

A FEKETE KATONALÉGY (*HERMETIA ILLUCENS*) NAGYÜZEMI TENYÉSZTÉSE

HETÉNYI NIKOLETTA

ÖSSZEFOGLALÁS

A fekete katonalégy (*Hermetia illucens*) a legnagyobb mennyiségben előállított tenyésztett rovar. A többi, nagyüzemi körülmények között előállított rovarral összehasonlítva speciálisabb környezeti igényei vannak. A kifejlett legyek és a lárvák számára optimális a 25-27°C-os hőmérséklet és 60-70%-os relatív páratartalom. A kifejlett legyek párzásának megindulásához nélkülözhetetlen a mesterséges megvilágítás vagy a természetes napfény. Megvilágításra leginkább a halogén izzó vagy még inkább a LED-fény alkalmas, ami fluoreszcens izzóval kombinálható. A különböző hullámhosszú LED fények együttes alkalmazása (365 nm, 450 nm és 515 nm, 1:1:3 arányban) kedvezőbb, mint a fehér LED fény önmagában. A legyek termékegységi mutatóit és élettartamát elsősorban takarmányozással lehet javítani, ami lehet cukros víz, de kedvezőbb hatású a cukor-tejpor-pepton 3:1:1 arányú keveréke. Különlegességnek számít, hogy a fekete katonalégy száraz helyre rakja a petéket és vizsgálatok alapján a hullámpapír ehhez megfelelő közeg. A lárvákat 50-70% nedvességtartalmú takarmánykeveréken érdemes tartani, jó választás a csirketáp vagy ehhez hasonló összetételű takarmány. A lárvák és előbábok testösszetételére takarmányozásuk jelentős hatással van, emiatt kedvező testösszetételt, ezen belül nagy laurinsav-tartalmat eredményez a csirketáp használata.

SUMMARY

Hetényi, N.: MASS PRODUCTION OF BLACK SOLDIER FLY (*HERMETIA ILLUCENS*)

This article summarizes the most important technical requirements of the mass production of black soldier fly (*Hermetia illucens*). Black soldier fly is native in tropical, subtropical, and warm temperate zones of America, but in recent decades has spread across all continents. It has a unique 1-2.5 cm long wasp-like black body. For decades, it has been used for waste management, and currently, it is the most important farmed insect species. The black soldier fly — with certain restrictions — is authorised as animal feed in the European Union, United States, and Canada. Larvae can consume a wide range of substrates such as organic waste and agricultural by-products. Both larvae and adults can be kept at 25-27°C ambient temperature with a relative humidity of 60-70%. Indoor housing is recommended to ensure the constant ambient temperature and air humidity. In an artificial environment, mating and oviposition requires quartz-iodine lighting or LED artificial lightening. The combination of different LED lights (365 nm, 450 nm, and 515 nm, in 1:1:3) seems to be more efficient than white LED light. Females deposit a single clutch containing 200-700 eggs, and they prefer to oviposit in a dry area. An optimal oviposition site can be the corrugated cardboard. This should be changed over some organic substrate that attracts the females. As female flies are larger and have a longer development time than males, they emerge approximately 2 days earlier. The optimal larval density is 4-6 ind/cm². If a chicken feed is used as a substrate, its recommended moisture content is 60%. The larval development has a sigmoid curve, and it is followed by the prepupal stage. The prepupae are self-harvesting which means that they climb out to the surface before pupation. The growth rate, survival rate, body weight, performance, and nutritional value depend on the quality of substrate but is also influenced by the age of the larvae or prepupae. The performance of larvae is much better on chicken feed than on low-quality organic waste or manure. The antimicrobial lauric acid content of larvae can also be maximised (61% of fatty acids) by using the chicken feed. There is a common myth that adult flies do not have functioning mouthparts. It is true that they can rely on their body fat reserves and survive for approximately 8-10 days. The life span and reproduction rate of adult flies can be increased by providing water and sugar or the mixture of water, milk powder, and peptone.

BEVEZETÉS

A fekete katonalégy (FKL, *Hermetia illucens*) Közép- és Dél-Amerikában őshonos, de ma már világszerte elterjedt faj. Már több mint 30 éve tanulmányozzák, felhasználási területe a kezdetben csak a szerves hulladékgazdálkodásra szorítkozott (Sheppard és mtsai, 2002; van Huis és Tomberlin, 2017). Az Európai Unióban évi 37 millió tonna biohulladék keletkezik az élelmiszerszektorban, amelynek megsemmisítéséhez felhasználhatók a katonalegyek. Az utóbbi években takarmányként való hasznosítása került előtérbe és a takarmányozási célú rovartenyésztés legnagyobb mennyiségben előállított, legfontosabb faja (Tomberlin és van Huis, 2020). A FKL felhasználható — a jogszabályi tiltások figyelembevételével — egyes haszonállatok és a társállatok takarmányozásában nem csak az Európai Unióban, hanem az Egyesült Államokban és Kanadában is (2017/893 EU rendelet; AAFCO: 60.117 and T60.117(C); CFIA Feeds Regulations). A FKL nagyüzemi előállítása több szempontból is eltér az egyéb tenyésztett rovarokétól és a sikeres szaporításhoz nélkülözhetetlen egyes speciális igények (pl.: fény, hőmérséklet, páratartalom, peterakó közeg) ismerete.

