



A fekete katonalégy lárvájának takarmányozása és egészségvédelme

Nutrition and health protection of black soldier fly larvae

SLEZÁK Izabella  – HETÉNYI Nikoletta 

ÖSSZEFOGLALÁS

A fekete katonalégy (*Hermetia illucens*; FKL) lárvájának felhasználása a takarmányozásban egyre elterjedtebb. A nagyüzemi körülmények között tenyésztett rovaroknak meg kell felelniük az Európai Unió és a hazai jogszabályoknak is. A jogi környezetben túl hangsúlyt kell fektetni az ipari tartással járó hatásokra is, mint az egészségvédelem. A takarmányozáshoz használt különböző alapanyagok befolyásolják a biokonverziós rátát, így a lárvák testösszetételét, növekedési ütemét és a veleszületett immunitást. Az összefoglaló célja, hogy ismertesse a nagyüzemi FKL-lárva előállítás szempontjából optimális táplálást és az egészségvédelmi szempontokat.

Kulcsszavak: fekete katonalégy lárvája, *Hermetia illucens*, rovarfehérje-alapú takarmány, biokonverzió

SUMMARY

Background: the black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*; BSF) is the most important farmed insect species in the European Union with a growing importance in animal nutrition. Objectives: this study aims to evaluate the growth performance and behaviour of BSF larvae reared in a feeding system under optimal conditions by feeding substrates made of different by-products allowed by the EU framework. Results: although the insect species is saprophytic and can grow on almost any organic material (such as vegetal waste, animal manure and products of animal origin, food waste, agricultural by-products, or straw), insects reared in large-scale production must comply with EU and national legislation. Within the EU, BFS larvae are considered as farmed animals and the provisions of the feed ban apply. The legislation specifies the materials that can be used for feeding the insects. These by-products are low-protein, low-value feedstocks generated during food production that would otherwise end up in landfills, contributing to greenhouse gas emissions. In addition to the legal environment, emphasis should also be placed on the effects of industrial farming (e.g., health and welfare). A special feature is that the larvae can process feed mixtures with a moisture content of 60-80%. The breeding of BSF can be affected by various pathogens and parasites. High temperatures improve the larvae's resistance to *Pseudomonas protegens* Pf-5. The red mite (*Dermanyssus gallinae*) causes serious damage and may result in the destruction of the colony. Recent research has also identified viruses (e.g., HiTV1), nematodes, fungi, and bacteria (e.g., *Paenibacillus thiaminolyticus*) that can cause soft rot and high larval mortality. Conclusions: the nutritional composition and growth performance of BSF larvae are significantly influenced by the substrates that are used. The nutrient content and quality of the substrate fed by the larvae are also a key factor for feed and food safety. The gut microbiota of insects plays an important role in bioconversion processes, as well as in insect health and performance.

Keywords: Black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, insect-based protein feed, bioconversion, nutrition

1. Bevezetés

A Föld lakossága meghaladta a 8 milliárd főt, amely becslések szerint 2050-re elérheti a 9 milliárdot, tovább növelve az élelmiszer iránti keresletet (FAO, 2024). Ezzel párhuzamosan nő az állati eredetű fehérje és ezen keresztül a haszonállatok száma és fehérjeigénye is. Ennek kielégítéséhez a fenntarthatósági szempontokat is figyelembe kell venni (van Huis és mtsai., 2014; Zhang és mtsai., 2021). Mindezek következtében egyre jobban előtérbe kerül a jó minőségű fehérje, mint a rovarfehérje iránti igény. A növekvő népesség magával hozza a hulladéktömeg növekedését, melynek kezelésére is nagy hangsúlyt kell fektetni.

