

Ismena Kordylewska
Remigiusz Gałęcki

CZARNA MUCHA - NOWE ZWIERZĘ GOSPODARSKIE

Podręcznik hodowli czarnej muchy

Olsztyn 2021 r.

Konsultacja merytoryczna:
dr hab. Tadeusz Bakuła, prof. UWM

Zdjęcie na okładkę autorstwa Muhammad Mahdi Karim
https://pl.wikipedia.org/wiki/Plik:Hermetia_illucens_Black_soldier_fly_edit1.jpg (GNU Free Documentation License).

Publikacja powstała w ramach projektu
współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań
i Rozwoju programu GOSPOSTRATEG pt.: „Opracowanie
strategii wykorzystania alternatywnych źródeł białka
w żywieniu zwierząt umożliwiającej rozwój jego produkcji na
terytorium RP”. Umowa nr GOSPOSTRATEG1/385141/16/
NCBR/2018. Wartość projektu 5 214 500 zł. Wartość
dofinansowania 4 983 700 zł.

Spis treści

Wstęp	5
Opis biologii czarnej muchy.....	9
Taksonomia.....	12
Wygląd czarnej muchy i budowa anatomiczna	13
Cykl rozwojowy	19
Dlaczego owady?	23
Możliwości wykorzystania czarnej muchy.....	27
Prawo i bezpieczeństwo.....	35
Jak wygląda hodowla czarnej muchy	37
Warunki zoohigieniczne	38
Pozyskiwanie prepoczwerek.....	42
Żywienie <i>Hermetia illucens</i>	43
Zachowania rozrodcze czarnej muchy	46
Stada hodowlane.....	48
Pojemniki i zagęszczenie hodowli	50
Chów niekrewniaczy i wsobny	53
Dobrostan.....	54
Jak wygląda cykl hodowlany czarnej muchy	59
Opłacalność produkcji.....	65
Zasoby i organizacja hodowli	69
Zapewnienie jakości produktu	75
Jak zacząć hodowlę w kilku krokach	79
Słownik przydatnych pojęć	83
Literatura	89

Wstęp

Szanowni Państwo,

według prognoz ONZ, w 2050 roku światowa populacja osiągnie 9 mld ludzi. Spowoduje to potrzebę zwiększenia produkcji żywności, która będzie musiała wzrosnąć aż o 70%. Tak duże zapotrzebowanie na pokarm wymusza konieczność poszukiwania nowych, alternatywnych źródeł wartości odżywczych dla ludzi i zwierząt. Innowacją w tej dziedzinie jest białko owadzie, które w Unii Europejskiej stanowi tzw. „nową żywność”. Pojęcie to wprowadziło na teren UE zjawisko entomofagi, czyli jedzenia owadów przez człowieka i zwierzęta. Pomimo, że dla europejskiego kręgu kulturowego spożywanie owadów jest dość egzotyczne, nie jest niczym nowym. Dla wielu społeczeństw na całym świecie, owady od wieków stanowią część codziennej diety. W Polsce owady na talerze trafiają raczej sporadycznie i traktowane są jako ciekawostka lub potrawa egzotyczna. Niemniej jednak w przyszłości owady mogą okazać się skutecznym rozwiązaniem kwestii wyżywienia stale rosnącej liczby ludności i mogą wspomóc eliminację głodu na świecie. Białko pochodzenia owadziego może być wykorzystywane do produkcji paszy dla ryb, karmy dla zwierząt towarzyszących i futerkowych w UE. Może również stanowić rozwiązanie w zakresie karmienia innych zwierząt gospodar-

skich w przyszłości. Pomysł żywienia zwierząt przy pomocy owadów posiada bardzo duży potencjał.

W Europie zaczynamy obserwować, jak tworzy się zupełnie nowa branża w sektorze rolnym hodowla owadów. Oczywiście nie każdy owad nadaje się do chowu w warunkach stworzonych przez człowieka. Jednym z gatunków, który został uznany za zwierzę gospodarskie jest czarna mucha (Black Soldier Fly). Obecnie w Polsce poza firmą „HiProMine”, która jest pionierem oraz liderem w hodowli owadów i rozwoju technik hodowlanych, nie ma dużych firm zajmujących się ich produkcją na większą skalę. „HiProMine” realizuje wiele projektów rozwojowych, m.in. „Opracowanie i weryfikacja w warunkach rzeczywistych innowacyjnych metod uboju, sterylizacji, suszenia i separacji tłuszczu z larw *Hermetia illucens*, jako droga do zmniejszenia kosztów produkcji funkcjonalnych materiałów paszowych o podwyższonych parametrach jakościowych” lub „Innowacyjna technologia przemysłowego rozmnażania owadów”. Pozostałe istniejące podmioty charakteryzują się produkcją ekstensywną lub małoseryjną, opartą na znacznych nakładach pracy ze względu na brak zaawansowanej infrastruktury sprzętowej.

Publikacja ta została opracowana, aby przybliżyć Państwu podstawy hodowli *Hermetia illucens* w warunkach własnego gospodarstwa. Podręcznik przedstawia podstawową wiedzę, która pozwoli zacząć stawiać pierwsze kroki w hodowli owadów. Instrukcja ta powstała w ramach realizacji strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” Nr. DZP/GOSPOSTRATEG-I/224/2018 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt.:” Opracowanie strategii wykorzystania alternatywnych źródeł białka

owadów w żywieniu zwierząt umożliwiającą rozwój jego produkcji na terytorium RP”.

Mamy nadzieję, że po lekturze tego opracowania przekonają się Państwo, że hodowla czarnej muchy może stanowić łatwe i alternatywne źródło wartości odżywczych w żywieniu zwierząt.

Ismena Kordylewska, Tadeusz Bakuła i Remigiusz Gałęcki
Wydział Medycyny Weterynaryjnej
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Opis biologii czarnej muchy

Hermetia illucens w środowisku naturalnym występuje zwykle w miejscach produkcji rolnej. Szczególnie często spotkać ją można w otoczeniu składowania odpadów organicznych, z uwagi na specyficzne miejsce bytowania larw. Opisywane muchy spotykane są też w miastach, zwykle w okolicy śmietników lub kompostowników. Aktualnie *Hermetia illucens* (po części przez działalność człowieka) jest spotykana na prawie wszystkich kontynentach. Jej naturalny zakres występowania leży pomiędzy 46°N a 42°S szerokości geograficznej. Pierwsze wzmianki o występowaniu tego owada na terenie Europy pochodzą z 1926 roku. Obecnie obecność opisywanego owada odnotowano na przykład w Czechach, Francji, Niemczech, Szwajcarii i Włoszech.

