

# HERMETIA ILLUCENS: NON SOLO UNA FONTE DI PROTEINE PER LA PRODUZIONE DI MANGIMI

Morena Casartelli<sup>1</sup>, Marco Bonelli<sup>1</sup>, Daniele Bruno<sup>2</sup>  
e Gianluca Tettamanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Bioscienze

<sup>2</sup> Università degli Studi dell'Insubria, Dipartimento di Biotecnologie e Scienze della Vita

*Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) è un dittero appartenente alla famiglia Stratiomyidae, termine che deriva dal greco e significa “mosca soldato” (Figura 1).

La specie fu originariamente descritta da Linneo come *Musca illucens* nella decima edizione del *Systema Naturae* e successivamente assegnata al genere *Hermetia* Latreille, 1804. La descrizione linneana venne fatta su esemplari provenienti dal Sudamerica facenti parte della collezione privata dell'entomologo svedese Charles De Geer (Papavero, 1971). Fatto cu-

rioso, i due esemplari classificati come *Musca illucens* attualmente presenti nella Collezione Entomologica di Linneo presso la Società Linneana di Londra sono in realtà esemplari di un dittero Mydidae, e non sono note le ragioni della loro non corretta identificazione. Questi esemplari non rappresentano però i sintipi originali poiché di provenienza nordamericana; uno dei sintipi originali è invece presente nella Collezione Entomologica di De Geer conservata al Museo di Storia Naturale di Stoccolma (Lessard et al., 2018).



Fig. 1 Larva e adulto di *Hermetia illucens*

Anche alcuni aspetti relativi alla diffusione della specie, attualmente cosmopolita e presente indicativamente tra il 46° parallelo nord e il 40° parallelo sud, non sono del tutto chiari. Si ritiene che questo dittero abbia un'origine neotropica e che sia comparso in Europa nel ventesimo secolo. La specie fu infatti rinvenuta nel 1926 a

Malta (Lindner, 1936) e in seguito nell'area nord mediterranea. Ciononostante, il ritrovamento di una larva nel sarcofago della Principessa Isabella d'Aragona fa supporre che la specie potesse essere presente nel Vecchio Continente quantomeno già nel sedicesimo secolo (Benelli et al., 2014).