EGYEDFEJLŐDÉS

A katonalégyfélék (*Stratiomyidae*) családja a rovarok osztályán belül a kétszárnyúak (*Diptera*) rendjébe tartozik és 1500 fajuk ismert. A jellegzetesen hosszúkás, darázsszerű kinézettel rendelkező légy testhossza 1-2,5 cm. Teljes átalakulással fejlődik. Egy nőstény 200-700 db petét rak le, amelyekből 4 napon belül (27°C-on) kikelnek a lárvák. A petékből frissen kikelt lárvák 1 mm-nél kisebbek, testsúlyuk 0,015 mg körüli. A bebábozódás előtt, a 7. fejlődési stádiumban a lárvák az alomanyagból a felszínre másznak („önbegyűjtők”), ami jelentősen megkönnyíti nagyüzemi termelésüket. A lárvák fejlődési üteme szigmoid görbét ír le, tehát az első 5 vedlés után lelassul (Gligorescu és mtsai, 2019). A lárvaalapot a felhasznált takarmánytól függően 18-36 napig tart és ekkora elérhetik akár a 3,5 cm testhosszt és a 0,5 g testsúlyt is. Az előbáb állapot 5-8 napig tart, amelyet az 1-2 hetes bábállapot követ.

A legyek a bából való kikelést követően 2-4 nappal kezdik meg a párzást, majd további 2 nap szükséges a nőstényeknek a peterakásig. A kifejlett legyek a saját zsírtartalékaikból csupán 8-10 napig képesek túlélni, de a táplálékkal és vízzel ellátott egyedek akár 47-73 napig is életképesek. A nőstények a villaszerű tojócsőről beazonosíthatók (Tomberlin, és mtsai, 2002, Holmes és mtsai, 2013; Nakamura és mtsai, 2016; van Huis és Tomberlin, 2017).

ZÁRTTÉRI TENYÉSZTÉS

A felnőtt legyek elhelyezésére leginkább 2-3x1-2x1-2 m-es fakeretes, szűnyoghálóból készített ketreceket használnak (van Huis és Tomberlin, 2017). A legyek telepítési sűrűségének nincs jelentős hatása a peterakás előtti időszak hosszára, a peték súlyára vagy a kelési arányra (Park és mtsai, 2016, Hoc és mtsai, 2019). A nagy egyedsűrűség (8500 légy/m³) azonban csökkentheti a kelési arányt, de ezen mutató és az egyedsűrűség között nem egyértelmű az összefüggés (Hoc és mtsai, 2019).

A kifejlett legyek számára, a legtöbb tanulmány szerint optimális a 25-27°C-os hőmérséklet és a 60-70%-os relatív páratartalom (Nakamura és mtsai, 2016; Meneguz és mtsai, 2018; Bartinetti és mtsai, 2019). A pázás megindulásához nélkülözhetetlen a speciális mesterséges megvilágítás vagy a természetes napfény (Huis és Tomberlin, 2017; Heussler és mtsai, 2018). Mivel a kültéri elhelyezés esetében nehézségekbe ütközik az optimális páratartalom és hőmérséklet állandó biztosítása, ezért mindenképpen zárt elhelyezés és mesterséges megvilágítás alkalmazása javasolt. Erre a célra használható halogén izzó, de még jobb választás a LED-fény, illetve ezek mellé fluoreszcens izzó is tehető (Zhang és mtsai, 2010; Oonincx és mtsai, 2016; Heussler és mtsai, 2018). Macavei és mtsai (2020) szerint a különböző hullámhosszú LED fények együttes alkalmazása (365 nm, 450 nm és 515 nm, 1:1:3 arányban) jobb szaporodási mutatókat eredményez, mint a fehér LED fény kizárólagos használata. Ennek hátterében az állhat, hogy a legyek retinájának fotoreceptorai a 440 (indigó/kék) és 540 (zöld) nm-es fényre a legérzékenyebbek. A fényerő is számít, aminek 0,92 W/m²-ről 431 W/m²-re emelése szignifikánsan

1. táblázat

A peték %-os lerakási aránya különböző peterakó közegek használatakor

(Boaru és mtsai, 2019)

Peterakó hely alapanyaga (1)	Peterakás pontos helye (6)	Lerakott peték %-a (16)
Fából készült (2)	falapok közötti rész (7)	93,50
	műanyag edény teteje (8)	3,90
	műanyag edény és benne lévő szerves anyag találkozási (9)	2,60
Üvegből készült (3)	az üveglapok fa elválasztó elemei (10)	48,57
	műanyag edény teteje (8)	15,71
	fa és üveglap találkozási (11)	7,15
	üveglapok (12)	2,86
	szerves anyag és a műanyag doboz találkozási (9)	25,71
Hullámpapírból készült (4)	hullámpapír (13)	80,26
	műanyag edény teteje (8)	1,31
	szerves anyag és a műanyag doboz találkozási (9)	14,47
	szerves anyag (14)	3,96
Műanyagból készült (5)	műanyag doboz belseje (15)	15,39
	műanyag edény teteje (8)	51,92
	szerves anyag és a műanyag doboz találkozási (9)	32,69

Table 1. The effect of oviposition material on egg production rate (%)

oviposition material (1), wood (2), glass (3), corrugated cardboard (4), plastic (5), oviposition site (6); wooden structure (7); plastic lid (8); contact area of plastic box and organic material (9); wooden spacers for glass plates (10); glass-wood contact surface (11); glass plates (12); corrugated cardboard structure (13); organic substrate (14); inside the plastic ball (15); distribution (16)

növeli a párzási aktivitást (Schneider, 2019). A napi 2 órás megvilágítással szemben a 18 óra növeli a peték súlyát (Hoc és mtsai, 2019), de összességében a 12-16 óra/nap megvilágítás megfelelő.