Z punktu widzenia środowiska naturalnego, czarna mucha różni się znacząco od typowych much domowych, które mogą skutecznie uprzykrzać życie w gospodarstwie. *Hermetia illucens* nie jest szkodnikiem (dorosły owad nie pobiera pokarmu), ani nie przenosi chorób zakaźnych, dlatego jest ona niegroźna z punktu widzenia środowiska i bezpieczeństwa zdrowia publicznego. Gatunek ten odgrywa ważną rolę w krążeniu materii organicznej w środowisku. Jego umiejętność przetwarzania bioodpadów jest wręcz pożądana. W środowisku naturalnym,

mucha ta potrafi zmniejszyć masę odchodów czy obornika nawet o 50%, co wpływa na liczbę zanieczyszczeń w okolicy. Zapotrzebowanie larw na wodę, skutkuje wysuszeniem odpadów, a ciągły ich ruch w materiale prowadzi do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Co ciekawe czarna mucha jest zdolna do redukcji nieprzyjemnego zapachu z obornika. Interesującym jest również to, że w materiale organicznym w którym bytuje czarna mucha dochodzi do współzawodnictwa o zasoby z innymi owadami. Ten fenomen zmniejsza liczbę aktywnie żerujących osobników innych gatunków much. Czarna mucha potrafi zmniejszyć liczbę patogennych mikroorganizmów w materiale, na którym żeruje. Dzięki temu *Hermetia illucens* przyczynia się do zmniejszenia groźnych bakterii w środowisku. Na uwagę zasługuje fakt, że opisywany gatunek już od dawna wykorzystywany jest do utylizacji odpadów organicznych na małą skalę.

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 2015/2283, zainicjowało powstanie tak zwanej „nowej żywności” (ang. novel food), do której zakwalifikowanych zostało wiele produktów niespożywanych na co dzień w Europie. Do kategorii tej włączono owady oraz ich części. Obecna sytuacja na rynku wysokobiałkowych substratów paszowych spowodowała, że na terenie Unii Europejskiej zaczęto postrzegać *Hermetia illucens* jako obiecującą perspektywę w żywieniu zwierząt. Owad ten stanowić może warty uwagi składnik diety akwakultury, drobiu czy zwierząt towarzyszących. Czarna mucha w diecie zwierząt może być wykorzystana żywa, suszona lub może zostać przetworzona na mączkę owadzią wchodzącą do kategorii przetworzonych białek zwierzęcych. Ważnym wydarzeniem dla hodowców czarnej muchy było wprowadzenie rozporządzenia Komisji (UE) 2017/893 z dnia 24 maja

2017 r. na podstawie, którego owad ten uzyskał status zwierzęcia gospodarskiego. Umożliwiło to powstanie producentów i podmiotów zajmujących się chowem i hodowlą tego owada. Czarna mucha może być hodowana w skali wielkotowarowej jak i przydomowej.

Obserwowalny jest także duży wzrost innowacji technologicznych i produktowych powiązanych z tym owadem. Spowodowało to, że sektor hodowli owadów stał się dynamiczną gałęzią rozwoju rolnictwa. W dobie ptasiej grypy oraz afrykańskiego pomoru świń, owady zaczęły stanowić ciekawą i bezpieczną alternatywę dla konwencjonalnych zwierząt gospodarskich. Tym samym stanowią nową możliwość dla rolników, którzy z różnych przyczyn muszą się przebranżowić. Oprócz poznania procesów technologicznych, należy zapoznać się z podstawową wiedzą na temat czarnej muchy, aby lepiej zrozumieć procesy zachodzące w hodowli.

Ryc. 1. Larwa *Hermetia illucens* w środowisku naturalnym.



Autor: Marcello Consolo, <https://www.flickr.com/photos/marcelloconsolo/20737654056> (CC BY-NC-SA 2.0)

Ryc. 2. Postać dorosła *Hermetia illucens* w środowisku naturalnym.



Autor: Vengolis, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermetia_illucens_05269.jpg (CC BY-SA 4.0)

Taksonomia

Czarna mucha (Linnaeus, 1758) (łac. *Hermetia illucens*) nazywana także czarnym żołnierzem (ang. Black soldier fly) posiada wiele charakterystycznych cech pozwalających na określenie jej dokładnej systematyki. Czarna mucha przypisana jest do stawonogów, ponieważ posiada segmentowane ciało, członowate odnóży, w cyklu rozwojowym występuje stadium larwy oraz posiada szkielet zewnętrzny w postaci chitynowego pancerza. Jak na owady przystało, czarna mucha posiada 3 kroczne pary odnóży, żuwaczki, szczęki I i II pary i jedną parę czutek. Typowymi cechami dla muchówek u *Hermetia illucens* jest ruchomo osadzona na tułowiu głowa, posiadająca parę złożonych oczu. Oprócz tego, na głowie występują trzy przyoczka a segmenty tułowia i odwłok są silnie ze sobą pozzrastane. Czarna mucha przynależy do rodziny Iwinkowatych. Charakterystyczne dla tej rodziny jest ciało pozbawione dużych szczecin, półkolista

głowa, rozmieszczone na planie równobocznego trójkąta przyoczka i czułki składające się z krótkich segmentów. Ponadto u lwinkowatych aparat gębowy cechuje się dwurzędowymi głaszczkami, na odnóżach nie ma ostróg na goleniach a stopy posiadają parę przyłg. Skrzydła są przezroczyste, przydymione lub z wzorem, często pomarszczone. Żyłka kostalna nie obiega skrzydeł dookoła, lecz kończy się w okolicy wierzchołka. Komórki dyskoidalne mają kształt pięciokąta. Komórka postero-kubitalna jest klinowato wydłużona i zamknięta. Odwłok u tej rodziny jest wydłużony. Warto zwrócić uwagę, że do rodzaju *Hermetia* spp. zalicza się około 52 gatunki. Dalsze różnicowanie należy do rozważań entomologicznych i nie dostarcza istotnych informacji dla przyszłych hodowców.

Ryc. 3. Systematyka *Hermetia illucens*.



Wygląd czarnej muchy i budowa anatomiczna

Jaja czarnej muchy mają eliptyczny kształt, podobny do miniatury ryżu, z zaokrąglonymi końcami. Ich długość mieści się w zakresie ok. 1,0-1,4 mm. W zależności od wieku jaj, mają

one kolor od mlecznego do żółtego. Jaja są ułożone rzędami w charakterystycznych pakietach pokrytych śluzem, który ułatwia ich przyklejenie do podłoża i utrzymanie wilgotności.

Larwy czarnej muchy są w stanie urosnąć do 27 mm długości i 6 mm szerokości. Ciało stadium larwalnego posiada matowy oskórek zabarwiony na biało. Charakterystyczna jest mała i wystająca głowa. Na powierzchni naskórka obserwowana jest szczecinka. Larwa ma budowę segmentową. Ostatnie stadium larwalne – prepoczwarka posiada twardszy oskórek o brązowym/ciemnym kolorze.

Poczwarka posiada długość do 22 mm. Charakteryzuje się kolorem od brązowego do ciemnego. Ciało poczwarki jest wydłużone i spłaszczone. Poczwarka wyróżnia się twardą ornamentowaną kutikulą i sztywną szczecinką.

Postacie dorosłe osiągają długość 15-20 mm. Mają czarne ubarwienie z elementami o odcieniu żółtego, zielonego, czarnego lub niebieskiego. Pancerzyk chitynowy posiada metaliczny połysk. Anteny zbudowane są z 3 segmentów, wydłużone i co najmniej dwukrotnie dłuższe od głowy. Odwłok składa się z 5 dobrze zaznaczonych czarnych segmentów. Pierwszy i drugi segment zawiera dwie podłużne i półprzezroczyste plamy. Nogi są czarne z białymi goleniami i stopkami. Ostatni segment posiada jaśniejszy odcień (brązowy).