A rovaripar rohamos tempóban növekvő ágazat. Fenntartható alternatívát kínál a takarmányfehérje előállításához, mérsékeltbb környezeti terheléssel. Emellett a körkörös mezőgazdaság elveire épülve, lehetőséget teremt a szerves hulladékok biomasszává alakítására. A fekete katonalégység (*Hermetia illucens*; FKL) ma már világszerte elterjedt faj, a legnagyobb mennyiségben előállított fehérjeforrásként tenyésztett rovarfaj (Tomberlin és van Huis, 2020), melynek felhasználását aktívan tanulmányozzák, mint alternatív állati takarmány-alapanyag. Az ipari rovartenyésztés és feldolgozás két alternatív erőforráshoz vezet; az egyik, hogy az FKL-lárva feldolgozott formában állati eredetű származtatott melléktermékként (processed animal protein, rovarliszt) beépíthető a nem kérődző gazdasági haszonállatok, kedvtelésből tartott állatok, valamint a vízi állatok takarmányozásába (2017/893/EU rendelet). Ezen felül a keletkezett rovarürülék, az úgynevezett „frass”, szerves trágyaként és talajjavítóként is használható. Mindezek mellett bioüzemanyagok, kenőanyagok, biogáz és műtrágya előállítására is alkalmas. Takarmányozás szempontjából a nemzetközi tanulmányokban kevés az olyan kutatás, mely megfelel az Európai Unió által előírt jogszabályoknak, mivel sok esetben trágyát vagy egyéb, nem engedélyezett szubsztrát hatását vizsgálták. Az összefoglaló célja, hogy ismertesse a nagyüzemi FKL-lárva előállítás szempontjából optimális táplálást és az egészségvédelmi szempontokat.

2. Életciklus, tenyésztés és tartástechnológia

A katonalégységfélek (*Stratiomyidae*) családja a rovarok osztályának, kétszárnyúak rendjébe (*Diptera*) tartozik. A kifejlett imágó hosszúkas, darázszerű, fémes-fekete színű légy (1. ábra).



Figure 1 Adult black Soldier fly (*Hermetia illucens*)

1. ábra. Fekete katonalégy (*Hermetia illucens*) imágója

Fejlődése a teljes átalakulás, ami négy fő szakaszból áll: pete, lárva, előbáb, báb és imágó. A lárvaállapot a petéből frissen kikelő lárvával, vagyis neonétával (0-48 óras kor) kezdődik és 5 vedlési fázisból áll, majd az utolsó vedlés után a bábállapot előtt megkezdődik az előbáb, vagyis prepupa állapot, melyek intenzív mozgást már nem végeznek, keresik a sötét, száraz, biztonságos helyet a bebábozódáshoz. Az egyedek a prepupa állapottól kezdve nem igényelnek táplálékot. A kifejlett legyek a kikelés után 2-4 nap múlva már párzanak, és további 2 nap szükséges a peterakásig. Az imágók nem, vagy csak cukor tartalmú folyadékkal táplálkoznak, ezért saját zsírtartalékaikból csupán 8-10 napig képesek túlélni. Petéiket száraz felületre, lehetőleg szűk résekbe helyezik valamilyen szerves anyag közelébe, hogy a kikelő neonéták azonnal táplálékhoz jussanak (Tomberlin és mtsai., 2002; Holmes és mtsai., 2013; Nakamura és mtsai., 2016; van Huis és mtsai., 2014). Fontos kiemelni, hogy ipari körülmények között kétfázisú tartástechnológia javasolt: keléstől 5-6 napos korig előnevelési fázis (nursery) és 6-7 napos kortól aratásig nevelési fázis (rearing).

Nagyipari körülmények között az FKL jól tartható és tenyészthető. Optimális környezeti feltételek mellett (megvilágítás, hőmérséklet, páratartalom, peterakó közeg) kisigényű fajnak számít. Bár már több évtizede tanulmányozzák, még mindig számos hiányosság van a tartástechnológia vonatkozásában, annak ellenére, hogy az elmúlt évtizedben jelentős előrelépés történt a környezeti és technológiai feltételek fejlődésében. Az ipari termelés elterjedése még mindig kedvezőtlen: a tartástechnológiai ismeretek kidolgozása nem teljes. Az optimális technológiai megoldásokhoz jelentős anyagi ráfordítás szükséges. Továbbá a kutatási eredményeket nehéz átültetni az ipari technológiába. Az ipari rovartartás és feldolgozás speciális szaktudást is igényelhet, mert megfelelően képzett munkaerő hiánya gátat szabhat a nagyobb volumenű termelésnek.