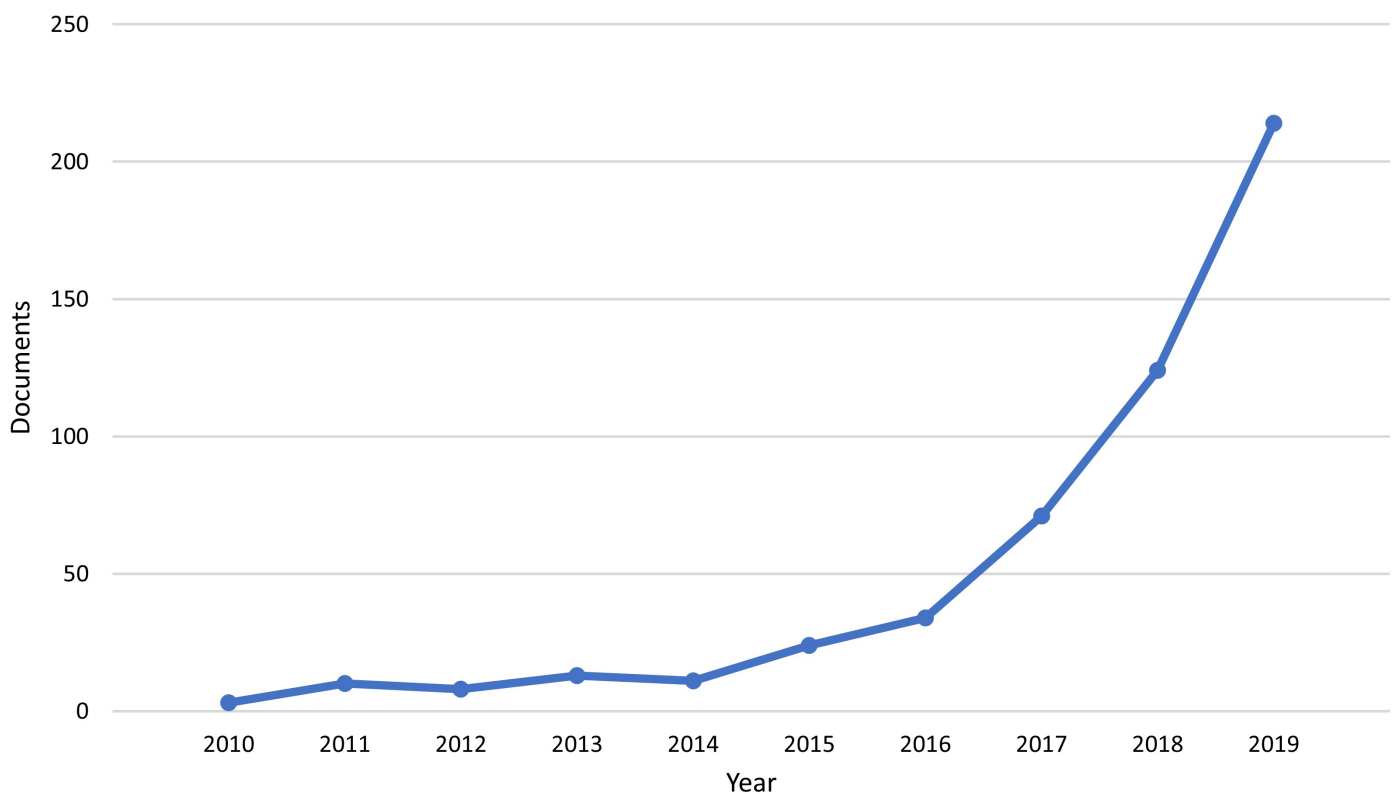


Fig. 2 Numero delle pubblicazioni scientifiche negli ultimi 10 anni che contengono "**Hermetia illucens**" o "Black Soldier Fly" nel titolo, nel riassunto o nelle parole chiave. Fonte: Scopus, dati estratti il 2 novembre 2020

Il ritrovamento della specie in Europa ai primi del '900 non destò comunque particolare interesse, tanto da essere considerato un arricchimento irrilevante per la fauna europea, nonostante già nel 1930 si fosse notata l'estrema plasticità alimentare di questo dittero. Il sacerdote ed entomologo tedesco Thomas Borgmeier, raccogliendo informazioni su *H. illucens*, riportava infatti come le larve potessero svilupparsi su ogni sorta di sostanza vegetale o animale in decomposizione (Borgmeier, 1930 come citato da Lindner, 1936). Sul Bollettino della Società Entomologica Italiana, i primi esemplari ritrovati in Italia, più precisamente in Toscana e nel Lazio, vennero segnalati senza particolari considerazioni: ci si limitò a concordare con l'ipotesi dell'origine americana della specie, a riportarne l'espansione dell'areale e a sottolineare una certa sinantropia (Venturi, 1956). Anche Oltreoceano, come ben sottolineato in una recente review (Tomberlin and Van Huis, 2020), l'interesse scientifico per la specie fu inizialmente limitato, per lo più correlato alle rare e accidentali miasi provocate nell'uomo e alle possibili misure di controllo della specie, considerata quindi come dannosa. Lo scarso interesse verso questo insetto continuò fino agli anni '60 del secolo scorso. Sebbene fu proposto l'uso delle larve di *H. illucens* per il contenimento di *Musca domestica* (Furman et al., 1959), la possibilità di "trading one pest for another" scoraggiò questo tipo di applicazione. Dagli anni '70 qualcosa iniziò a cambiare. Nonostante la maggioranza delle pubblicazioni scientifiche continuasse a considerare la specie come "pest", alcuni studi pionieristici (Hale,