Postacie dorosłe czarnej muchy wykazują dymorfizm płciowy. Samce od samic odróżnia się poprzez wielkość ciała, kształt białych plam na odwłoku oraz kształt terminaliów (końcowa część odwłoka owadów). Samice mają znacznie więcej białych włosków na głowie w porównaniu do samców. U samicy terminalia są dłuższe niż u samców a przysadki odwłokowe mają dwa wydłużone segmenty. Płytki podgenitalne są wydłużone i skierowane dystalnie. Widelki skokowe narządów płciowych

są trójkątne z dużym środkowym otworem. U samców oprócz krótszej długości terminaliów, obserwuje się również narządy do podtrzymywania samicy w trakcie kopulacji.

U czarnej muchy, tak jak w przypadku innych zwierząt, można wyróżnić systemy narządów, które odpowiadają za utrzymanie funkcji życiowych oraz warunkują potrzeby i zachowania owadów.

Układ oddechowy *Hermetia illucens* zbudowany jest z systemu tchawek, które na terenie organizmu tworzą sieć rozwidlających się rurek. Na powierzchni ciała wszystkich stadiów rozwojowych znajdują się przetchlinki pozwalające na oddychanie powietrzem atmosferycznym. Przetchlinki posiadają specjalny aparat umożliwiający zamknięcie dróg oddechowych, np. w przypadku wycucia substancji toksycznych. Zabezpieczają one również owada przed nadmierną utratą wody z organizmu. Układ oddechowy czarnej muchy można przyrównać do drzewa, gdzie od dużych pni tchawkowych odgałęziają się coraz mniejsze tchawki aż osiągają rozmiar mniejszy niż 1 μm . Końcowe tchawki (tracheole) są wypełnione płynem. Tam dochodzi do rozpuszczania się gazów, następnie do wymiany dwutlenku węgla na tlen.

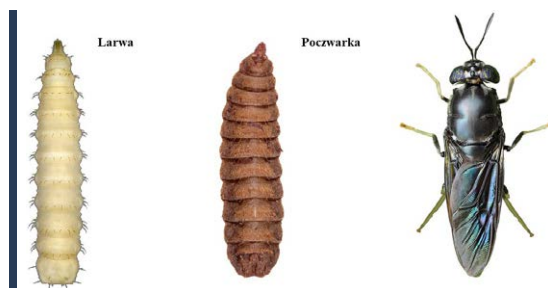
Czarna mucha posiada układ nerwowy zbudowany ze zwoju mózgowego znajdującego się w głowie oraz kilkunastu zwojów piersiowych i brzusznych. Ze zwojów piersiowych i brzusznych wychodzą nerwy, które rozprawdają impulsy nerwowe na terenie organizmu. Odpowiedzialne są one też za odbieranie i analizę bodźców ze środowiska zewnętrznego.

Ze względu na środowisko, w którym żyją larwy czarnej muchy, ich układ pokarmowy jest przystosowany do trawienia pokarmu pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. Pierwszym odcinkiem przewodu pokarmowego jest jelito przednie, które-

go funkcje przypominają przełyk i żołądek ssaków. Następnie rozpoczyna się najdłuższy odcinek układu pokarmowego, czyli jelito środkowe, które dzielimy na trzy regiony. Każdy z tych regionów posiada specyficzne zadanie i środowisko trawienia pokarmu. Ostatnim odcinkiem układu trawiennego jest jelito tylne, gdzie formułuje się kał i dochodzi do resorpcji wody oraz soli mineralnych. Do przewodu pokarmowego uchodzą cewki Malpighiego, które w dużym uproszczeniu można przyrównać do narządów wydalniczych ssaków. W cewkach kumulują się produkty przemiany materii w tym kwas moczowy oraz jony np. potasu czy sodu. Następnie wraz z wodą są one wydalone do jelita tylnego, gdzie mieszają się ze strawionym pokarmem. Trawienie pokarmu odbywa się przede wszystkim w jelicie środkowym za pomocą enzymów. Na skuteczność trawienia ma także wpływ flora przewodu pokarmowego.

U *Hermetia illucens* obserwuje się specyficzny dla owadów otwarty układ krążenia, w którym przepływa hemolimfa. Posiadają one segmentowane serce, o kształcie rurki z komorami. Serce usadowione jest na grzbietowej stronie wewnątrz jamy ciała. Hemolimfa krąży przez system naczyń z ujściami i włotami zlokalizowanymi na całej długości ciała. Pozwala to na prawidłowe krążenie hemolimfy po całym ciele.

Ryc. 4. Formy rozwojowe *Hermetia illucens*.



Ryc. 5. Pakiet jaj czarnej muchy.



Autor: Marcoadieter, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermetia_Illucens.jpg (CC BY-SA 4.0)

Ryc. 6. Larwy *Hermetia illucens*.



Autor: Dennis Kress, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermetiaillucens.jpg> (CCO 1.0)

Ryc. 7. Larwa czarnej muchy.



Pozyskano z Ivorra, T., Hauser, M., Low, V. L., Tomberlin, J. K., Nur Aliah, N. A., Cammack, J. A., & Heo, C. C. (2020). *Hermetia illucens* and *Hermetia fenestrata* (Diptera: Stratiomyidae) Colonization of "Spoiled" Stingless Bee *Geniotrigona thoracica* (Hymenoptera: Apidae) Hives in Malaysia. *Insects*, 11(11), 737. (CC BY 4.0)

Ryc. 8. Prepoczwarka *Hermetia illucens*.



Autor: Cricoidus, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermetia_Illucens_\(Larve_sixieme_stade\)_ \(sixth_instar_larva\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermetia_Illucens_(Larve_sixieme_stade)_ (sixth_instar_larva).jpg) (CC BY-SA 3.0)

Ryc. 9. Przeobrażenie *Hermetia illucens*



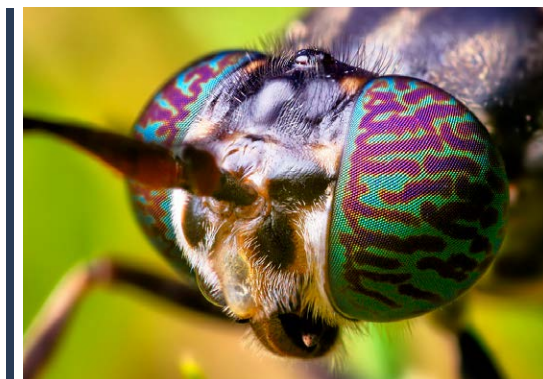
Autor: Nasih, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lalat_hitam_muda_\(Hermetia_ilucens\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lalat_hitam_muda_(Hermetia_ilucens).jpg) (CC BY-SA 4.0)

Ryc. 10. Postać dorosła (imago) czarnej muchy.



Autor: Père Igor, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermetia_illucens_P%C3%A9rigueux.jpg (CC BY-SA 4.0)

Ryc. 11. Głowa imago *Hermetia illucens*.



Autor: Thomas Shahan, <https://www.flickr.com/photos/opoterser/2836305917> (CC BY-NC-ND 2.0)

Cykl rozwojowy

Czarna mucha posiada złożony cykl rozwojowy. Oznacza to, że w trakcie wzrostu owada występują formy rozwojowe takie jak: jaja, larwy, poczwarka oraz imago (postać dorosła). Z ekonomicznego punktu widzenia najważniejsza jest długość trwania tego cyklu. Jest to uzależnione od wielu czynników, w szczególności od temperatury, wilgotności, dostępności i jakości paszy, oraz natężenia światła. Co ciekawe w warunkach hodowlanych, cykl życiowy *Hermetia illucens* uległ skróceniu. Może to wynikać z ciągłego dostępu do pokarmu.

