, 54)

TABLE 4. Use of insects in fish nutrition

Faj ¹	Alkalmazás ²	Eredmény ³
fekete katonalégy⁴		
Szivárványos pisztráng (<i>Oncorhynchus mykiss</i>) Pettyes harcsa (<i>Ictalurus punctatus</i>)	25; 50-os bekeverés	A halliszt 25%-át kiválthatja. Pettyes harcsánál az 50%-már termeléscsökkenést okoz a kontrollhoz képest.
Farkassügér (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	6,5; 13 és 19,5%-os bekeverés (halliszt 15; 30; és 45%-át helyettesítette)	A csoportok termelési adata és takarmányhasznosítása között nincs szignifikáns különbség, de a legnagyobb testtömeg-gyarapodást és záró testsúlyt a 13%-os bekeverésnél mérték.
Sárga harcsa (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	13; 25; 37; 48; 68; 85 és 100%-os halliszt helyettesítés	A 25%-os csoportban legjobb a testtömeg-gyarapodás, takarmányértékesítés és immunológiai paraméterek.
lisztkukac⁵		
Aranydurbincs (<i>Sparus aurata</i>)	halliszt 35 és 71%-os kiváltása (50%-os bekeverés)	A 35%-os nagyobb záró testtömeget és testtömeg-gyarapodást, kedvezőbb fehérjehasznosítási arányt és jobb takarmányhasznosítást hozott, mint a kontroll táp. A 71%-os csökkenti a táplálóanyagok emészthetőségét és kisebb vágási kitermelést eredményez.
Farkassügér (<i>Dicentrarchus labrax</i>)	25% és 50%-os bekeverés	50%-nál romlott a testtömeg-gyarapodás, az emészthetőség és több mint 50%-kal csökkent az omega-3-zsarsavak mennyisége a kontrollhoz képest.
Sárga harcsa (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	halliszt 25, 50 és 75%-os kiváltása	75%-os halliszt-helyettesítés az 50%-hoz képest nem mutatott szignifikánsan jobb termelési értékeket. Az egyedek túlélési aránya szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontroll csoporté és javult a mesterséges bakteriális fertőzésre adott immunválasz is.
Aranydurbincs	25 és 50%-os bekeverés (halliszt 35 és 70%-os helyettesítése)	A testtömeg-gyarapodás, a takarmányértékesítés és fehérjeértékesítés a 25%-os bekeverési aránynál a legkedvezőbb. A fehérje és a zsír látszólagos emészthetősége az 50%-os csoportban szignifikánsan kisebb volt, mint a másik kettőben.
Szivárványos pisztráng	25 és 50%-os bekeverés	50%-os bekeverés nem rontja a termelést.

¹species, ²use, ³result, ⁴black soldier fly, ⁵yellow mealworm

A 4. táblázatban szereplő adatok mellett említést érdemel, hogy számos halfaj esetében pl.: pettyes harcsa, (*Ictalurus punctatus*) vagy kék tilápia (*Oreochromis aureus*); az FKL 100%-os bekeverése kedvezőtlenül hat a növekedésre. (15). Annak ellenére, hogy az FKL a kétszárnyúak közé tartozik, aminek aminosav-összetétele elvileg megfelelő a halak számára, az etetési kísérletek mégsem mutattak kedvező eredményt (15, 31). Kivételt képez az atlanti lazac (*Salmo salar*), amely estében aminosav-kiegészítéssel, akár a halliszt teljes kiváltására is alkalmas az FKL (29).

A házilégy számos halfaj számára ajánlható. Níluszi tilápia (*Oreochromis niloticus*) takarmányában a halliszt 50%-át, míg afrikai harcsánál (*Clarias gariepinus*) akár 100%-át is kiválthatja (15, 30). Az eredmények viszont csak akkor kedvezőek, ha nagy fehérjetartalmú (> 29%) lisztet etetnek. Ellenkező esetben csökken a növekedési ütem és emelkedik a kannibalizmus a hallárvák között, ami aminosav-kiegészítéssel kivédhető. Szivárványos pisztráng esetében a kedvezőtlen termelési adatok miatt nem javasolt a halliszt 25%-ot meghaladó helyettesítése (47).