3. Takarmányozás

AZ FKL-lárvák szaprofita életmódjukhoz mérten lebontják az alacsony értékű szerves anyagokat, majd azokat értékes biomasszává képesek konvertálni, amit más állatfaj nem, vagy csak kevésbé jól tudna hasznosítani. Az FKL a jogi szabályozás értelmében gazdasági haszonállatnak tekintendő, így ugyanúgy vonatkoznak rájuk a takarmányozási tilalom rendelkezései, mint bármely más haszonállatra (999/2001/EK rendelet). A hatályos jogszabályoknak megfelelően, az FKL-lárvák etetésére kizárólag engedélyezett takarmány előállító üzemből származó takarmányt lehet felhasználni (183/2005/EK rendelet). A rovarok felhasználásának lehetőségeit az 1069/2009 EU rendelet, míg a feldolgozásuk feltételeit a 142/2011 EU-rendelet szabályozza (1069/2009/EK rendelet és 142/2011/EU rendelet).

Az ipari tenyésztés hatékonysága szempontjából alapvető fontosságú a szubsztrát tápanyag-összetételének és elérhetőségének ismerete, valamint a takarmánymegvonás hatása. A takarmányforrások hozzáférhetősége országonként és régióként eltérő mind mennyiségben, mind minőségben. Néhány korábbi tanulmányban már rávilágítottak arra, hogy a különböző alapanyagok eltérően hatnak a lárvákra. Bár az FKL-lárva kisigényű, szaprofita faj, azonban a hatékony fejlődés és a biokonverzió maximalizálása érdekében van néhány tényező, amit figyelembe kell venni a takarmányozás során. A kevésbé ideális szubsztrát rosszabb és lassabb fejlődési teljesítményt eredményezhet, magasabb mortalitást mutathat, romlanak a biokonverziós eredmények és a takarmányértékesítés, ezáltal csökkenthetik az ipari termelés hatékonyságát (*Ribeiro és mtsai., 2022*). Számos etetési kísérletről készült már tanulmány, ám az igazán átütő receptúrákat általában üzleti titokként kezelik. Baromfitáp mellett legtöbbször különböző ipari feldolgozásból származó melléktermékeket használnak, melyek zöldség-, tej- és pékipari, sör- és szeszipari melléktermékek (*FAO, 2021*). AZ FKL-lárva takarmányozásának alapja egy referencia receptúra (Gainesville diet), mely sok takarmányozási kísérletben kontrollként szerepel. A receptúra 70%-os nedvességtartalom mellett 30% lucernaliszt, 20% kukoricaliszt, 50% búzakarpa keverékből áll, ami nagyjából 14% nyersfehérjét és 3% nyerszsírt jelent. A szubsztrát nedvességtartalma közismerten befolyásolja az FKL-lárvák teljesítményét. Az 50-70% közötti nedvességtartalom bizonyult ideálisnak a lárvák fejlődési és anyagcsere-folyamatainak maximalizálására (*Okpoko és mtsai., 2024*). AZ FKL-lárvák nem rendelkeznek rágó szájszervvel, így a túl száraz vagy nagy szemcseméretű takarmány megnehezíti a tápanyagfelvételt (*Yakti és mtsai., 2023*).

AZ FKL-lárvák precíziós takarmányozásához a nedvességtartalom és szemcseméret mellett nemcsak elegendő táplálékra, hanem a tápanyagok optimális összetételét és egyensúlyát biztosító takarmányra van szükségük. AZ FKL-lárvák fejlődéséhez és teljesítményéhez a fehérjét és a szénhidrátot tekintik a legfontosabb