W poczwarcie zachodzi proces przeobrażenia. Po tym okresie w hodowli pojawiają się osobniki dorosłe. Po dwóch dniach od przepoczwarczenia, imago jest gotowe do kopulacji. Z uwagi na specyficzny dla owada fotoperiod, do kopulacji dochodzi zwykle w godzinach porannych. Postacie dorosłe żyją od 5 do 14 dni. W specjalnie wybranym miejscu, samce wyczekują na przelatujące w pobliżu samice. Nadmienić trzeba, że samce zaciekle bronią swoich przyczółków przed rywalami. W od-

powiednim momencie, samiec przechwytuje samice w locie i dochodzi do zapłodnienia. Po około dwóch dniach samice składają (jak wskazują badania) od około 300 do nawet 1000 jaj. Jaja składane są w ciasnych rzędach na suchym podłożu, acz w wilgotnym środowisku. Ma to na celu ograniczenie utraty wilgotności. Z uwagi, że jaja posiadają cenne składniki odżywcze, narażone są na ataki drapieżników, składane są w ciasnych szczelinach. W doborze lokalizacji znaczenie ma również dostępność pokarmu. Wkrótce po złożeniu jaj życie samic dobiega końca.

Czas inkubacji jaj wynosi około 4 dni w temperaturze 27-29°C. W tym okresie zmieniają one kolor z mlecznego na żółty. Świeżo wyklute larwy mają długość od 0,6 do 0,7 mm. Od razu po wykluciu zaczynają intensywnie żerować. W zależności od warunków środowiskowych i dostępności pokarmu czas trwania stadium larwalnego wynosi od 3 tygodni w warunkach hodowlanych (schemat poniżej) do nawet 5 miesięcy w warunkach naturalnych. Najistotniejszym czynnikiem warunkującym szybki rozwój form larwalnych jest temperatura. W trakcie wzrostu larw dochodzi do zrzucania pancerzyka chitynowego. Zjawisko to nazywamy linieniem. Wyróżniamy sześć stadiów larwalnych następujących po kolejnych linieniach. Pierwsze pięć stadiów larwalnych różni się między sobą jedynie wielkością. Szóstym a zarazem ostatnim stadium larwalnym jest prepoczwarka. Okres prepoczwarki trwa około 7 dni. W odróżnieniu od larw, prepoczwarka posiada ciemnobrązowy oskórek chitynowy. Charakterystyczna dla prepoczwarki jest migracja ze środowiska wilgotnego do suchego. Od tego momentu czarna mucha przestaje pobierać pokarm.

Okres trwania stadium poczwarki wynosi od 2 do 3 tygodni. Czas ten jest w głównej mierze uzależniony od temperatury

i wilgotności. Jako pierwsze przeobrażają się samce, choć nie jest to regułą. Zwykle pierwsze loty odbywają się na początku dnia świetlnego.

Ryc. 12. Przykładowy cykl rozwojowy *Hermetia illucens*. Różnice w liczbie dni przypisanych do poszczególnych faz uzależnione są od metod utrzymania i technologii chowu.



Dlaczego owady?

Aby odpowiedzieć na to pytanie należy omówić sobie kilka faktów. Aktualnie poszukuje się nowych źródeł substancji odżywczych, które mogą zostać wykorzystane w branży spożywczej i rolnej. Alternatywne źródła białka mają coraz większe znaczenie ze względu na rosnące problemy dotyczące roślin GMO. Świat nauki i biznesu szczególną uwagę skupił na jadalnych owadach. Owady można spotkać na prawie każdym kroku. Ich liczbę określa się na ponad 2 mln gatunków. Owady znajdują się w standardowej diecie wielu kultur i stanowią cenne źródło wartości odżywczych a nawet są uznawane za lekarstwo. Entomofagia wzbudza coraz większe zainteresowanie jako potencjalne rozwiązanie problemu wyżywienia populacji ludzkiej w nadchodzących latach. Obecnie ponad 2000 gatunków owadów, zgodnie Food and Agriculture Organization i listą jadalnych owadów świata prowadzonej przez Uniwersytet w Wageningen, jest uznawane za jadalne. W kulturze zachodniej hasło „entomofagia” jest czymś zupełnie nowym podczas gdy w egzotycznych krajach, owady są od dawna przeznaczane do żywienia człowieka lub użytkowane jako pasza dla zwierząt gospodarskich. W Polsce owady pojawiały się na stołach jedynie jako ciekawostka kulinarna. Podjęto nawet próby zakładania restauracji opierającej swoje potrawy

na owadach. Aktualnie prognozuje się szybki wzrost rynku hodowli owadów. Jego rozwój szacowany jest na około 1,2 mln ton rocznej produkcji do 2025 roku. Z uwagi na dynamikę tego sektora, hodowla owadów może być ekonomicznie uzasadnionym pomysłem. Dowody na potwierdzenie tej tezy można znaleźć w wielu europejskich i azjatyckich krajach. W Unii Europejskiej 7 gatunków owadów zostało uznane za zwierzęta gospodarskie. Tym samym w Europie można znaleźć wiele firm, które rozwinęły wielkotowarową hodowlę jadalnych owadów. W dalszej perspektywie, możliwe jest, że owady w żywieniu innych zwierząt gospodarskich będą alternatywą dla takich komponentów jak np. soja GMO. Białko owadzie powstałe w trakcie różnych procesów technologicznych zalicza się do PAP, czyli przetworzonego białka zwierzęcego. Obecne opinie w branży hodowli owadów wskazują, że aż 75% producentów owadów funkcjonujących na terenie Unii Europejskiej uważa, że produkty pochodzenia owadziego będą stanowiły cenny komponent do produkcji paszy dla zwierząt hodowlanych.

Obecnie, produkcja owadów jest postrzegana jako zrównoważona i przyjazna dla ekologii branża generująca wysokowartościowe produkty odżywcze. Hodowla owadów odbywa się na produktach ubocznych powstałych w rolnictwie i przemyśle spożywczym a także na przeróżnych odpadach z gospodarstw domowych. Wspomniany proces umożliwia odzyskanie wartości odżywczych z produktów przeznaczonych do utylizacji. Biologiczna konwersja organicznych odpadów wpisuje się w rozwój zielonej gospodarki w sektorze rolnym, a także wiąże się ze zrównoważonym rozwojem rolnictwa w Polsce.

Jednak nie wszystkie owady nadają się do hodowli. Jest to spowodowane specyficznymi warunkami środowiskowymi potrzebnymi do ich rozwoju albo po prostu brakiem opłacalności.