A peterakásra alkalmas felületet valamilyen szerves anyagot (pl.: sörtörköly, csirketáp) tartalmazó edény fölé kell helyezni, ami odavonzza a nőtényeket (Liu és mtsai, 2017; Heussler és mtsai, 2018; Boaru és mtsai, 2019). A peterakó közeget érdemes lefedni, mert a peterakáshoz a sötét környezetet jobban kedvelik a legyek (Boaru és mtsai, 2019). Különlegességnek számít, hogy a FKL száraz helyre rakja a petéket. Vizsgálatok alapján a legmegfelelőbbnek (a fával, üveggel vagy műanyaggal szemben) a hullámpír bizonyult (Boaru és mtsai, 2019). A FKL nőtények a petéket legszívesebben összeragasztott hullámpapír rései közé rakták. A nagyobb résekbe (2x5 mm) több petét raktak, mint a kisebb (1x3 mm) méretűekbe (Tomberlin és mtsai, 2002). Az 1. táblázat adatai alapján összehasonlíthatók a fából, hullámpapírból, műanyagból és üvegből készült peterakó helyek. Mindegyiket szerves anyaggal töltött, fedővel részben letakart edény fölé függesztették. Megfigyelhető volt, hogy a műanyagot, és különösen az üvegfelületet, nem kedvelték a legyek (Boaru és mtsai, 2019).

A lerakott petéket érdemes kisebb adagokban (nagyjából 1 g) külön műanyag edényekben elhelyezni. Egy 500 ml-es edényhez 50-100 g nedves takarmánnyal lehet számolni, ami 3-4 napra elegendő (van Huis és Tomberlin, 2017). Ezt követően a lárvákat nagyobb edénybe kell áthelyezni és napi 500-1000 g nedves takarmányt kell biztosítani a következő 7-10 napban, amikor a lárvák 40%-a eléri az előbáb állapotot. Az optimális környezet 25-27°C és 60-70% relatív páratartalom, de akár már 50% mellett is életképesek (Nakamura és mtsai, 2016; Meneguz és mtsai, 2018; Bertinetti és mtsai, 2019; Lupi és mtsai, 2019). A páratartalom további csökkenés jelentősen növeli a mortalitást, emiatt csökken a kelési arány (Holmes és mtsai, 2012). A dobozokat ajánlott lefedni, ezzel megakadályozható a kiszáradás, amire

2. táblázat

Az egyedsűrűség hatása a fekete katonalégység lárvák takarmányfelvételére, testsúlyára, fejlődési idejére és túlélési arányára (Dzepe és mtsai, 2019)

Lárvasűrűség, lárv/cm ² (1)	Alomanyag súlyának csökkenése, g/lárva (2)	Súly, g/friss lárva (3)	Fejlődési idő, nap (4)	Túlélési arány, % (5)
1	0,23±0,017 ^a	0,15±0,003 ^a	11,75±0,96 ^d	100,00±0,00 ^a
2	0,17±0,016 ^b	0,13±0,008 ^b	13,25±0,96 ^{cd}	100,00±0,00 ^a
4	0,14±0,006 ^c	0,12±0,003 ^{cd}	14,75±0,96 ^{bc}	98,33±1,36 ^{ab}
6	0,14±0,003 ^c	0,12±0,001 ^{bc}	15,50±1,29 ^b	96,67±0,91 ^{bc}
8	0,14±0,005 ^c	0,12±0,003 ^{cd}	16,25±0,50 ^{ab}	94,58±2,59 ^c
10	0,13±0,003 ^c	0,11±0,008 ^d	17,75±0,96 ^a	90,17±1,00 ^d

a,b,c,d Azonos oszlopokban eltérő betűvel jelzett adatok között szignifikáns különbség ($p \leq 0,05$) van (6)

Table 2. The effect of rearing density on the feed intake, wet weight, development time and survival rate of black soldier fly larvae

density of larvae (1); weight reduction of bedding material (2); wet weight (3); development time, day (4); survival rate (5); values within columns marked with different superscripts mean significant difference at $p \leq 0.05$ level (6)

a peték különösen érzékenyek. A nagyobb lárvasűrűség (10 lárva/ cm²) kisebb testsúlyhoz, hosszabb fejlődési időhöz és növekvő mortalitáshoz vezet (2. táblázat). A helykihasználás és a gazdaságosság szempontjából a 2-6 (maximum 8) lárva/ cm² tekinthető megfelelőnek (Dzepe és mtsai, 2019).

A lárvák fejlődési szakaszában a nagyobb méretű edény (610 × 420 × 115 mm, 10 000 lárvával) jobb túlélési arányt, de kisebb lárvasúlyt eredményezett, mint a kisebb tárolóedény (155 × 155 × 75 mm, 614 lárva) használata (Yang és Tomberlin, 2020).