tápanyagnak. A fehérje a biológiai folyamatok (növekedés, anyagcsere) építőkövei, míg az energiaforrást a szénhidrát biztosítja (Holtermans, 2023). További kutatások megerősítik a fehérje-szénhidrát arányának fontosságát: általánosságban 1:2–1:3 fehérje:szénhidrát arány a kívánatos, ami a legjobb túlélést és a legmagasabb lárvahozamot eredményezi (Eggink és mtsai., 2023). Ugyanakkor arról is van feljegyzés, hogy a fehérje:szénhidrát aránnyal szemben sokkal fontosabb a teljes szubsztrát fehérje+szénhidrát tartalma, amely erősebb hatást gyakorolt a lárvák hozamára és fejlődési idejére, mint a fehérje:szénhidrát arány. Barragan-Fonseca és mtsai. (2019) a 17%-os nyersfehérje és 55%-os szénhidráttartalmú szubsztrát alkalmazásakor érték el a legjobb termelési mutatókat. Azonban az is egyre világosabbá válik, hogy a rovarok bélmikrobái, a gerinces állatokhoz hasonlóan, kulcsfontosságú szerepet játszanak a biokonverziós folyamatokban (Jordan és Tomberlin, 2021).

4. Egészségvédelem

A *Journal of Insects as Food and Feed* 2022. augusztusi számában megjelent publikáció alapján a rovarok egészségének nagyüzemi körülmények közötti védelmére is hangsúlyt kell fektetni (Vogel és mtsai., 2021). Az ipari tenyésztés, tömeges tartás során számos körülmény és környezeti tényező hatással van a rovarok egészségére és az immunitásukra. Ilyen tényező a kórokozók és paraziták jelenléte, abiotikus körülmények, lárvasűrűség, táplálkozás, de még a bélmikrobiom diverzitása is, mely a rovar egészségi állapotának és teljesítményének pillére (Eke és mtsai., 2023). A rendelkezésre álló adatok alapján eddig még nem mutattak ki egységes törzsszintű mikrobiális közösséget, mivel a mikrobiom összetételét befolyásolja a táplálék. A leggyakrabban azonosított baktériumnemzetségek közé tartozik például az *Enterococcus*, *Morganella*, *Providencia*, *Klebsiella*, *Dysgonomonas* és *Lactobacillus*. Egyesek akár patogének is lehetnek, de ugyanakkor a bélmikrobák egyértelműen hozzájárulnak az emésztéshez és a kórokozók elnyomásához (Lin és Shelomi, 2024). A preferált tartományokon kívül eső paraméterek káros fejlődési, fiziológiai vagy viselkedési hatásokat generálhatnak a rovarok számára (Harvey és mtsai., 2020). Meg kell azonban jegyezni, hogy a biotikus vagy abiotikus tényezőkre vonatkozó preferenciák populációspecifikusak lehetnek.

A rovarok különösen függnek a környezeti hőmérséklettől. Többnyire két hőmérsékleti tartományt különböztethetünk meg: egy tágabb tartományt (5–45°C), melyben a nagyobb hőmérsékleti különbségek ellenére biztosított a túlélés, és az optimális/kedvelt tartományt, amely szűkebb sávval rendelkezik (25–35°C) és ideális a szaporodáshoz, fejlődéshez. A magasabb hőmérséklet és páratartalom előnyös, mivel felgyorsítja a rovarok fejlődési ütemét. Fontos azonban megjegyezni, hogy a hőmérsékleti teljesítménygörbék többnyire aszimmetrikusak, az optimális hőmérséklet felett meredeken csökkennek (Chia és mtsai., 2018). Emellett nem

csak a tenyésztési kívánt rovarnak, de a kórokozónak és parazitáknak is kedvezhetnek.