Także z grupy ponad 2000 gatunku owadów trzeba było wybrać takie, które będzie można hodować w skali wielkotowarowej. Za taką skalę uznaje się produkcje około 1 tony żywych owadów dziennie. Jednym z celów projektu "Opracowanie strategii wykorzystania alternatywnych źródeł białka owadów w żywieniu zwierząt umożliwiającej rozwój jego produkcji na terytorium RP" był wybór odpowiednich gatunków owadów do hodowli w polskich warunkach. Nie było to wcale łatwe zadanie, ponieważ trzeba było zwrócić uwagę na wiele czynników. Idealne gatunki do hodowli musiały spełnić wiele założeń np.: wymagania żywieniowe pozwalające na zastosowanie szerokiego zakresu pokarmów, łatwość utrzymania odpowiedniego środowiska, potencjał w żywieniu ludzi i zwierząt, odporność na niekorzystne warunki mikroklimatyczne (szczególnie na wahania temperaturowe) i możliwość wykorzystania odpadów organicznych. Przyjęto również, że dogodne do hodowli gatunki owadów powinny spełniać następujące cechy: niskie wymagania utrzymania, szybki przyrost masy ciała, brak dużego zaangażowania człowieka w utrzymaniu, wysoka rozrodczość, wysoka przeżywalność stadiów larwalnych, krótki cykl rozwojowy, wysoka biokonwersja paszy, plastyczność diety, zdolność do życia w zagęszczeniu i wysoka odporność na patogeny. Należało też określić wymagane parametry w hodowli owadów, technologii produkcji oraz zasad chowu. W projekcie rozpatrywano kilkanaście potencjalnych gatunków owadów utrzymywanych na świecie, z czego do hodowli w warunkach krajowych wybrano dwa: czarną muchę i mącznika młynarka.

Pierwszą zaletą *Hermetia illucens* jest zdolność wykorzystania odpadów organicznych w żywieniu tych zwierząt. Szybkość przebiegu cyklu rozwojowego u tych owadów jest jedną z ich głównych zalet. Na uwagę zasługuje także liczba składanych jaj,

która umożliwia rekonstrukcję stada podstawowego i stworzenie stad produkcyjnych. Chów czarnej muchy powoduje nieznaczną emisję gazów cieplarnianych. Zużycie wody w takiej hodowli jest znacznie mniejsze niż przy utrzymaniu innych zwierząt gospodarskich. Kolejną zaletą jest niewielka powierzchnia wymagana do produkcji czarnej muchy. Do wytworzenia 1 kg białka z czarnej muchy, potrzebne jest znacznie mniej paszy w stosunku do innych zwierząt gospodarskich. Bardzo ważnym aspektem jest też to, że na rynku opracowano już strategie produkcji przemysłowej, linie technologiczne, aspekty bezpieczeństwa a nawet gotowe projekty hodowli tego owada. W literaturze naukowej i popularno-naukowej powstało już wiele publikacji dotyczących metod hodowli *Hermetia illucens*.

Larwy i prepoczwarki czarnej muchy posiadają dobry skład odżywczy porównywalny do ryb czy drobiu. Wspomniane formy rozwojowe tego owada są bogate w białko i posiadają korzystny profil aminokwasowy. Profil kwasów tłuszczowych larw i prepoczwerek jest akceptowalny do żywienia zwierząt. Duży potencjał posiadają też przeciwdrobnoustrojowe peptydy – białka hamujące rozwój bakterii. Niektóre publikacje naukowe twierdzą, że w przyszłości będą one mogły zastąpić antybiotyki. Cennym produktem ubocznym jest chityna, która może być wykorzystana w żywieniu zwierząt lub w przemyśle. Czarna mucha zawiera składniki odżywcze, które w żywieniu zwierząt trzeba dodatkowo suplementować np. witaminy czy pierwiastki. Przy przestrzeganiu prawidłowych zasad higieny i bezpieczeństwa, istnieje niewielkie ryzyko przenoszenia przez nie chorób. Owady te są bezpieczne pod kątem mikrobiologicznym. Ewentualną wadą wykorzystania czarnej muchy jest możliwość wystąpienia alergii, jednak to zjawisko jest głównie opisywane u człowieka.

Możliwości wykorzystania czarnej muchy

Wykorzystanie owadów w żywieniu ludzi i zwierząt w kulturze europejskiej stanowi jeszcze tabu. Zarówno w gospodarstwach domowych jak i sektorze rolnym, do owadów (z wyjątkiem pszczoł) przylgnęła łatka szkodników. Nie można zaprzeczyć, że wiele z nich prowadzi do strat ekonomicznych bądź stanowi problem sanitarny. Zjawisko entomofagii w obecnych czasach, dla europejskiego konsumenta stanowi nowość. Kultura zachodnia do której należy Polska, też nie identyfikuje owadów jako jednej z form żywności. Ale spójrzmy w przeszłość. Biblia, czyli jeden z głównych filarów szeroko rozumianej kultury europejskiej, pozwala na spożywanie owadów, które nie stąpają po ziemi, czyli w rozumieniu ówczesnych ludów np. szarańczy. Grecy lubowali się w spożywaniu cykad, a Rzymianie posiadali nawet specjalną potrawę „cossus” przygotowywaną z larw kozioroga dębosza, owada z rodziny kózkowatych. W kuchniach europejskich spożywa się ślimaki oraz żaby, które są pozostałością po klęskach braku żywności. W czasach głodu w Europie także spożywano owady. Dobrym przykładem jest chrabąszcz majowy. Jeszcze w XX wieku, w europejskich domach gotowano zupę z tych owadów. W tamtym okresie studenci traktowali larwy chrabąszczy majowych jako przekąskę i jadali je na surowo. W obecnych czasach człowiek też spożywa owady, choć często nawet o tym nie wie. Standardowy konsument w ciągu roku zjada około 100 gram wciornastek – owadów z podgromady uskrzydłonych. W 100 gramach mrożonego produktu dopuszczalne jest do 50 mszyc. Szczególnie często spotkać je można np. w mrożonych brokułach czy szpinaku. Takie podstawowe produkty spożywcze jak: puszkowane pomidory czy brokuły, mogą zawierać resztki owadów. Również kukurydza konserwowa, może być porażona larwami

stonki kukurydzianej lub omacnicy kukurydzianej. W sokach owocowych można natrafić na muszki owocówki, przy czym ich dopuszczalna liczba wynosi 5 osobników na 226 gram soku. Leśne grzyby również stanowią pokarm, przez który nieświadomie można zjeść owady. Na półkach sklepowych już znajdują się produkty pochodzenia owadziego. Miód czy pyłek pszczeli jest doskonałym przykładem. Innymi produktami wytworzonymi przez pszczoły, które się spożywa to propolis lub mleczko pszczele. Dodatek do żywności E120 brzmi dość enigmatycznie. Nie jest to nic innego jak koszenila (barwnik), pozyskiwana z czerwca kaktusowego (*Dactylopius coccus*). W Europie znaleźć można również potrawy tradycyjne wykorzystujące owady. Idealnym przykładem jest „Casu Marzu” – włoski gatunek owczego sera, który dojrzewa dzięki larwom much z gatunku *Piophilidae*. Co ciekawe, z uwagi na obecność owadów, ser ten nazywany jest najniebezpieczniejszym serem na świecie. Podsumowując każdy konsument, nawet więcej niż raz w swoim życiu zjadł owada.