1973; Newton et al, 1977) suggerirono l'impiego delle larve di *H. illucens* come alimento per polli e maiali, senza comunque proporre l'allevamento dell'insetto per questo specifico scopo, ma semplicemente la raccolta delle larve in natura. Nel ventennio seguente, oltre alle prime proposte di utilizzare questo dittero nell'ambito dell'entomologia forense, si ebbe la conferma della sua efficacia nel contenimento della mosca domestica, ma soprattutto si eseguirono i primi studi per valutare la capacità delle larve di crescere su scarti organici e il loro impiego come mangime. In un crescendo di evidenze, nel primo quindicennio del secolo corrente si è giunti a indicare *H. illucens* uno dei più promettenti agenti per la bioconversione di biomasse di scarsa qualità in proteine utilizzabili per la produzione di mangimi, e a mettere a punto le tecnologie per l'industrializzazione del processo di allevamento (Sheppard et al., 2002; Kroeckel et al., 2012; Nguyen et al., 2013; Van Huis, 2013; Paz et al., 2015). A 80 anni dalle parole di Borgmeier si riscopriva e valorizzava l'estrema plasticità alimentare delle larve di questo insetto. Una spinta significativa verso l'uso di *H. illucens* nei processi di bioconversione è derivata dai recenti cambiamenti nella legislazione dell'Unione Europea che ha autorizzato l'utilizzo delle proteine animali trasformate derivate da sette specie di insetto, tra cui *H. illucens*, per l'alimentazione degli animali d'acquacoltura purché allevati su substrati contenenti solo prodotti di origine non animale, fatta eccezione per alcuni specifici derivati come, ad esempio, latte, uova o miele (Regolamento UE 2017/893).

Sono ormai numerose le aziende che in Europa si occupano dell'allevamento delle larve di *H. illucens* su differenti tipologie di scarti alimentari, come gli scarti vegetali della filiera agroalimentare, e della loro trasformazione in farine da utilizzare per la produzione di mangimi. Questo processo di bioconversione permette agli scarti alimentari di riacquisire valore grazie alla loro reintroduzione nella catena produttiva, secondo l'ottica dell'economia circolare (Cappelozza et al., 2019) e rappresenta ad oggi la principale applicazione a livello industriale delle larve di *H. illucens*. Recenti ricerche mettono però in evidenza che la capacità di questo dittero di biotrasformare differenti substrati organici, inclusi i reflui zootecnici, può essere sfruttata per ottenere proteine da utilizzare in altri ambiti, come la produzione di bioplastiche (Barbi et al., 2019; Setti et al., 2020). Oltre alle proteine, anche la frazione lipidica potrebbe trovare impiego in diversi contesti, come la mangimistica (Sypniewski et al., 2020; Dumas et al., 2018), la produzione di biocarburanti (Zheng et al., 2012), o la cosmesi (Verheyen et al., 2018; Rabani et al., 2019). Tra i derivati ad alto potenziale applicativo non troviamo solo proteine e lipidi. La chitina, che rappresenta un importante sottoprodotto della lavorazione di queste larve, e il suo derivato chitosano potrebbero essere utilizzati nell'industria farmaceutica, in quella tessile o nel trattamento delle acque reflue (Purkayastha and Sarkar, 2019; Hahn et al., 2020). Inoltre, l'evidenza che le larve di *H. illucens* sono in grado di produrre un ampio spettro di peptidi antimicrobici (Vogel et al., 2018) apre la strada ad altre possibili applicazioni. Queste molecole sono infatti studiate con grande interesse per

il loro potenziale utilizzo come conservanti di alimenti e mangimi e come possibile alternativa agli antibiotici. Infine, un aspetto che merita ulteriori approfondimenti riguarda la possibilità che queste larve e il loro microbiota intestinale possano rappresentare una fonte di enzimi in grado di degradare substrati complessi come la cellulosa, la chitina o la lignina (Lee et al., 2014; Müller et al., 2017).