Feltörekvő iparág lévén, természetes parazita- vagy betegség nagyüzemi előfordulásáról nem jelentettek egyetlen kitörést sem, valamint ipari jelentősége elenére is kevés tanulmány született entomopatogén mikroorganizmusok vonatkozásában. Ezzel szemben a tenyésztett házi tücsök (*Acheta domesticus*) esetében nem ritkák a vírusos vagy egyéb megbetegedések (*De Miranda és mtsai.*, 2021) és a vírusfertőzések szinte minden termelőüzemben jelen vannak. A Wageningeni Egyetem laboratóriumában (Laboratory of Entomology Wageningen University) rovarokhoz kapcsolódó különböző kölcsönhatások és betegségek vektorainak kutatásával foglalkoznak. Vizsgálták az FKL és a *Pseudomonas protegens* Pf-5 entomopatogén Gram-negatív baktérium kölcsönhatását a környezeti hőmérséklet függvényében. Eredményképp a magasabb környezeti hőmérséklet növelte az FKL túlélési arányát, nagyobb lárvasúlyt és ezáltal jobb immunitást eredményezett a *P. protegens* Pf-5 patogénnel szemben (*Dicke*, 2023). Egy másik tanulmány az FKL parazitáit vizsgálta. Leírja, hogy a madártetű atka (*Dermaphysalis gallinae*) kórkórt jelenthet az FKL nevelésében (*Eilenberg és mtsai.*, 2022), mely több szempontból is súlyos károkat okozhat a lárvaiban. Az atkák a kutikulát károsítják, mivel azok a lárvaikra tapadva táplálkoznak. A fertőzöttséggel érintett FKL-kolóniát megsemmisítéssel ártalmatlanítani kell, majd el kell végezni a helyiségek fertőtlenítését, valamint az eszközök és berendezések sterilizálását. Ez jelentős gazdasági károkat okoz a termelés és a rovaripar számára. A közlemény szerzői megelőzésékként javasolják, hogy az FKL-üzem nem legyen baromfitelep közvetlen szomszédságába. Bár még csak az elmúlt két évben kezdődtek laboratóriumi körülmények között az FKL betegségeit vizsgáló kutatások, a fentebb említett példák alapján is egyre jobban igazolódik, hogy bizonyos fonálféreg, gombák és baktériumok fertőzést és ezáltal termelés-csökkenést, de akár pusztulást is kiválthat a lárvaiban és a kifejlett egyedeikben (*Jensen és Lecocq*, 2023).

A laboratóriumi vizsgálatok mellett a bioinformatika is nagy jelentőséggel bír, ugyanis az elérhető FKL-genomok és transzkriptomok elemzése alapján az FKL összefüggésbe hozható legalább öt rovarokat megfertőzni képes víruscsaláddal. Továbbá azonosítottak egy új, exogén vírust, amelyet *Hermetia illucens totivirus 1* (HiTV1) néven neveztek el. A HiTV1 jelenlétét több olyan FKL-genom és transzkriptom adathalmazban is kimutatták, amelyek különböző tenyésztési körülményekből és földrajzi helyekről származnak, ami arra utal, hogy az FKL valójában természetes gazdája ennek a vírusnak (*Pienaar és mtsai.*, 2022). A HiTV1 vírusról ismert a *Paenibacillus thiaminolyticus* GX6 törzs FKL-lárvaikra gyakorolt káros hatása is. A kórokozót tömeges tenyésztőüzemekben nevelt lárvaikból azonosították, melyek úgynevezett „lág rothadás” („soft rot”) jeleit mutatták. A kutatások eredményei arra következtettek, hogy a kórokozó gátolja a lárvaik fejlődését és magas mortalitáshoz vezet (*She és mtsai.*, 2023).

AZ FKL lárvái veleszületett immunrendszerrel rendelkeznek, amely sejtes (például hemociták által végzett fagocitózis) és humorális komponensekből (például antimikrobiális peptidek) áll. Több tanulmány kimutatta, hogy a lárvák takarmányának összetétele jelentősen befolyásolja immunrendszerük működését. A magas fehérjetartalmú takarmányozás és az optimális tartási körülmények (pl.: lávasűrűség és hőmérséklet) javíthatják a lárvák ellenálló képességét a fertőzésekkel szemben (*Bruno és mtsai., 2021*). Takarmányozási kísérletekkel is vizsgálták, hogy a különböző takarmány-alapanyagok milyen mértékben befolyásolják az FKL-lárvákban az antimikrobiális fehérjék termelődését különböző baktériumfajokkal szemben, mint például az *E. coli*, *M. luteus*, *P. fluorescens* és *B. subtilis*. A vizsgálatokat standard agarlemez tesztekkel mérték, melyek eredménye alapján a Gram-negatív baktériumok legerőteljesebb gátlását a nagy fehérjetartalmú és cellulóz tartalmú takarmánnyal etetett lárvák mutatták. Ezzel szemben a Gram-pozitív baktériumok elleni aktivitás a kitin, cellulóz, baktérium kultúra és napraforgóolaj tartalmú takarmány esetében volt a legnagyobb. Összességében a vizsgálatok arra utalnak, hogy az FKL-lárvák antimikrobiális fehérje aktivitása jelentős mértékben függhet a takarmánytól is (*Vogel és mtsai., 2018*).