ROVAROK SZEREPE A BAROMFI TAKARMÁNYOZÁSÁBAN

Rovarfehérjék etetésekor baromfiban metionin- és cisztein-kiegészítés szükségessége

A brojlercsirkék legfeljebb 2,8%-os kitintartalmat tolerálnak az emészthetőség romlása nélkül

A tücsök-, sáska- és szöcskefajok is megfelelően helyettesíthetik a szóját, ill. a hallisztet akár 100%-ban brojlercsirkéknél

Tojóttyúkokban nem ennyire kedvezőek az eredmények

A baromfitápok fő fehérjeforrása a szója, amelynek aminosav-összetétele a bogarak (*Coleoptera*, pl.: lisztkukac) és az egyenesszárnyúak (*Orthoptera*, pl.: házi tücsök) rendjébe tartozó rovarokéhoz áll a legközelebb (31, 42), de a rovarlisztek metionin- és cisztein-kiegészítésre szorulnak. Az ízeltlábúak közül elsősorban az egyenesszárnyúak képezik a természetes étrendjük részét (6). A mirigyes gyomorban termelődik kitináz enzim, ennek ellenére a brojlercsirkék legfeljebb 2,8%-os kitintartalmat tolerálnak az emészthetőség romlása nélkül (26).

Brojlercsirkében (*Gallus gallus domesticus*) a szójapogácsa 50%-a kiváltható az FKL-borsó és FKL-lucerna keverékekkel, a termelési eredmények változása nélkül (28). A zsírtartalom nagymértékű kivonása (4,6% nyerszsír sz.a.-ban) viszont már rontja a sz.a. és a nyerszsír látszólagos emészthetőségét a részben zsírtalanított (18% nyerszsír sz.a.-ban) képest. A nyersfehérje látszólagos emészthetősége és az aminosavak ilealis emészthetősége között azonban nincs eltérés (43). Az FKL 1%-os növelése a takarmányban 0,59 g-mal növelte a napi testtömeg-gyarapodást, javította az állatok takarmányértékesítését és csökkentette a hasi zsírlerakódást (35). Az ízeltlábú eredetű olajok kiválthatják a szójaolajat 50–100%-ban, ami jelenleg is alkalmazható gazdasági haszonállatok esetében (44). Az FKL-ből kivont olaj etetése a kontrollal megegyező termelési mutatókat, húsminőséget eredményez és az állatok egészségi állapotát – a vér biokémiai és a szövettani vizsgálatok alapján – nem befolyásolja.

A teljes lisztkukac 10–25%-ban bekeverhető a takarmányba, az állatok kórbonctani és -szövettani mintái és a vér biokémiai paraméterei sem térnek el a szójás kontrollhoz képest (2, 3, 31, 40). Zsírtalanított formában 100%-ban helyettesítheti a szójafehérjét brojlertcsirkék takarmányában. Azonos takarmányfelvétel mellett javul a takarmány-értékesülés és a kitin már említett antibakteriális hatása is érvényesül (3, 6). Az aminosavak látszólagos ilealis emészthetősége lisztkukac esetében jobb, mint az FKL-lisztté (6, 10).

A házilégylárva optimális mennyisége 10–25% a takarmány sz.a.-ban (17, 31), szignifikánsan növeli a takarmányfelvételt és a testtömeget a hallisztet tartalmazó keverékhez képest. Nagyobb részarány esetén a liszt sötét színe is hozzájárul a kisebb takarmányfelvételhez és a csökkenő testtömeg-gyarapodáshoz (31).

Az egyéb rovarfehérjék hatása még kevésbé ismert és a közleményekben szereplő fajok jelentős része az EU-ban nem használható fel gazdasági haszonállatok takarmányozására. A meglévő adatok alapján azonban a tücsök-, sáska- és szöcskefajok is megfelelően helyettesíthetik a szóját, ill. a hallisztet akár 100%-ban brojlercsirkéknél (31).