A kifejlett legyek csoportosításánál fontos figyelembe venni, hogy a hímek nagyobb 2 nappal hamarabb kelnek ki, mint a nőtények. Ennek oka, hogy a nőtények fejlődése tovább tart, mert testükben több zsírt raktároznak a peterakáshoz, ezért nagyobb méretűek, mint a hímek (Tomberlin és mtsai, 2009). A csoportok kialakítása során az 50-50%-os ivararány megfelelő (van Huis és Tomberlin, 2017). A kísérletek során a legyek egyedi ivarmeghatározásával alakítják ki a kívánatos ivararányt. Ez gyakorlati körülmények között nehezen kivitelezhető. Az ivarok elkülönítését lehetővé teszi, a hímek rövidebb fejlődési ciklusa. A felnőtt legyek kikelésének kezdete után a 3. napon a bábok áthelyezhetők egy másik tárolóedénybe, az itt kikelt legyek nagy százalékban már nőtények lesznek.

TAKARMÁNYOZÁS

A lárvák rövid távú, 24 órás, éhezése megváltoztatja a metabolikusan aktív mikrobióta mennyiségét és összetételét, ami negatív hatással lehet a további fejlődési ütemre (Yang és mtsai, 2021). Emiatt esetleges szállítás vagy átcsoportosítás során is javasolt folyamatosan takarmány biztosítása. A lárvákat 50-70% nedvességtartalmú takarmánykeveréken érdemes tartani (Liu és mtsai, 2017; Meneguz és mtsai, 2018). Csirketáp etetésekor a 40-80% víztartamú keverékek közül a 60%-os bizonyult a legkedvezőbbnek, ami a gyorsabb fejlődési időben,

3. táblázat

A csirketáp nedvességtartalmának hatása a fekete katonalégység lárvák takarmányfelvételére, testsúlyára, fejlődési ütemére és túlélési arányára (Dzepe és mtsai, 2019)

Takarmány nedvességtartalma, % (1)	Alomanyag súlyának csökkenése, g/lárva (2)	Súly, g/friss lárva (3)	Fejlődési idő, nap (4)	Túlélési arány, % (5)
40	0,15±0,003 ^c	0,15±0,002 ^c	12,25±0,50 ^c	86,75±10,24
50	0,20±0,008 ^b	0,17±0,012 ^b	12,75±0,96 ^c	94,75±2,63
60	0,26±0,005 ^a	0,19±0,005 ^a	13,25±0,96 ^c	99,25±0,96
70	0,14±0,005 ^{cd}	0,14±0,003 ^{cd}	16,00±0,82 ^b	94,25±0,96
80	0,12±0,008 ^d	0,12±0,006 ^d	18,75±0,50 ^a	89,00±9,59

^{a,b,c,d} Azonos oszlopban eltérő betűvel jelzett adatok között szignifikáns ($p \leq 0,05$) különbség van (6)

Table 3. Effect of moisture content of chicken feed on feed intake, wet weight, development time and survival rate of black soldier fly larvae

moisture content (1); weight reduction of bedding material (2); wet weight (3); development time, day (4); survival rate (5); ^{a,b,c,d} values within columns marked with different superscripts mean significant difference at $p \leq 0.05$ level (6)

jobb túlélési arányban és a legjobb záró súlyban mutatkozott meg (*Dzepe és mtsai*, 2019, 3. táblázat).

A rovarok takarmányértékesítésének vizsgálatakor is használható a haszonállatoknál alkalmazott fajlagos takarmányhasznosítás (FCR = Feed Conversion Ratio). Entomológusok azonban inkább az elfogyasztott takarmány átalakításának hatékonyságával (ECI = Efficiency of Conversion of Ingested food) számolnak, ami a súlygyarapodás/elfogyasztott takarmány * 100 (*Waldbauer*, 1986). Emellett használható még a nitrogén átalakítási hatékonyság is (N-ECI; Nitrogen Conversion Efficiency) is, amely rovar nitrogéntartalma * rovar súlya/takarmány nitrogéntartalma * elfogyasztott takarmány mennyisége. A lárvák FCR értéke jelentősen kedvezőbb (1,4 vs. 1,9) ha nagyobb fehérje (21,9%) és zsírtartalmú (9,5%) takarmányt kaptak, mint közel azonos fehérje (22,9%), de kisebb zsírtartalom esetén (1%). Az egyéb termelési mutatók alakulását a 4. táblázat mutatja (*Oonincx és mtsai*, 2015).