Összefoglalva a rovarok egészségvédelme, azaz a betegségtől vagy sérüléstől való mentesség akkor kerül veszélybe, ha a rovarok igényeinek nem megfelelő környezeti körülményeknek vannak kitéve. A természetben számos légyfaj lárvái bomló szerves anyagokkal táplálkoznak, amelyeken a mikroorganizmusok jelenléte számottevő (*Bruno és mtsai., 2021*). Ennek következménye, hogy a légylárvák meglehetősen ellenállóak a legtöbb betegségekkel, illetve kórokozókkal szemben (*Joosten és mtsai., 2020*), ám ez nem jelenti azt, hogy ez tömeges tenyésztési körülmények között is így marad. Minden domesztikált állatfajnál, illetve melyeket természetes környezetüktől izoláltak, fogékonyabbá váltak a fertőző betegségekre, és ez alól a rovarok sem kivételek (*Eilenberg és mtsai., 2015*).

5. Következtetések

A tanulmányok rámutatnak arra, hogy az FKL lárváinak immunrendszere összetett, és annak működését jelentősen befolyásolja a táplálkozásuk is. Bár a természetben a lárvák ellenállóak a kórokozókkal szemben, ez a tulajdonság mesterséges tenyésztési környezetben nem garantált. Jobban kell értenünk a potenciális FKL-kórokozókat, és gyors, megbízható diagnosztikai eszközöket kell kifejlesztenünk a kimutatásukra, hogy megtanuljunk, miként enyhíthetjük ezek hatását. Ehhez együttműködés szükséges a tudósok, a rovarbetegségekre specializálódott laboratóriumok, valamint az FKL-termelők között. Ezért a megfelelő takarmányozás és a környezeti feltételek optimalizálása kulcsfontosságú a lárvák egészségének megőrzése érdekében. Továbbá az ipari léptékű rovarfehérje előállításához precíziós takarmányozás szükséges.

6. Felhasznált irodalom

- Barragan Fonseca, K. – Gort, G. – Dicke, M. – van Loon, J. J. A. (2019): Effects of dietary protein and carbohydrate on life-history traits and body protein and fat contents of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Physiol. Entomol.*, 44. 148–159. <https://doi.org/10.1111/phen.12285>
- Bizottság 142/2011/EU rendelete a nem emberi fogyasztásra szánt állati melléktermékekre és a belőlük származó termékekre vonatkozó egészségügyi szabályok megállapításáról szóló 1069/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet végrehajtásáról
- 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
- Bruno, D. – Montali, A. – Mastore, M. – Brivio, M. F. – Mohamed, A. – Tian, L. – Grimaldi, A. – Casartelli, M. – Tettamanti, G. (2021): Insights into the immune response of the black soldier fly larvae to bacteria. *Front. Immunol.*, 12. 745160. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.745160>
- Chia, S. Y. – Tanga, C. M. – Khamis, F. M. – Mohamed, S. A. – Salifu, D. – Sevgan, S. – Fiaboe, K. K. M. – Niassy, S. – van Loon, J. J. A. – Dicke, M. – Ekesi, S. (2018): Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: implications for mass production. *PLoS One*, 13. e0206097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
- De Miranda, J. R. – Granberg, F. – Low, M. – Onorati, P. – Semberg, E. – Jansson, A. – Berggren, Å. (2021): Virus diversity and loads in crickets reared for feed: implications for husbandry. *Front. Vet. Sci.*, 8. 642085. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.642085>
- Dicke, M. (2023): Temperature-modulated host–pathogen interactions between *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) and *Pseudomonas protegens* Pf-5. *J. Invertebr. Pathol.*, 202. 107934. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2023.107934>
- Eggink, K. M. – Donoso, I. G. – Dalsgaard, J. (2023): Optimal dietary protein to carbohydrate ratio for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *J. Insects Food Feed*, 9. 789–798. <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0102>
- Eilenberg, J. – Vlák, J. M. – Nielsen-LeRoux, C. – Capellozza, S. – Jensen, A. B. (2015): Diseases in insects produced for food and feed. *J. Insects Food Feed*, 1. 87–102. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0022>
- Eilenberg, J. – Vlák, J. M. – Nielsen-LeRoux, C. – Mahmoud, A. E. – Morel, P. C. H. – Potter, M. A. – Ravindran, V. (2022): Poultry red mite (*Dermanyssus gallinae*) poses a risk in the rearing of black soldier fly (*Hermetia illucens*). *J. Insects Food Feed*, 9. 55–63. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0205>
- Eke, M. – Tougeron, K. – Hamidovic, A. – Ngamo Tinkeu, L. S. – Hance, T. – Renoz, F. (2023): Deciphering the functional diversity of the gut microbiota of the black soldier fly (*Hermetia illucens*): recent advances and future challenges. *Anim. Microbiome*, 5. 40. <https://doi.org/10.1186/s42523-023-00261-9>
- Európai Parlament és a Tanács 999/2001/EK rendelete egyes fertőző szivacsos agyvelőbántalmak megelőzésére, az ellenük való védekezésre és a felszámolásukra vonatkozó szabályok megállapításáról.