Tojóttyúkokban nem ennyire kedvezőek az eredmények, mint a brojlercsirkében. A zsírtalanított FKL 100%-os szójakiváltóként nem javasolható, mert rontja a tojástermelést – a szélsőségesen nagy, ill. kicsi tojások száma növekedik – és a takarmányhasznosítást, valamint csökkenti a takarmányfelvételt és a fehérje emészthetőségét (9, 32, 33). Az állatok egészségi állapotát a szója teljes mértékű rovar eredetű fehérjével való helyettesítése nem befolyásolta, de a kedvezőtlenebb termelési adatok miatt ilyen arányú etetése – szemben a brojlercsirkével – nem javasolt. Az FKL csökkentette a vérben az albumin/globulin arányt, növelte a globulin szintjét és a bélben jelentősen emelte az illózsírsavak mennyiségét, különösen acetátét (36%-kal) és a butirátét (62%-kal). Az immunstimuláns és bélflóra összetételére kedvezően ható illózsírsavak miatt használata a tojóttyúk esetében is kedvező lehet, ugyanakkor a kefeszegély-membrán enzimaktivitása csökkenést mutatott. A takarmányba adagolható optimális mennyiség azonban még nem meghatározott (9). A tojóttyúk rosszabb termelési mutatóit a kisebb takarmányfelvétel is okozhatta (mivel a

Légylárvával a halliszt 50%-a helyettesíthető a tojótyúkok takarmányában

Sertések esetében is metionin- és cisztein-kiegészítés szükséges rovarok etetésékor

Kérdőzőknek az EU-ban jelenleg semmilyen formában sem engedélyezett az ízeltlábúak etetése

két tápban az energia és a fehérje mennyisége azonos volt), amire hatással lehetett, hogy a katonalégy lárvája sötétebb színű, mint a szója és az ízük is eltér. A részben zsírtalanított (11% nyerszsírtartalom) FKL kedvezőbbnek bizonyult Leghorn tyúkok takarmányában a szójapogácsa teljes kiváltására. Itt a tojástermelést nem befolyásolta (33).

Légylárvával a halliszt 50%-a helyettesíthető a tojótyúkok takarmányában (ez 5%-os bekeverési arányt jelent) a tojásmínőség romlása nélkül. A halliszt 100%-os lecserélése, hasonlóan az FKL-hez, csökkenti a tojástermelést (1, 31).

ROVAROK SZEREPE EGYÉB FAJOK TAKARMÁNYOZÁSÁBAN

Sertésekkel végzett kísérletek száma még csekély és elsősorban malacokra korlátozott. Számukra is szükséges a metionin- és ciszteinkiegészítés rovarok etetésékor. *In vitro* modell alapján sertésekben a tücsök emészthetősége rosszabb, mint a lisztukacé, ezért a rovar faja és az esetleges hőkezelés, ill. annak hiánya, jelentős hatással van a hasznosulásra (39).

FKL esetében az 5,4%-ban bekevert zsírtalanított vagy a 4%-ban adagolt teljes zsírtartalmú a legmegfelelőbb, az utóbbiból a 8%-os bekeverési arány már kisebb ileális emészthetőséghez vezetett. *In vivo* vizsgálva a takarmányfelvétel, a testtömeg-gyarapodás és fehérje látszólagos emészthetőségi adatai között nincs eltérés a hagyományos szójatartalmú tápához képest. Az antibakteriális hatás eredményeként csökkent a *D-Streptococcusok* száma, de a coliformok mennyisége nem változott jelentősen (45).

A 0–35 napos malacok napi testtömeg-gyarapodását, takarmányfelvételét és takarmány-hasznosítását szignifikánsan javította a teljes zsírtartalmú lisztukacé, amit 6%-os bekeverési arányig vizsgáltak (22).

A kambodzsai tücsök (*Teleogryllus testaceus*) teljes testéből és lábak eltávolítása után maradt részekből gyártott liszt növelte a malacok (13.0 ± 0.3 kg) takarmányfelvételét a kontroll, hallisztos tápához képest. A takarmány-értékesülés javult, növekvő nitrogén-retenció mellett. A lábak eltávolítása a teljes testhez képest nem javított az eredményeken (34). Ezek alapján feltételezhető, hogy más tücsökfajok, így az EU-ba etethető házi tücsök és sávós tücsök is kedvező hatású lehet.