W kwestii żywienia zwierząt domowych, entomofagia jest powrotem do korzeni w odniesieniu do diety zwierząt w środowisku naturalnym. Do karmienia zwierząt można wykorzystać żywe i przetworzone owady. Mączka z owadów wykazuje duży potencjał w żywieniu zwierząt. Po wprowadzeniu rozporządzenia 2017/893, które dopuszcza stosowanie białka owadów w żywieniu zwierząt towarzyszących i w akwakulturze, substraty te mogą być w przyszłości wdrażane w żywieniu innych zwierząt. W literaturze istnieje wiele zastosowań owadów jako potencjalnego składnika paszy dla zwierząt hodowlanych. Badania wykazały, że owady mogą być wykorzystywane do żywienia kur niosek. Zastąpienie soi, mączką z owadów nie wpłynęło negatywnie na wydajność produkcyjną niosek oraz na jakość jaj. Nie bez znaczenia jest również pozytywne na-

stawienie konsumentów do jaj od kur karmionych owadami w chowie przyzagrodowym na wolnym wybiegu. Owady mogą być również wykorzystywane do karmienia brojlerów. Pozytywnie wpływały one na jakość mięsa i nie doprowadzały do zwiększonej śmiertelności. Owady zmniejszyły również współczynnik konwersji paszy u brojlerów. Produkty pochodzenia owadziego wydają się być dobrą alternatywą dla częściowego zastąpienia tradycyjnych, bogatych w białko składników w paszach dla świń. Stwierdzono, że suplementacja owadów w diecie odsadzonych prosiąt poprawia wydajność wzrostu i przyswajalność składników odżywczych. Mączka owadzia nie modulowała znacząco metabolizmu świń. Owady są naturalną częścią diety ryb hodowlanych. W hodowli łososia atlantyckiego nie stwierdzono negatywnych skutków po wprowadzeniu owadów do diety. Owady u ryb mogą mieć również działanie probiotyczne, ze względu na obecność chityny i peptydów przeciwdrobnoustrojowych. Badania sugerują, że akceptacja ryb karmionych przez owady jest bardzo wysoka wśród konsumentów. Jednak wadą stosowania owadów w ich żywieniu może być wzrost kosztów produkcji.

W trakcie procesu chowu i przetwarzania czarnej muchy powstaje wiele produktów, które można wykorzystać. Najcenniejszymi produktami są oczywiście substancje odżywcze pozyskane z larw lub prepoczwarek czarnej muchy. Ciało owadów stanowi bardzo bogate źródło substancji odżywczych. Przykładowo, w larwach *Hermetia illucens*, zawartość białka i tłuszczu, przeciętnie stanowi odpowiednio 45% i 35% suchej masy. Co więcej zawierają one liczne mikro i makroelementy.

Z 1 m³ można uzyskać około 300 kg owadziego surowca spożywczego, co przekłada się na 75 kg czystego białka. Zawartość składników odżywczych w prepoczwarcie będzie się

różnić w zależności od rodzaju odpadów wykorzystywanych jako źródło pożywienia i etapu, na którym są zbierane. Prepoczwarki czarnej muchy można bezpośrednio wykorzystać w żywieniu zwierząt lub poddać przetworzeniu. Żywe larwy można użyć w hodowli ryb czy zwierząt egzotycznych takich jak płazy, gady, ptaki ozdobne i ssaki owadożerne. Jeśli prepoczwarki są przeznaczone do dalszej obróbki należy zadbać o humanitarny ubój owadów.

Z larw i prepoczwarek czarnej muchy wykonuje się mączkę owadzią. Jest ona cennym substratem do produkcji pasz dla zwierząt. Powinna ona mieć niską zawartość wody (około 2,5%). Mączka z *Hermetia illucens* charakteryzuje się wysoką zawartością białka, tłuszczu i popiołu surowego. Do wytworzenia mączki potrzebna jest linia technologiczna do przetwarzania owadów. Rozwój przetwórstwa owadów na cele spożywcze i paszowe umożliwia izolację białka, chityny lub ekstrakcję tłuszczu. Po usunięciu chityny i tłuszczu otrzymuje się wysokobiałkowy produkt.

Chityna jest cennym produktem uzyskanym w trakcie hodowli czarnej muchy. Posiada ona liczne zastosowania komercyjne. Używana jest w produktach spożywczych jako suplement diety lub stabilizator. Chityna posiada szerokie zastosowanie w farmakologii. Wpływa pozytywnie na utrzymanie prawidłowej masy ciała, wspiera układ moczowy i reguluje poziom cholesterolu. Chityna pochłania toksyny, niekorzystne metabolity a nawet metale ciężkie z układu pokarmowego. Posiada także korzystny wpływ na szkliwo, zęby, paznokcie i cerę. Oprócz tego, chityna wykorzystywana jest w produkcji kosmetyków. Znalazła ona też szerokie zastosowanie w rolnictwie.

W skład mączki wchodzi nasycone kwasy tłuszczowe. Wydzielenie tłuszczu z mączki odbywa się przy zastosowaniu eks-

trakcji mechanicznej, w tym przy użyciu tłoczenia lub wirowania. Wyizolowany tłuszcz może być wykorzystany: w żywieniu zwierząt, do produkcji biodiesla, w przemyśle kosmetycznym, spożywczym i chemicznym.

Pozostałości pochodzące można poddać kompostowaniu a następnie wykorzystać jako nawóz. Wykorzystuje się je też do produkcji biogazu. Alternatywnym rozwiązaniem jest zastosowanie odpadów jako biohumusu do hodowli np. dżdżownic. Martwe larwy i muchy a także odchody czarnej muchy również stanowią wartościowy nawóz. W zależności od zastosowanej diety masa wytworzonych odchodów przez 100 larw *Hermetia illucens* wynosi od 21 g do 114 g.

Pośrednią korzyścią z hodowli *Hermetia illucens* jest aspekt proekologiczny. Owady, obecnie są najmniej zanieczyszczającymi środowisko zwierzętami gospodarskimi. Po pierwsze hodowla czarnej muchy charakteryzuje się śladową emisją gazów cieplarnianych, w porównaniu do konwencjonalnych zwierząt. Po drugie, opisywane owady posiadają minimalne wymagania w kwestii powierzchni hodowlanej. Produkcja owadów w m³ a nie m² zmniejsza koszty budowy i utrzymania hal produkcyjnych. Tym samym, wymagana jest niewielka powierzchnia gruntów. Zmniejsza to oddziaływanie hodowli na środowisko naturalne. Po trzecie, czarna mucha zamienia niskowartościowe produkty uboczne z sektora rolnego i spożywczego w wartościowy i odżywczy produkt. Zmniejsza więc zapotrzebowanie na grunty rolne. Dzięki temu, hodowla owadów generuje mniejsze koszty utrzymania.

Ryc. 13. Larwy i prepoczwarki (ciemniejsze) *Hermetia illucens*.



Autor: ShaunRomero, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hermetia_illucens.jpg (CC BY-SA 4.0)

Ryc. 14. Larwy *Hermetia illucens* po okresie tuczu.



Pozyskano z publikacji: Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Komi, K. M., Niassy, F.S, van Loon, J. A. J., Marcel Dicke M., & Ekesi, S. (2018). Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. PLoS one, 13(11), e0206097. (CC BY 4.0)

Ryc. 15. Żywienie zwierząt prepoczwarkami *Hermetia illucens*.



Autor: Rob Bob's Aquaponics & Backyard Farm, https://www.youtube.com/watch?v=exY-C5e01tRc&ab_channel=RobBob%27sAquaponics%26BackyardFarm. (Wykorzystano na podstawie Youtube fair use guidelines)

Ryc. 16. Mączka z *Hermetia illucens*.



Ryc. 17. Pasza granulowana z udziałem mączki z czarnej muchy.