4. táblázat

Különböző fehérje és zsírtartalmú takarmányok hatása a fekete katonalégység lárvatermelési mutatóira (*Oonincx és mtsai*, 2015)

Takarmány (1)	Túlélési arány, % (2)	Fejlődési idő, nap (3)	FCR (4)	ECI (5)	N-ECI (6)
nF (21,9%) + nZS (9,5%) [7]	86 ± 18,0	21 ± 1,4	1,4 ± 0,12	24 ± 1,5	51 ± 3,2
nF (22,9%) + kZS (1%) [8]	77 ± 19,8	33 ± 5,4	1,9 ± 0,20	20 ± 1,3	51 ± 32,5
kF (12,9%) + nZS (14,6%) [9]	72 ± 12,9	37 ± 10,6	2,3 ± 0,56	18 ± 4,8	55 ± 14,6
kF (14,4%) + kZS (2,1%) [10]	74 ± 23,5	37 ± 5,8	2,6 ± 0,85	17 ± 5,0	43 ± 12,8
kontroll (19,3% fehérje, 3,5% zsír) [11]	75 ± 31,0	21 ± 1,1	1,8 ± 0,71	23 ± 5,3	52 ± 12,2

nF = nagy fehérje, nZS = nagy zsír, kF = kis fehérje, kZS = kis zsír, FCR= Feed conversion ratio (fajlagos takarmányhasznosítás); ECI = Efficiency of conversion of ingested food, (elfogyasztott takarmány átalakításának hatékonysága); N-ECI=Nitrogen conversion efficiency (nitrogén átalakítás hatékonysága)

Table 4. Effects of feeds with different protein and fat content on the performance of black soldier fly larvae

feed (1); survival rate (2); development time, day (3); Feed Conversion Ratio (4); Efficiency of Conversion of Ingested food (5); Nitrogen Conversion Efficiency (6); high protein, high fat (7); high protein, low fat (8); low protein, high fat (9); low protein, low fat (10); control (11)

Az FCR és N-ECI értékek hasonlóan alakultak a különböző takarmányok etetésakor, de megállapítható, hogy a kisebb fehérjetartalmúakat kevésbé hatékonyan hasznosították. Az N-ECI értékek minden esetben nagyobbak voltak, mint az ECI, ami azt jelzi, hogy a FKL nagyobb hatékonysággal építette be a nitrogént, mint az egyéb takarmány összetevőket. Emiatt a fehérjében gazdagabb takarmány kedvezőbb FCR-hez és fejlődési ütemhez vezetett, mint a kisebb fehérjetartalmúak.

A lárvák optimális fejlődéséhez szénhidrátot is biztosítani kell, mert a kizárólag húsliszttel etetett csoport mortalitása nagyobb (60%), fejlődési üteme pedig lassabb (33 nap) volt, mint a csirkeetáp + húsliszt (50-50%-os arányban; 27%-os mortalitás, 19 nap fejlődés) és kizárólag csirkeetáp alkalmazásakor (7±3%-os mortalitás, 15 nap

fejlődés; Gobbi és mtsai, 2013). A húsliszttel etetett lárvák mortalitása bábállapotban már elérte a 80%-ot. A húsipari melléktermékek kizárólagos etetése több paraméter (pl.: fejlődési idő, túlélési arány) esetében is kedvezőtlenebb volt, mint a csirketáp és a zöldségek (Barragan-Fonseca és mtsai, 2017; 5. táblázat) felhasználásakor. A táplálóanyag-tartalom mellett ezeknek a különbségeknek a kialakulásában a takarmány állaga is szerepet játszhat. Ezzel kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy az EU-ban a húsipari melléktermékek felhasználása a rovartakarmányozásban csak korlátozásokkal, illetve nem engedélyezett (767/2009, 1069/2009 és 2017/893 EU rendeletek). Összességében elmondható, hogy a lárvák súlya és túlélési aránya szempontjából a csirketáp kedvezőbb, mint az egyéb szerves anyagok (Gobbi és mtsai, 2013; Nguyen és mtsai, 2013; Liu és mtsai, 2017).

5. táblázat

Csirketáp, illetve azzal megegyező fehérje- és zsírtartalmú takarmány etetésének hatása a fekete katonalégy élettani paramétereire és termelési mutatóira
(Barragan-Fonseca és mtsai, 2017)

Paraméter (1)	átlag ± szórás (2)		
	Csirketáp, illetve azzal megegyező fehérje- és zsírtartalmú takarmány (17)	Zöldségmaradék (18)	Húsipari melléktermék (19)
Lárva fejlődési ideje, nap (3)	24,6±6,2	34±13,5	32,5±8,2
Báb fejlődési ideje, nap (4)	14,8±6,8	22,9±1,2	16,5±7,5
Teljes életciklus, nap (5)	40,2±6,4	—	—
Lárvák túlélési aránya, % (6)	89,4±9,4	78,9±13,2	48,2±8,7
Bábok túlélési aránya, % (7)	91	—	—
Lárvák súlya friss, g (8)	0,158±0,02	0,13±0,03	0,158
Előbáb súlya friss, g (9)	0,105±0,005	0,179±0,03	—
Báb súlya friss, g (10)	0,150±0,03	—	0,115±0,01
Légy súlya friss, g (11)	0,053±0,01	—	—
Légy hossza, mm (12)	15,8	—	—
Légy élettartama, nap (13)	9,4±0,2	—	—
ECl, % (14)	17,6±6,3	17,2±4,3	—
ECD, % (15)	32,1±4,3	—	—
FCR (16)	1,8	8,3±6,2	—

FCR = Feed conversion ratio (fajlagos takarmányhasznosítás); ECD = Efficiency of conversion of digested food (a megemésztett takarmány átalakításának hatékonysága); ECl = Efficiency of conversion of ingested food (elfogyasztott takarmány átalakításának hatékonysága)