Összesen 9 faj *in vitro* emészthetőségi vizsgálata alapján, kutya és macska számára a lisztukacé, a gyászbogárlárva és az alombogárláva a legmegfelelőbb. Aminosav-összetétel szempontjából a házilégylárvá, az FKL (itt az emészthetetlen külső váz fehérjetartalma nagy) és a házi tücsök a legelőnyösebb kutyának és macskának. A házi tücsök kivételével ezek emészthetősége elmarad a lisztukacétól, a gyászbogárlárváétól és az alombogárlárváétól (5), ezért kevésbé tűnnek megfelelőnek ezen fajok számára. Kedvezőtlen aminosav-összetétele és emészthetősége miatt a csótányfajok etetése nem javasolt. Mindegyik vizsgált rovar esetében gondolni kell a kéntartalmú aminosavak kiegészítésre. Szaglás-teszt alapján a kutyák a kereskedelmi forgalomban kapható száraz táppal meggyező mértékben elfogadják a rovarokat (25). A szukák a lisztukacé, a kanok pedig a török csótányt (*Shelfordella lateralis*) részesítették előnyben, ezek közös jellemzője a kontroll tápához képest nagyobb fehérje- (59, ill. 73% sz.a.-ban) és zsírtartalom (27, ill. 19% sz.a.-ban) volt.

Kérdőzőknek az EU-ban jelenleg semmilyen formában sem engedélyezett az ízeltlábúak etetése. Az *in vitro* vizsgálatok adatai szerint a bendőbéli emészthetőséget jelentősen rontja a kitin- és az olajtartalom. A kis nyerszsírtartalom miatt a földitücsök (*Gryllus assimilis*) emészthetősége lényegesen jobb, mint a nem zsírtalanított FKL-é. A földitücsök esetében az exoskeleton eltávolítása nem javította az emészthetőséget. Az *in vitro* vizsgálatok alapján a szója 50%-át helyettesítheti (20, 21).

KÖVETKEZTETÉSEK

Fontos szempont a rovar eredetű fehérjék előállításának kedvező fenntarthatósága

Az eddigi eredmények többsége alapján az FKL, a gyászbogárlárva és a liszt-kukac a halliszt felét helyettesítheti a haltakarmányokban (15). Néhány kivételtől eltekintve a halliszt 100%-os kiváltása rovarliszttel már kedvezőtlenül hat a termelésre, ezért nem javasolt. Fajtól függetlenül a rovarlisztek alkalmazásának egyik hátránya, hogy csökkentik a halhús omega-3 zsírsavtartalmát. Az eredmények alapján érdemes elkülöníteni a brojlercsirkére és a tojótyúkra vonatkozó ajánlásokat. Az előbbinél a szója akár 100%-a kiváltható ízeltlábúakkal, a tojóállományokban viszont a termelési adatok romlása miatt ez nem ajánlott. A szója helyettesíthetőségének optimális szintje 50% körül van. A társállatok esetében elsősorban a táplálékallergiás egyedek számára jelenthetnek alternatív fehérjeforrást a rovarlisztek. Emellett a jövőben egyre hangsúlyosabb szerepük lesz a hulladékgazdálkodásban és egyéb gyógyászati célú alkalmazásuk – mint az antibakteriális hatású fehérjék – is ígéretes. Az élelmiszerként való felhasználást segíti elő, hogy 2018. január 1-től a rovarok bekerültek az új élelmiszerekről szóló 2015/2283-as EU rendeletbe.