Le numerose realtà imprenditoriali che utilizzano *H. illucens* nei processi produttivi e l'aumento esponenziale del numero di pubblicazioni scientifiche che hanno questo insetto come oggetto di studio (Figura 2) sono una chiara dimostrazione dell'interesse verso l'argomento. Sorprendentemente, le informazioni sulla biologia di questo dittero sono invece ancora piuttosto limitate. Questa carenza di conoscenze può limitare le potenzialità di utilizzo di *H. illucens* per la riduzione di specifici rifiuti organici e l'ottenimento di nutrienti o molecole bioattive e quindi condizionare negativamente le future applicazioni biotecnologiche. Una recente pubblicazione, in cui è stato messo a punto un modello di digestione *in vitro* per valutare la performance delle larve di *H. illunces* nei processi di bioconversione di differenti rifiuti organici (Gold et al., 2020), mette in luce quanto sia importante disporre di conoscenze approfondite sulla fisiologia intestinale di queste larve per migliorare la capacità predittiva di questi modelli e quindi l'efficienza dello sfruttamento dei substrati di crescita. Solo di recente alcuni gruppi di ricerca, tra cui il nostro, hanno posto l'accento sulla necessità di approfondire le conoscenze sulla fisiologia di questi insetti.

A tal fine è stata eseguita una approfondita caratterizzazione dell'intestino medio larvale, l'organo direttamente coinvolto nello sfruttamento del substrato di crescita (Bonelli et al., 2019). Da questo studio è emerso che questo tratto del canale alimentare è particolarmente complesso e può essere suddiviso in tre regioni, ognuna delle quali presenta peculiari proprietà morfologiche e funzionali. Inoltre, le differenti caratteristiche chimico-fisiche di questi tre tratti influenzano la complessità del microbiota intestinale (Bruno et al., 2019a). È stato anche dimostrato che la capacità delle larve di *H. illucens* di crescere su substrati con un contenuto nutrizionale molto differente dipende dalla plasticità dell'intestino medio, in grado di mettere in atto meccanismi di adattamento che permettono di ottimizzare i processi di digestione e di assorbimento in funzione del tipo di substrato di crescita (Bonelli et

al., 2020). Anche l'apparato boccale delle larve (Figura 3) ha peculiari caratteristiche morfologiche e funzionali che rendono particolarmente efficiente lo sfruttamento del substrato alimentare (Bruno et al., 2020).

Per quanto riguarda l'insetto adulto, in molte pubblicazioni viene precisato che esso non si alimenta, senza riportare nessuna evidenza a supporto di questa affermazione. Recenti ricerche hanno però smentito queste ipotesi (Nakamura et al., 2016; Bertinetti et al., 2019; Bruno et al., 2019b; Macavei et al., 2020) e hanno dimostrato che l'adulto di *H. illucens* possiede un canale alimentare perfettamente funzionale e che l'alimentazione influenza la durata della fase adulta e la quantità di uova deposte dalle femmine, un aspetto particolarmente rilevante nell'ambito dell'allevamento su larga scala di questo insetto.