Table 5. Effects of different feeds on the performance of black soldier fly larvae

parameter (1); mean ± standard deviation (2); larval developmental time, day (3); pupal developmental time, day (4); total cycle, day (5); larval survival rate (6); pupal survival rate (7); larval weight (8); prepupal weight (9); pupal weight (10); adult weight (11); adult length (12); adult longevity, day (13); efficiency of conversion of ingested food (14); efficiency of conversion of digested food (15); feed conversion ratio (16); chicken feed or diets of similar crude protein and fat contents (17); vegetable waste (18); meat industrial by-products (19)

A takarmány 4 feletti pH-értéke nem befolyásolta a lárvák és bábok végsúlyát, de 4 alatti pH esetben már szignifikáns csökkenést tapasztaltak (*Meneguz és mtsai*, 2018). A lárvák fejlődési ideje pH:8 értéknél volt a legkedvezőbb, míg savas takarmányon (pH:2) a leglassabb (*Ma és mtsai*, 2018). Érdemes tehát olyan takarmánykeveréket használni, amellyel maximalizálható a lárvák súlya, mert ez meghatározó paraméter a kifejlett legyek reprodukciója szempontjából. A nagyobb súlyú lárvákból kikelt nőtények ugyanis több petét raktak le (*Georgescu és mtsai*, 2020).

A kifejlett legyek termékegységi mutatóit és élettartamát elsősorban a takarmányozással lehet javítani (*Macavei és mtsai*, 2020). Erre a célra alkalmas a cukor-tejpor-pepton 3:1:1 arányú keveréke. Ezen módszerrel 10 nappal meghosszabbítható a peterakási időszak és háromszorosára növelhető a lerakott peték mennyisége, amely azonban a keltethetőséget nem befolyásolta (*Bertinetti és mtsai*, 2019). Az egyszerű cukros víz vagy fehérjetartalmú oldat keverék is javítja a termelési mutatókat, illetve növeli a legyek élettartamát a vizet vagy semmit sem fogyasztó legyekhez képest (*Lupi és mtsai*, 2019; *Macavei és mtsai*, 2020). Egy másik vizsgálat szerint a legyek szívesebben fogyasztották a mézet, mint a fehér- vagy barna cukrot. Táplálékfelvételük tovább növelhető, ha az etetőedény fehér háttér előtt van, míg a kék vagy rózsaszín háttérrel nem kedvelték (*Romano és mtsai*, 2020).

TESTÖSSZETÉTEL

A lárvák és előbábok testösszetételét jelentősen befolyásolja a takarmányozás. Takarmányozási szempontból jóval kedvezőbb táplálóanyag tartalmat lehetett elérni csirketáppal, vagy ahhoz hasonló, takarmánnyal, mint egyéb, jellemzően alacsony táplálóanyag-tartalmú, szerves hulladékokkal. A FKL lárvák nyerszsírtartalma 6-38% között változik (*Marono és mtsai*, 2015; *Barragan-Fonseca és mtsai*, 2017; *Spranghers és mtsai*, 2017). Amennyiben csirketápot alkalmaztak, a lárvák zsírtartalma fejlődésük során fokozatosan nőtt és a maximumot (28,4%) 14 napos korban érte el. Egy fiatal előbáb 24,2% nyerszsírt tartalmaz, míg a báb csupán 8,2%-ot (*Liu és mtsai*, 2017).

A FKL lárvá különlegessége, hogy zsírja gazdag az antimikrobiális hatású laurinsavban (*Makkar és mtsai*, 2014; *Liu és mtsai*, 2017). A lárvák takarmányozása jelentős hatással van a laurinsav mennyiségére, ami az összes zsírsav 21,4–49,3%-át teszi ki (*Makkar és mtsai*, 2014; *Liu és mtsai*, 2017; *Danieli és mtsai*, 2019). Búzakorpa (50%), lucernaliszt (30%) és kukoricaliszt (20%) keverékén nevelve például átlagosan csak 17,5%-ot lehetett elérni (*Montevecchi és mtsai*, 2019). Ezzel szemben csirketáp (21% nyersfehérje-tartalom) használatakor már 61%-ot tett ki, és a lárvá zsírtartalma is ekkor volt a legkedvezőbb (*Liu és mtsai*, 2017). Ebből a szempontból a takarmány mellett a lárvák életkora is meghatározó. A csirketáppal etetett egyedek laurinsav-tartalma 14 napos korban érte el a 61%-os maximumot (*Liu és mtsai*, 2017).

A FKL lárvá nyersfehérje-tartalma 38-57% között mozog (*Marono és mtsai*, 2015; *Barragan-Fonseca és mtsai*, 2017; *Spranghers és mtsai*, 2017). A kitintartalommal korrigált nyersfehérje mennyisége 37,7-40,7% (*Spranghers és mtsai*, 2017). A lárvák életkora hatással van a fehérjetartalomra is, ami csirketáp (21% fehérjetartalom) használatakor egy napos korban 56% volt, de 12 napos korban már csak 38%. Ezt követően ismét fokozatosan növekszik, végül az előbáb esetében 40%, míg a báboknál 43-46% körül alakult (*Liu és mtsai*, 2017). Ehhez képest kisebb fehérje-

tartalmú (10,6-13,8%) takarmányok felhasználásakor jelentősen kisebb volt a lárvák fehérjetartalma (34,0-34,7%). *Danieli és mtsai* (2019) vizsgálatában ugyanakkor a fehérjében gazdagabb takarmány etetése nem növelte szignifikáns mértékben a lárvák fehérjetartalmát és rosszabb fajlagos takarmányhasznosításhoz is vezetett. Összességében azonban látható, hogy takarmányozási célú FKL előállításakor a legkedvezőbb testösszetétel eléréséhez érdemes csirketápot vagy ahhoz hasonló táplálóanyag tartalmú takarmányt használni.