IRODALOM

- AGUNBIADÉ, J. A. – ADEYEMI, O. A. et al.: Replacement of fish meal with maggot meal in cassava-based layers' diets. *J. Poult. Sci.*, 2007. 44. 278–282.
- BIASATO, I. – DE MARCO, M.: Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal inclusion in free-range chickens. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 2016. 100. 1104–1112.
- BIASATO, I. – GASCO, L. et al.: Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chickens: effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. *Poultry Sci.*, 2018. 97. 540–548.
- BORRELLI, L. – CORETTI, L. et al.: Insect-based diet, a promising nutritional source, modulates gut microbiota composition and SCFAs production in laying hens. *Sci. Rep.*, 2017. 7. 1–11.
- BOSCH, G. – ZHANG, S. et al.: Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *J. Nutr. Sci.*, 2014. 3. 1–4. e29.
- BOVERA, F. – PICCOLO, G. et al.: Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as possible alternative to soybean meal in broiler diets. *Br. Poult. Sci.*, 2015. 56. 569–75.
- BOVERA, F. – LOPONTE, R. et al.: Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. *J. Anim. Sci.*, 2016. 94. 639–647.
- CHERNYSH, S. – GORDYA, N. – SUBOROVA, T.: Insect antimicrobial peptide complexes prevent resistance development in bacteria. *PLoS ONE.*, 2015. 10. e0130788.
- CUTRIGNELLIA, M. I. – MESSINAB, M. et al.: Evaluation of an insect meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as soybean substitute: Intestinal morphometry, enzymatic and microbial activity in laying hens. *Res. Vet. Sci.*, 2018. 117. 209–215.
- DE MARCO, M. – MARTÍNEZ, S. – HERNÁNDEZ, F. et al.: Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2015. 209. 211–218.
- DOBERMANN, D. – SWIFT, J. A.: Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutr. Bull.*, 2017. 42. 293–308.
- FINKE, M. D.: Estimate of chitin in raw whole insects. *Zoo Biol.*, 2007. 26. 105–115.
- FINKE, M. D.: Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo Biol.*, 2013. 32. 27–36.
- HARIKRISHNAN, R. – KIM, J. S. et al.: Dietary supplementation with chitin and chitosan on haematology and innate immune response in *Epinephelus bruneus* against *Philasterides dicentrarchi*. *Exp. Parasitol.*, 2012. 131. 116–124.
- HENRYA, M. – GASCOB, L. et al.: Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future. *Review. Anim. Feed Sci. Technol.*, 2015. 203. 1–22.
- HENRY, M. A. – GASCO, L. et al.: Does dietary insect meal affect the fish immune system? The case of mealworm, *Tenebrio molitor* on European sea bass, *Dicentrarchus labrax*. *Dev. Comp. Immunol.*, 2018. 81. 204–209.
- HWANGBO, J. – HONG, E. C. et al.: Utilization of house fly-maggots, a feed supplement in the production of broiler chickens. *J. Environ. Biol.*, 2009. 30. 609–614.
- ISLAM, M. M. – YANG, C. J.: Efficacy of mealworm and super mealworm larvae probiotics as an alternative to antibiotics challenged orally with *Salmonella* and *E. coli* infection in broiler chicks. *Poultry Sci.*, 2017. 96. 27–34.
- JANSSEN, R. H. – VAN DEN BROEK, L. A. M.: Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Three Edible Insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *J. Agric. Food Chem.*, 2017. 65. 2275–2278.
- JAYANEGARA, A. – SHOLIKIN, M. M. et al.: Lowering Chitin Content of Cricket (*Gryllus assimilis*) Through Exoskeleton Removal and Chemical Extraction and its Utilization as a Ruminant Feed in vitro. *Pak. J. Biol. Sci.*, 2017a. 20. 523–529.
- JAYANEGARA, A. – NOVANDRI, B. et al.: Use of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) to substitute soybean meal in ruminant diet: An in vitro rumen fermentation study. *Vet. World.*, 2017b. 10. 1439–1446.
- JIN, X. H. – HEO, P. S. et al.: Supplementation of Dried Mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on Growth Performance, Nutrient