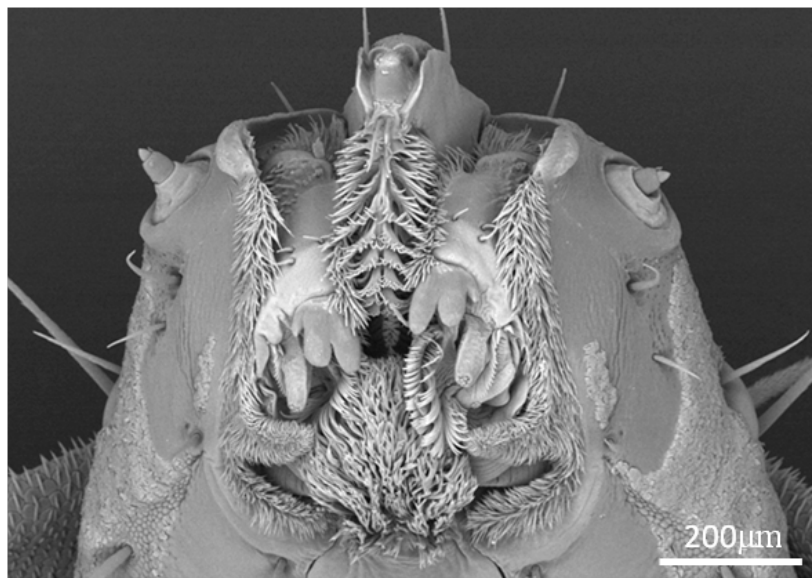


Fig. 3 Immagine in microscopia elettronica a scansione dell'apparato boccale di una larva di **Hermetia illucens**

Sebbene, come sottolineato in precedenza, negli ultimi anni siano stati fatti numerosi progressi per migliorare le conoscenze su questo promettente agente di bioconversione, diversi sono gli aspetti che la comunità scientifica deve approfondire per migliorare i processi e le applicazioni basati sull'utilizzo di *H. illucens* in modo da rendere economicamente competitivo l'utilizzo delle farine proteiche ottenute dalle larve per la produzione di mangimi e ampliare la gamma dei prodotti che possono derivare dai processi di biotrasformazione. Questi obiettivi potranno essere raggiunti solo attraverso una continua ricerca che deve necessariamente tenere in considerazione molteplici aspetti:

- 1) incremento dell'efficienza di conversione del substrato di allevamento da parte delle larve, biotrasformazione di rifiuti peculiari (ad esempio matrici organiche ad elevato contenuto di cellulosa o lignina) o estremamente problematici (quali reflui zootecnici, fanghi di depurazione, materie plastiche), e valorizzazione di materiali di scarto derivati da filiere produttive locali;
- 2) approfondita analisi composizionale delle larve allevate su differenti materiali di scarto e valutazione dell'adeguatezza delle diverse frazioni per la produzione di mangimi e altri bioprodotto;
- 3) caratterizzazione del microbioma delle larve allevate su differenti tipologie di scarto e identificazione di microrganismi che producono enzimi potenzialmente utili nell'ambito di specifici processi produttivi;

4) valutazione del rischio chimico e microbiologico legato al potenziale accumulo nelle larve di metalli pesanti e tossine presenti nel substrato di crescita e alla presenza di patogeni nell'insetto che possono comprometterne l'utilizzo nei processi produttivi;

5) creazione di stock center certificati, accessibili ai produttori di larve. Una preliminare analisi genetica dei ceppi attualmente utilizzati per individuare quelli caratterizzati dalle migliori prestazioni di bioconversione e l'eventuale impiego di approcci di manipolazione genetica dell'insetto (ad esempio tramite la tecnica CRISPR/Cas9, come già dimostrato in recenti lavori) potrebbero portare a un significativo miglioramento dell'efficienza dei processi di biotrasformazione;

6) valutazione del potenziale rischio legato all'introduzione di una specie non-nativa, per quanto non dannosa e cosmopolita come *H. illucens*, in regioni del mondo dove questa non è attualmente presente;

7) analisi della sostenibilità economica e valutazione dell'impatto ambientale delle attività di allevamento e bioconversione;

8) sviluppo di un quadro normativo adeguato a garantire da un lato la sicurezza dei processi e dei prodotti derivati da *H. illucens* e dall'altro a promuoverne l'utilizzo.

È indubbio che per approfondire tutti gli aspetti sopra brevemente elencati è indispensabile un approccio multidisciplinare, a cui le scienze

entomologiche possono dare un contributo fondamentale, in modo da raggiungere un significativo avanzamento delle conoscenze sulla biologia di questo insetto e contribuire a dare una forte spinta a un settore con enormi potenzialità di sviluppo. Il ruolo dell'entomologo è quindi imprescindibile e il suo contributo scientifico e culturale non si esaurisce nel dibattito accademico, ma può avere un'importanza rilevante anche per il sistema produttivo e sua sostenibilità.