A lárvák sokféle biohulladékon (pl.: szőlőszár, paradicsomhéb és mag, halmaradék, kenyértészta) nevelhetők és ezáltal alkalmasak ezen anyagok megsemmisítésére, amelyek felhasználásával zsírtartalmuk is kedvezően alakul (*Saadoun és mtsai*, 2020). Biohulladékkal etetett rovarok takarmányozási célú felhasználását ugyanakkor nem minden esetben teszik lehetővé a jelenleg érvényben lévő jogszabályok. A tenyésztett rovarokra ugyanis azonos takarmányozási tilalmak vonatkoznak, mint más élelmiszertermelő állatokra. Emiatt ételmaradékot, húst és halat tartalmazó élelmiszereket nem lehet felhasználni (999/2001 és 1069/2009 EU rendeletek). Az ilyen takarmányokon tartott rovarok emiatt csak talajjavításra, vagy a biodízel előállításban használhatók fel.

Végezetül elmondható, hogy a közelmúlt kutatási eredményei hatékonyabbá tehetik a FKL nagyüzemi előállítását. A gazdaságos termeléshez szükséges az állandó hőmérséklet és relatív páratartalom (25-27°C és 60-70%) biztosítása. A felnőtt legyek szaporodási mutatóinak maximalizálásához és élettartamuk növeléséhez nélkülözhetetlen takarmány biztosítása is (pl.: cukor-tejpor-pepton 3:1:1 arányú keveréke). A lárvák optimális takarmányozásával és meghatározott életkorban való felhasználásukkal pedig maximalizálható antibakteriális hatású laurinsav tartalmuk, valamint nyersfehérje- és nyerszsírtartalmuk is.

IRODALOMJEGYZÉK

- AAFCO: 60.117 and T60.117(C) dried black soldier fly larvae. AAFCO 2019 Official Publication. Association of American Feed Control Officials. Oxford, IN.
- Barragan-Fonseca, K. B. – Dicke, M. – van Loon, J. J. A. (2017): Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *J. Insects Food Feed*, 3. 105-120.
- Bertinetti, C. – Samayoa, A. C. – Hwang, S-Y. (2019): Effects of Feeding Adults of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on Longevity, Oviposition, and Egg Hatchability: Insights Into Optimizing Egg Production. *J. Insect Sci.*, 19. 1-7.
- Boaru, A. – Vig, A. – Ladoși, D. – Păpuc, T. – Struți, D. – Georgescu, B. (2019): The use of various oviposition structures for the black soldier fly, *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) in improving the reproductive process in captivity. *ABAH Bioflux*, 11. 12-20.
- CFIA: Canadian Food Inspection Agency, Feeds Regulations, SOR/83-593, 1983. Schedule IV Part 2.
- Danieli, P. P. – Lussiana, C. – Gasco, L. – Amici, A. – Ronchi, B. (2019): The effects of diet formulation on the yield, proximate composition, and fatty acid profile of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae intended for animal feed. *Animals*, 9. 178.
- Dzepe, D. – Nana, P. – Fotso, A. – Tchuinkam, T. – Djouaka, R. (2019): Influence of larval density, substrate moisture content and feedstock ratio on life history traits of black soldier fly larvae. *J. Insects Food Feed*, 6. 133-140.
- 999/2001 EU rendelet: Az Európai Parlament és a Tanács 999/2001/EK rendelete (2001. május 22.) egyes fertőző szivacsos agyvelőbántalmak megelőzésére, az ellenük való védekezésre és a felszámolásukra vonatkozó szabályok megállapításáról.