Prawo i bezpieczeństwo

Mucha czarna wraz z mącznikiem młynarkiem (*Tenebrio molitor*), muchą domową (*Musca domestica*), pleśniakowcem lśniącym (*Alphitobius diaperinus*), świerszczem bananowym (*Gryllodes sigillatus*), świerszczem domowym (*Acheta domestica*) i świerszczem kubańskim (*Gryllus assimilis*) zostały uznane za owady nadające się do hodowli i wykorzystania ich na cele paszowe dla akwakultury i zwierząt towarzyszących wedle przepisów UE.

Wraz z zasadami tworzenia „nowej żywności” od 2018 istnieje możliwość wykorzystania owadów jako żywność. Polska nie dysponuje krajowymi wytycznymi, a więc trzeba odnosić się do aktów prawnych Unii Europejskiej. Pozwala to na wprowadzenie do obrotu całych owadów, ich części oraz produktów odowadzych np. mączki. Owady, które będą wprowadzane na rynek muszą spełniać wymagania określone przez higienę żywności i pasz. Aby owady mogły być sprzedawane na rynku, hodowla musi spełniać zasady Dobrej Praktyki Hodowlanej, Dobrej Praktyki Higienicznej i Dobrej Praktyki Produkcyjnej. Producenci muszą mieć także wprowadzony system HACCP (Analiza Zagrożeń i Krytyczne Punkty Kontroli). Hodowla wymaga pełnej kontroli nad bezpieczeństwem końcowego produktu, która jest sprawowana przez stosowne instytucje np.

Inspekcję Sanitarną lub Inspekcję Weterynaryjną. Regulacje te sprowadzają się m.in. do żywienia owadów produktami zaakceptowanymi do karmienia zwierząt gospodarskich pochodzącymi z zatwierdzonych źródeł. Hodowca zobowiązany jest do posiadania pełnej dokumentacji dotyczącej paszy. Mucha czarna na całym etapie hodowli musi spełniać wymogi identyfikowalności. Wymagane jest również spełnianie określonych norm mikrobiologicznych.

Hodowcy w celu zapewnienia bezpieczeństwa końcowego produktu muszą stosować się do zasad bioasekuracji. Zabezpiecza to hodowlę przed dostaniem się czynników chorobotwórczych. Należy także sprawdzać okresowo poziom substancji niepożądanych w larwach, takich jak mykotoksyny lub metale ciężkie. Ze względu na specyfikę gatunku należy zapobiegać ewentualnym ucieczkom z pomieszczeń hodowlanych.

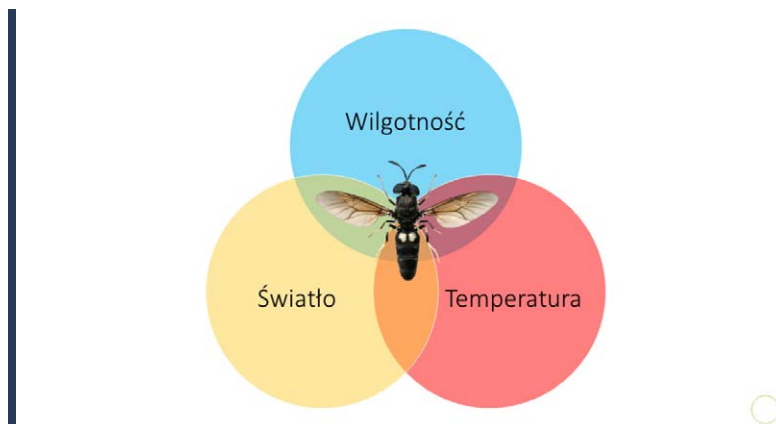
Owady zaliczane są do produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego pochodzących od zwierząt niewykazujących objawów chorobowych. Przetworzone białko owadzie wykorzystywane jest aktualnie do karmienia ryb, zwierząt towarzyszących i futerkowych. Jednak istnieją przesłanki, że w przyszłości będzie można wykorzystać PAP w karmieniu innych zwierząt.

Ze względu na zmieniające się prawodawstwo należy na bieżąco sprawdzać akty prawne, aby dostosowywać swoją hodowlę do aktualnie obowiązujących przepisów. W przypadku chęci założenia hodowli na większą skalę zalecane jest dokładne zapoznanie się z aktami prawnymi umieszczonymi w literaturze.

Jak wygląda hodowla czarnej muchy

Warunki w jakich utrzymuje się owady są bardzo istotne, ponieważ warunkują one szybki wzrost form rozwojowych. Przed przystąpieniem do większych inwestycji, na samym początku warto spróbować hodowli na mniejszą skalę, aby zapoznać się z praktycznymi aspektami utrzymania *Hermetia illucens*. Na początek hodowla przydomowa na potrzeby własne jest dobrym rozwiązaniem. Rozpoczęcie wielkotowarowej hodowli wiąże się z inwestycjami i większym doświadczeniem, ale z drugiej strony pozwoli wygenerować większe zyski. Efekty, które chce się uzyskać w trakcie cyklu produkcyjnego to przede wszystkim duża liczba larw/prepoczwerek o dużej masie ciała, uzyskane w jak najszybszym czasie. Jest to oczywiście uzależnione od wielu czynników, takich jak: warunki zoohigieniczne, utrzymanie, żywienie i dobrostan. Utrzymanie tych czynników na prawidłowym poziomie pozwala zwiększyć możliwości produkcyjne stada a tym samym umożliwia uzyskanie sukcesu ekonomicznego hodowli.

Ryc. 18. Czynniki mogące wpływać na rozwój *Hermetia illucens* w hodowli.



Warunki zoohigieniczne

W hodowli *Hermetia illucens*, trzy główne parametry środowiskowe: temperatura, światło i wilgotność wpływają na liczbę kopulacji, składanie jaj, długość życia oraz szybkość rozwoju poszczególnych form rozwojowych.

Niska wilgotność, czy obniżona temperatura powodują, że owady zużywają swoje zapasy energetyczne zamiast je gromadzić. Może to powodować niższe przyrosty larw i zwiększoną śmiertelność.

Temperatura jest najistotniejszym czynnikiem w utrzymaniu stada. Ma ona duże znaczenie w sukcesie reprodukcyjnym much. Do złożenia jaj, samice *Hermetia illucens* wymagają wysokiej temperatury. Za optymalny zakres temperaturowy dla imago uznaje się od 25 do 32°C. Literatura sugeruje, że w temperaturze powyżej 27°C, ponad 90% samic składa jaja. Drugim, ważnym czynnikiem, sprzyjającym rozrodowi jest duże natężenie światła. Im większa tym lepszy sukces reprodukcyjny. W warunkach naturalnego oświetlenia do aktów

kopulacyjnych najczęściej dochodzi około godziny 10:00 a jaja składane są popołudniu. Warto zadbać, aby źródło światła symulowało światło słoneczne. Dlatego też sztuczne światło powinno posiadać długościach fal przynajmniej od 450 do 700 nanometrów (nm). Badania mówią, że lepsze wyniki uzyskuje się przy świetle słonecznym niż sztucznym, choć przy widmie 350 do 2500 nm uzyskuje się wyniki zbliżone do naturalnych. Wilgotne warunki w hodowli mogą przedłużyć życie imago czarnej muchy oraz zwiększyć ilość składanych jaj. Przyjmuje się, że postacie dorosłe utrzymywane w wilgotności względnej 70% potrafią przeżyć 2-3 dni dłużej niż w suchym środowisku. Uznaje się też, że wilgotność przekraczająca 60% zwiększa liczbę pozyskanych jaj.