## BIBLIOGRAFIA

- BARBI S., MESSORI M., MANFREDINI T., PINI M., MONTORSI M. 2019. Rational design and characterization of bioplastics from *Hermetia illucens* prepupae proteins. *Biopolymers*, 110: e23250.
- BENELLI G., CANALE A., RASPI A., FORNACIARI G. 2014. The death scenario of an Italian Renaissance princess can shed light on a zoological dilemma: did the black soldier fly reach Europe with Columbus? *Journal of Archaeological Science*, 49: 203-205.
- 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. *Journal of Insect Science*, 19:19.
- BONELLI M., BRUNO D., CACCIA S., SGAMBETTERA G., CAPPELLOZZA S., JUCKER C., TETTAMANTI G., CASARTELLI M. 2019. Structural and functional characterization of *Hermetia illucens* larval midgut. *Frontiers in Physiology*, 10: 204.
- BONELLI M., BRUNO D., BRILLI M., GIANFRANCESCHI N., TIAN L., TETTAMANTI G., CACCIA S., CASARTELLI M. 2020. Black soldier fly larvae adapt to different food substrates through morphological and functional responses of the midgut. *International Journal of Molecular Sciences*, 21: 4955.
- BRUNO D., BONELLI M., DE FILIPPIS F., DI LELIO I., TETTAMANTI G., CASARTELLI M., ERCOLINI D., CACCIA S. 2019a. The intestinal microbiota of *Hermetia illucens* larvae is affected by diet and shows a diverse composition in the different midgut regions. *Applied and Environmental Microbiology*, 85: e01864-18.
- BRUNO D., BONELLI M., CADAMURO A.G., REGUZZONI M., GRIMALDI A., CASARTELLI M., TETTAMANTI G. 2019b. The digestive system of the adult *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): morphological features and functional properties. *Cell and Tissue Research*, 378: 221-238.
- BRUNO D., BONACCI T., REGUZZONI M., CASARTELLI M., GRIMALDI A., TETTAMANTI G., BRANDMAYR P. 2020. An in-depth description of head morphology and mouthparts in larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Arthropod Structure & Development*, 58: 100969.

- CAPPELLOZZA S., LEONARDI M.G., SAVOLDELLI S., CARMINATI D., RIZZOLO A., CORTELLINO G., TEROVA G., MORETTO E., BADAILE A., CONCHERI G., SAVIANE A., BRUNO D., BONELLI M., CACCIA S., CASARTELLI M., TETTAMANTI G. 2019. A first attempt to produce proteins from insects by means of a circular economy. *Animals*, 9: 278.
- DUMAS A., RAGGI T., BARKHOUSE J., LEWIS E., WELTZIEN E. 2018. The oil fraction and partially defatted meal of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) affect differently growth performance, feed efficiency, nutrient deposition, blood glucose and lipid digestibility of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 492: 24-34.
- FURMAN D.P., YOUNG R.D., CATTS P.E. 1959. *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a factor in the natural control of *Musca domestica* Linnaeus. *Journal of Economic Entomology*, 52: 917-921.
- GOLD M., EGGER J., SCHEIDEGGER A., ZURBRÜGG C., BRUNO D., BONELLI M., TETTAMANTI G., CASARTELLI M., SCHMITT E., KERKAERT B., DE SMET J., VAN CAMPENHOUT L., MATHYS A. 2020. Estimating black soldier fly larvae biowaste conversion performance by simulation of midgut digestion. *Waste Management*, 112: 40-51.
- HAHN T., TAFI E., PAUL A., SALVIA R., FALABELLA P., ZIBEK S. 2020. Current state of chitin purification and chitosan production from insects. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 95: 2775-2795.
- HALE O.M. 1973. Dried *Hermetia illucens* larvae (Diptera: Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 8: 16-20.
- KROECKEL S., HARJES A.G., ROTH I., KATZ H., WUERTZ S., SUSENBETH A., SCHULZ C. 2012. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute – Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 364: 345-352.
- LEE C.M., LEE Y.S., SEO S.H., YOON S.H., KIM S.J., HAHN B.S., SIM J.S., KOO B.S. 2014. Screening and characterization of a novel cellulase gene from the gut microflora of *Hermetia illucens* using metagenomics library. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24: 1196-1206.
- LESSARD B.D., YEATES D.K., WOODLEY N.E. 2018. Revision of the Hermetiinae of Australia (Diptera: Stratiomyidae). *Austral Entomology*, 58: 122-136.
- LINDNER E. 1936. Die amerikanische *Hermetia illucens* L. im Mittelmeergebiet:(Stratiomyiidae, Dipt.). *Zoologischer Anzeiger*, 113: 335-336.
- MACAVEI L.I., BENASSI G., STOIAN V., MAISTRELLO L. 2020. Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. *PLoS ONE*, 15(4): e0232144.