- 767/2009 EU rendelet: 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
- 1069/2009 EU rendelet: Az Európai Parlament és a Tanács 1069/2009/EK rendelete (2009. október 21.) 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).
- 2017/893 EU rendelet: A Bizottság 2017/893 rendelete (2017. május 24.) a 999/2001/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet I. és IV. mellékletének a 142/2011/EU bizottsági rendelet X., XIV. és XV. mellékletének a feldolgozott állati fehérjére vonatkozó rendelkezések tekintetében történő módosításáról.
- Georgescu, B. – Struti, D. – Pîpuc, T. – Ladosi, D. – Boaru, A. (2020): Body weight loss of black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) during development in non-feeding stages: Implications for egg clutch parameters. Eur. J. Entomol., 117. 216–225.
- Gligorescu, A. – Toft, S. – Hauggaard-Nielsen, H. – Axelsen, J. A. – Nielsen, S. A. (2019): Development, growth and metabolic rate of *Hermetia illucens* larvae. J. Appl. Entomol., 143. 875–881.
- Gobbi, P. – Martínez-Sánchez, A. – Rojo, S. (2013): The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). Eur. J. Entomol., 110. 461–468.
- Heussler, C. D. – Walter, A. – Oberkofler, H. – Insam, H. – Arthofer, W. – Schlick-Steiner, B. C. – Steiner, F. M. (2018): Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing. PLoS One, 13. e0197896.
- Holmes L. A. – Vanlaerhoven S. L. – Tomberlin J. K. (2012): Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). Environ. Entomol., 41. 971–978.
- 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.
- Hoc, B. – Noël, G. – Carpentier, J. – Francis, F. – Caparros Megido, R. (2019): Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. PLoS One, 14. e0216160.
- Liu, X. – Chen, X. – Wang, H. – Yang, Q. – Rehman, K. – Li, W. – Cai, M. – Li, Q. – Mazza, L. – Zhang, J. – Yu, Z. – Zheng, L. (2017): Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. PLoS One, 12. e0182601.
- Lupi, D. – Savoldelli, S. – Leonardi, M. G. – Jucker, C. (2019): Feeding in the adult of *Hermetia illucens* (Diptera Stratiomyidae): reality or fiction? J. Entomol. Acarol. Res., 51. 8046.
- Ma, J. – Lei, Y. – Rehman, K. U. – Yu, Z. – Zhang, J. – Li, W. – Li, Q. – Tomberlin, J. K. – Zheng, L. (2018): Dynamic effects of initial pH of substrate on biological growth and metamorphosis of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). Environ. Entomol., 8. 159–165.
- Macavei, L., Benassi, G. – Stoian, V. – Maistrello, L. (2020): Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. PLoS One, 15. e0232144.
- Makkar, H. P. S. – Tran, G. – Heuzé, V. – Ankers, P. (2014): State-of-the-art on use of insects as animal feed. Anim. Feed Sci. Technol., 197. 1–33.
- Meneguz, M. – Gasco, L. – Tomberlin, J. K. (2018): Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larval development. PLoS One, 13. e0202591.
- Montevecchi, G. – Zanasi, L. – Masino, F. – Maistrello, L. – Antonelli, A. (2019): Black soldier fly (*Hermetia illucens* L.): effect on the fat integrity using different approaches to the killing of the prepupae. J. Insects Food Feed, 6. 121–131.
- 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.
- Nguyen, T. T. X. – Tomberlin, J. K. – Vanlaerhoven, S. (2013): Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. J. Med. Entomol., 50. 898–906.

- Oonincx, D. G. A. B. – van Broekhoven, S. – van Huis, A. – van Loon, J. J. A. (2015): Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One*, 10. e0144601.
- Oonincx, D. G. A. B. – Volk, N. – Diehl, J. J. E. – van Loon, J. J. A. – Belušić G. (2016): Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED-based illumination to enhance indoor reproduction. *J. Insect Physiol.*, 95. 133-139.
- Park, K. – Kim, W. – Kim, E. – Choi, J. – Kim, S. (2016): Effect of adult population density on egg production in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*). *Int. J. Indust. Entomol.*, 33. 92-95.
- Romano, N. – Fischer, H. – Egnew, N. (2020): Color and sugar preferences of adult black soldier fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: *Stratiomyidae*) for feeding and oviposition. *J. Environ. Biol.*, 41. 1132-1137.
- Saadoun, J. H. – Montevicchi, G. – Zanasi, L. – Bortolini, S. – Macavei, L. I. – Masino, F. – Maistrello, L. – Antonelli, A. (2020): Lipid profile and growth of black soldier flies (*Hermetia illucens*, *Stratiomyidae*) reared on by-products from different food chains. *J. Sci. Food Agric.*, 100. 3648-3657.
- Sheppard, D. C. – Tomberlin, J. K. – Joyce, J. A. – Kiser, B. C. – Sumner, S. M. (2002): Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*). *J. Med. Entomol.*, 39. 695-698.
- Schneider, J. C. (2019): Effects of light intensity on mating of the black soldier fly (*Hermetia illucens*, Diptera: *Stratiomyidae*). *J. Insects Food Feed*, 6. 111-119.
- 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.
- Tomberlin, J. K. – Adler, P. H. – Myers, H. M. (2009): Development of the black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) in relation to temperature. *Environ. Entomol.*, 38. 930-934.
- 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.
- van Huis, A. – Tomberlin, J. K. (eds) (2017): *Insects as food and feed: from production to consumption*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, 447.
- Waldbauer, G. P. (1986): The consumption and utilization of food by insects. *Adv. Insect Phys.*, 5. 229-88.
- Yang, F. – Tomberlin, J. K. (2020): Comparing selected life-history traits of black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae produced in industrial and bench-top-sized containers. *J. Insect Sci.*, 20. 1-6.
- Yang, F. – Tomberlin, J. K. – Jordan, H. R. (2021): Starvation alters gut microbiome in black soldier fly (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae. *Front. Microbiol.*, 12. 601253.
- Zhang, J. – Huang, L. – He, J. – Tomberlin, J. K. – Li, J. – Lei, C. – Sun, M. – Liu, Z. – Yu, Z. (2010): An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*. *J. Insect Sci.* 2010; 10. 1-7.

Érkezett: 2021. május

Szerző címe: Hetényi N.

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

Author's address: University of Veterinary Medicine, Institute of Animal Breeding,
Nutrition and Laboratory Animal Science Department for Animal Nutrition
and Clinical Dietetics
H-1078 Budapest, István u. 2.
hetenyi.nikoletta@univet.hu