- Digestibility and Blood Profiles in Weaning Pigs. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, 2016. 29. 979–986.
23. JÓZEFIÁK, A. – ENGBERG R. M.: Insect proteins as a potential source of antimicrobial peptides in livestock production. A review. *J. Anim. Feed Sci.*, 2017. 26. 87–99.
24. KARLSEN, Ø. – AMLUND, H. et al.: The effect of dietary chitin on growth and nutrient digestibility in farmed Atlantic cod, Atlantic salmon and Atlantic halibut. *Aquac. Res.*, 2017. 48. 123–133.
25. KIEROŃCZYK, B. – RAWSKI, M. et al.: Do insects smell attractive to dogs? A comparison of dog reactions to insects and commercial feed aromas – a preliminary study. *Ann. Anim. Sci.*, 2018. 18. 795–800.
26. KHEMPAKA, S. – CHITSATCHAPONG, C. – MOLEE, W.: Effect of chitin and protein constituents in shrimp head meal on growth performance, nutrient digestibility, intestinal microbial populations, volatile fatty acids, and ammonia production in broilers. *J. Appl. Poult. Res.*, 2011. 20. 1–11.
27. KOMI, E. A. D. – SHARMA, L. – DELA CRUZ, C. S.: Chitin and its effects on inflammatory and immune responses. *Clin. Rev. Allergy. Immuno.*, 2018. 54. 213–223.
28. LEIBER, F. – GELENCSE, T. et al.: Insect and legume-based protein sources to replace soybean cake in an organic broiler diet: Effects on growth performance and physical meat quality. *Renewable Agric. Food Syst.*, 2017. 32. 21– 27.
29. LOCK, E. R. – ARSIWALLA, T. – WAAGBØ R.: Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquacult. Nutr.*, 2016. 22. 1202–1213.
30. MAGALHÃES, R. – SÁNCHEZ-LÓPEZ, A. et al.: Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 2017. 476. 79–85.
31. MAKKAR, H. P. S. – TRAN, G. et al.: State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2014. 197. 1–33.
32. MARONO, S. – LOPONTE, R. et al.: Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 weeks of age. *Poultry Sci.*, 2017. 96. 1783–1790.
33. MAURER, V. – HOLINGER, M. et al: Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. *J. Insects Food and Feed*, 2016. 2. 89–90.
34. MIECH, P. – LINDBERG, J. E. et al.: Apparent faecal digestibility and nitrogen retention in piglets fed whole and peeled Cambodian field cricket meal. *J. Insects Food and Feed*, 2018. 3. 279–288.
35. MOULA, N. – HORNICK, J. L. et al.: Effects of dietary black soldier fly larvae on performance of broilers mediated or not through changes in microbiota. *J. Insects Food and Feed*, 2018. 4. 31–42.
36. NERY, J. – GASCO, L. et al.: Protein composition and digestibility of black soldier fly larvae in broiler chickens revisited according to the recent nitrogen-protein conversion ratio. *J. Insects Food and Feed*, 2018. 4. 171–177.
37. OONINCX, D. G. A. B. – DE BOER, I. J. M.: Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans – A Life Cycle Assessment. *PLoS ONE*, 2012. 7. e51145.
38. PICCOLOA, G. – IACONISIB, V. et al.: Effect of *Tenebrio molitor* larvae meal on growth performance, in vivo nutrients digestibility, somatic and marketable indexes of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Anim. Feed Sci. Technol.*, 2017. 226. 12–20.
39. POELAERT, C. – BECKERS, Y. et al.: In vitro evaluation of fermentation characteristics of two types of insects as potential novel protein feeds for pigs. *J. Anim. Sci.*, 2016. 94. 198–201.
40. RAMOS-ELORDUY, J. – GONZÁLEZ, E. A. et al.: Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *J. Econ. Entomol.*, 2002. 95. 214–220.
41. RENNA, M. – SCHIAVONE, A. et al.: Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2017. 8. 57.
42. SÁNCHEZ-MUROS, M. J. – BARROSO, F. G. et al: Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *J. Clean. Prod.*, 2014. 65. 16e27.
43. SCHIAVONE, A. – DE MARCO, M. et al.: Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 2017. 8. 51.
44. SCHIAVONE, A. – DABBOU, S. et al.: Black soldier fly larva fat inclusion in finisher broiler chicken diet as an alternative fat source. *Animal*, 2018. 18. 1–8.
45. SPRANGHERS, T. – MICHIELS, J. ET AL.: Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Anim Feed Sci Technol.*, 2018. 235. 33–42.
46. STADTLANDER, T. – STAMER, A. et al.: *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *J. Insects as Food and Feed*, 2017. 3. 165–175.
47. ST-HILAIRE, S. – SHEPPARD, C. et al.: Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. World Aquacult. Soc.*, 2007. 38. 59–67.
48. SU, J. – GONG, Y. et al.: Effects of dietary *Tenebrio molitor* meal on the growth performance, immune response and disease resistance of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Fish Shellfish Immunol.*, 2017. 69. 59–66.
49. VAN BROEKHOVEN, S. – GUTIERREZ, J. M. et al.: Degradation and excretion of the *Fusarium* toxin deoxynivalenol by an edible insect, the Yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.). *World Mycotoxin J.*, 2017. 10. 163–169.
50. VAN HUIS, A.: Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu. Rev. Entomol.*, 2013. 58. 563–583.
51. VAN HUIS, A. – TOMBERLIN, J. K.: *Insects as food and feed: from production to consumption*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 2017.
52. VAN RAAMSDONK, L. W. D. – VAN DER FELS-KLERX, H. J. – DE JONG, J.: New feed ingredients: the insect opportunity. *Food. Addit. Contam. Part A.*, 2017. 34. 1384–1397.
53. WANG, Y.-S. – SHELOMI, M.: Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 2017. 6. 91.
54. XIAO, X. – JIN, P. et al.: Effects of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal protein as a fishmeal replacement on the growth and immune index of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*). *Aquac. Res.*, 2018. 49. 1569–1577.

Közlésre érk.: 2018. szept. 10.