- MÜLLER A., WOLF D., GUTZEIT H.O. 2017. The black soldier fly, *Hermetia illucens* - a promising source for sustainable production of proteins, lipids and bioactive substances. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 72: 351-363.
- NAKAMURA S., ICHIKI R.T., 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. *Applied Entomology and Zoology*, 51: 161-166.
- NEWTON G.L., BOORAM C.V., BARKER R.W., HALE O.M. 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *Journal of Animal Science*, 44: 395-400.
- NGUYEN T.T.X., TOMBERLIN J.K., VANLAERHOVEN S. 2013. Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50: 898-906.
- PAPAVERO N. 1971. *Essays on the History of Neotropical Dipterology, with special reference to collectors (1750-1905)*. Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, São Paulo (Brazil).
- PAZ A.S.P., CARREJO N.S., RODRÍGUEZ C.H.G. 2015. Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and biomass valorization*, 6: 1059-1065.
- PURKAYASTHA D., SARKAR S. 2019. Physicochemical structure analysis of chitin extracted from pupa exuviae and dead imago of wild black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Polymers and the Environment*, 28: 445-457.
- RABANI V., CHEATSAZAN H., DAVANI S. 2019. Proteomics and lipidomics of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) and blow fly (Diptera: Calliphoridae) larvae. *Journal of Insect Science*, 19: 29.
- SETTI L., FRANCIA E., PULVIRENTI A., DE LEO R., MARTINELLI S., MAISTRELLO L., MACAVEI L.I., MONTORSI M., BARBI S., RONGA D. 2020. Bioplastic film from black soldier fly prepupae proteins used as mulch: preliminary results. *Agronomy*, 10: 933.
- 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). *Journal of Medical Entomology*, 39: 695-698.
- SYPNIEWSKI J., KIEROŃCZYK B., BENZERTIHA A., MIKOŁAJCZAK Z., PRUSZYŃSKA-OSZMAŁEK E., KOŁODZIEJSKI P., SASSEK M., RAWSKI M., CZEKAŁA W., JÓZEFIAK D. 2020. Replacement of soybean oil by *Hermetia illucens* fat in turkey nutrition: effect on performance, digestibility, microbial community, immune and physiological status and final product quality. *British Poultry Science*, 61: 294-302.
- TOMBERLIN J.K., VAN HUIS A. 2020. Black soldier fly from pest to ‘crown jewel’ of the insects as feed industry: an historical perspective. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6: 1-4.

- VAN HUIS A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58: 563-583.
- VENTURI F. 1956. Notulae Dipterologicae. X. Specie nuove per l'Italia. *Bollettino della Società Entomologica Italiana*, 86: 56-58.
- VERHEYEN G.R., OOMS T., VOGELS L., VREYSEN S., BOVY A., VAN MIERT S., MEERSMAN F. 2018. Insects as an alternative source for the production of fats for cosmetics. *Journal of Cosmetic Science*, 69: 187-202.
- 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*. *Developmental and Comparative Immunology*, 78: 141-148.
- ZHENG L., LI Q., ZHANG J., YU Z. 2012. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. *Renewable Energy*, 41: 75-79.