- Európai Parlament és a Tanács* 183/2005/EK rendelete a takarmányhigiénia követelményeinek meghatározásáról.
- Európai Parlament és a Tanács* 1069/2009/EK rendelete a nem emberi fogyasztásra szánt állati melléktermékekre és a belőlük származó termékekre vonatkozó egészségügyi szabályok megállapításáról és az 1774/2002/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről (állati melléktermékekre vonatkozó rendelet).
- FAO (2021): Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4094en>
- FAO – IFAD – UNICEF – WFP – WHO (2024): The state of food security and nutrition in the world 2024. FAO, Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1254en>
- Harvey, J. A. – Heinen, R. – Gols, R. – Thakur, M. P. (2020): Climate change-mediated temperature extremes and insects: from outbreaks to breakdowns. *Glob. Change Biol.*, 26. 6685–6701. <https://doi.org/10.1111/gcb.15377>
- Holmes, L. A. – Vanlaerhoven, S. L. – Tomberlin, J. K. (2013): Substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environ. Entomol.*, 42. 370–374. <https://doi.org/10.1603/EN12255>
- Holtermans, B. (2023): Protein and carbohydrate ratio for black soldier fly. *Insect School*. Elérhető: <https://www.insectschool.com/raising/protein-and-carbohydrate-ratio-for-black-soldier-fly/>
- Jensen, A. B. – Lecocq, A. (2023): Diseases of black soldier flies *Hermetia illucens* L.: a future challenge for production? *J. Insects Food Feed*, 10. 1719–1723. <https://doi.org/10.3920/JIFF2023.0030>
- Joosten, L. – Lecocq, A. – Jensen, A. B. – Haenen, O. – Schmitt, E. – Eilenberg, J. (2020): Review of insect pathogen risks for the black soldier fly (*Hermetia illucens*) and guidelines for reliable production. *Entomol. Exp. Appl.*, 168. 432–447. <https://doi.org/10.1111/eea.12916>
- Jordan, H. R. – Tomberlin, J. K. (2021): Microbial influence on reproduction, conversion, and growth of mass produced insects. *Curr. Opin. Insect Sci.*, 48. 57–63.
- Lin, S. W. – Shelomi, M. (2024): Black soldier fly (*Hermetia illucens*) microbiome and microbe interactions: a scoping review. *Animals*, 14. 3183. <https://doi.org/10.3390/ani14223183>
- Nakamura, S. – Ichiki, R. – Shimoda, M. – Morioka, S. (2016): Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: low-cost and year-round rearing. *Appl. Entomol. Zool.*, 51. 161–166. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0376-1>
- Okpoko, O. – Ebenebe, C. I. – Okeke, J. J. – Amobi, M. I. – Umeaniebue, A. C. (2024): Effect of substrate moisture on the growth performance and survivability of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larva. *Int. J. Res. Innov. Appl. Sci.*, 9. <https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2024.905001>
- Pienaar, R. D. – Gilbert, C. – Belliardo, C. – Herrero, S. – Herniou, E. A. (2022): First evidence of past and present interactions between viruses and the black soldier fly, *Hermetia illucens*. *Viruses*, 14. 1274. <https://doi.org/10.3390/v14061274>
- Ribeiro, N. – Costa, R. – Ameixa, O. M. C. C. (2022): The influence of non-optimal rearing conditions and substrates on the performance of the black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Insects*, 13. 639. <https://doi.org/10.3390/insects13070639>

- She, W. – Xiao, Q. – Meng, Y. – Zhao, P. – Wu, C. – Huang, F. – Cai, M. – Zhang, J. – Yu, Z. – ur Rehman, K. – Peng, D. – Zheng, L. (2023): Isolated and identified pathogenic bacteria from black soldier fly larvae with "soft rot" reared in mass production facilities and its incidence characteristics. *Waste Manag.*, 163. 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.023>
- Tomberlin, J. K. – Sheppard, D. C. – Joyce, J. A. (2002): Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 95. 379–386. [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0379:SLHTOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0379:SLHTOB]2.0.CO;2)
- Tomberlin, J. K. – van Huis, A. (2020): Black soldier fly from pest to "crown jewel" of the insects as feed industry: an historical perspective. *J. Insects Food Feed*, 6. 1–4. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0003>
- van Huis, A. – van Itterbeeck, J. – Klunder, H. (2014): Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper No. 171. FAO, Rome. <https://edepot.wur.nl/258042>
- Vogel, H. – Müller, A. – Heckel, D. G. – Gutzeit, H. – Vilcinskas, A. (2018): Nutritional immunology: Diversification and diet-dependent expression of antimicrobial peptides in the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Dev. Comp. Immunol.*, 78. 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.dci.2017.09.008>
- Vogel, M. – Shah, P. N. – Voulgari-Kokota, A. – Maistrou, S. – Aartsma, Y. – Beukeboom, L. W. – Falcao Salles, J. – van Loon, J. J. A. – Dicke, M. – Wertheim, B. (2021): Health of the black soldier fly and house fly under mass-rearing conditions: innate immunity and the role of the microbiome. *J. Insects Food Feed*, 8. 857–878. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0151>
- Yakti, W. – Müller, M. – Klost, M. – Mewis, I. – Dannehl, D. – Ulrichs, C. (2023): Physical properties of substrates as a driver for *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae growth. *Insects*, 14. 266. <https://doi.org/10.3390/insects14030266>
- Zhang, J. – Zhang, J. – Li, J. – Tomberlin, J. K. – Xiao, X. – ur Rehman, K. – Cai, M. – Zheng, L. – Yu, Z. (2021): Black soldier fly: a new vista for livestock and poultry manure management. *J. Integr. Agric.*, 20. 1167–1179. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63423-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63423-2)

Szerzők/Authors

SLEZÁK Izabella

*Állatorvostudományi Egyetem, Állattenyésztési, Takarmányozástani és Laborállat-tudományi Intézet,
Takarmányozástani és Klinikai Dietetikai Tanszék*

*Department of Animal Nutrition and Clinical Dietetics Institute of Animal Breeding, Nutrition and
Laboratory Animal Science University of Veterinary Medicine Budapest*

H-1078 Budapest, István utca 2.

levelezőszerző, e-mail: slezak.liza@gmail.com

HETÉNYI Nikoletta

*Állatorvostudományi Egyetem, Állattenyésztési, Takarmányozástani és Laborállat-tudományi Intézet,
Takarmányozástani és Klinikai Dietetikai Tanszék*

*Department of Animal Nutrition and Clinical Dietetics Institute of Animal Breeding, Nutrition and
Laboratory Animal Science University of Veterinary Medicine Budapest*

H-1078 Budapest, István utca 2.

e-mail: hetyenyi.nikoletta@univet.hu

*Érkezett/Recived: 2025. október
Elfogadva/Accepted: 2025. november*



*A cikkre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
The article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license: [CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)*