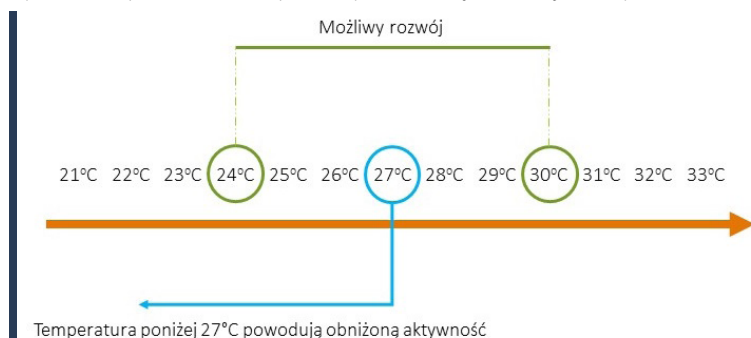
Trzeba pamiętać, że jaja czarnej muchy są wyjątkowo wrażliwe na zmiany parametrów środowiskowych. Szczególnie źle reagują na wahania temperaturowe, dlatego też należy zadbać o utrzymanie stałej temperatury aż do wylęgu. Sugerowana temperatura do prawidłowego rozwoju jaj wynosi 27°C. Pozwala to uzyskać wylęg z około 80% jaj. Co więcej jaja są bardzo podatne na wysychanie, dlatego, należy utrzymywać wysoką wilgotność względną. Przyjmuje się, że wilgotność powyżej 60% zapewniają optymalne wskaźniki wylęgu. Warto wspomnieć też o dniu świetlnym, który powinien wynosić około 12 godzin w ciągu dnia.

Zgodnie z obecną literaturą, larwy rozwijają się w zakresie temperatur od 24 do 33°C. Aby stwierdzić, że temperatura w hodowli jest odpowiednia, należy obserwować zachowanie larw. W przypadku gdy temperatura jest zbyt wysoka, larwy będą wychodzić ze źródła pożywienia i będą poszukiwać chłodniejszego miejsca. Z drugiej strony larwy poddane działaniu niskich temperatur spowalniają swój metabolizm, a co za

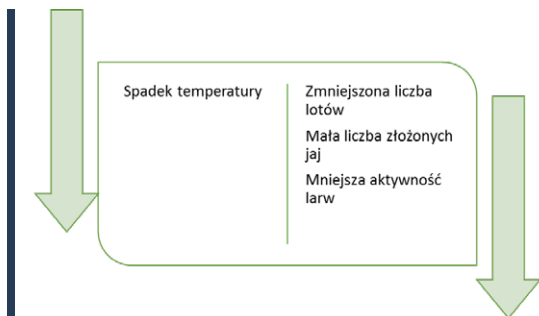
tym idzie będą wolniej przyrastać. W dostosowaniu temperatury trzeba pamiętać, że zarówno larwy i ewentualne produkty przeznaczone do żywienia również mogą generować ciepło. Za najlepszy zakres temperatury do odchowu larw przyjmuje się od 27 do 30°C. Larwy będą rozwijać się prawidłowo w temperaturze 25°C, ale ich masa ciała będzie o około 30% niższa niż larw hodowanych we wspomnianym wyżej zakresie. Bardzo wysokie temperatury również działają negatywnie. Udowodniono, że w temperaturze powyżej 33°C dochodzi do znacznych spadków przyrostów. W przypadku wilgotności środowiska i oświetlenia, to obowiązują takie same zasady jak przy utrzymaniu jaj.

W przypadku poczwerek przeznaczonych do stada podstawowego obowiązują wcześniej wspomniane zakresy temperatury. Wilgotność powinna być nieco niższa. Wpływ światła nie został do końca przebadany. Niektórzy autorzy twierdzą, że poczwarki preferują ciemne środowisko a inni, że poczwarki wystawione na działanie światła przez 12 godzin potrzebowały około 30% mniej czasu na przeobrażenie. Dlatego też, zastosowane oświetlenie przy odchowu poczwerek należy uzależnić od własnych obserwacji.

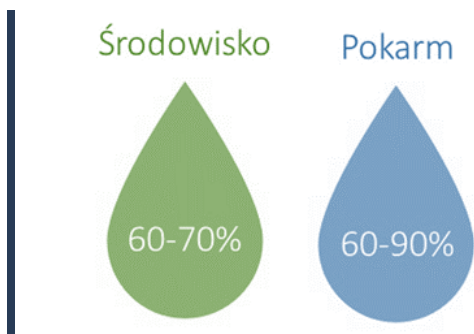
Ryc. 19. Odpowiednie temperatury do rozwoju czarnej muchy.



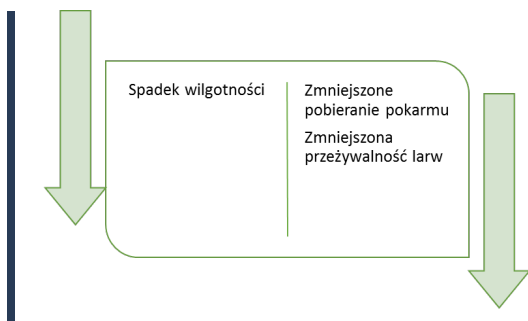
Ryc. 20. Rola temperatury w prawidłowym rozwoju stada czarnej muchy.



Ryc. 21. Proponowany zakresy wilgotności przy hodowli *Hermetia illucens*.



Ryc. 22. Rola wilgotności w prawidłowym rozwoju stada czarnej muchy.



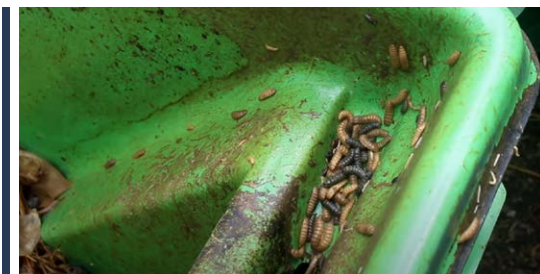
Pozyskiwanie prepoczwarek

Pojawiające się prepoczwarki zaczynają migrować z pokarmu w bardziej suche miejsca. Sama prepoczwarka, nie spożywa już pokarmu i osiągnęła swój maksymalny rozmiar. Ich zadaniem jest znalezienie odpowiedniego i bezpiecznego miejsca, w którym dojdzie do przepoczwarczenia. Sugeruję się, że w trakcie migracji, prepoczwarki pozostawiają ślad chemiczny, który umożliwia innym owadom łatwiejsze dotarcie do celu. Aby skutecznie wyłapywać prepoczwarki, pojemnik z larwami powinien być połączony z drugim. Może być to pojemnik do przepoczwarczania. W tym celu można wykonać coś na kształt mostu, rampy lub rury, która umożliwi owadom przemieszczanie się. Nachylenie powinno wynosić od 28° do 45° . W przypadku wysokiej wilgotności w pojemniku, istnieje możliwość, że prepoczwarki będą w stanie poruszać się po pionowych powierzchniach dzięki napięciu powierzchniowemu. Wtedy pojemnik z larwami można umieścić bezpośrednio w pojemniku zbiorczym, do którego wpadną prepoczwarki.

Ryc. 23. Prepoczwarki przemieszczające się z wilgotnego pokarmu do suchego podłoża.



Autor: Nature's Always Right, https://www.youtube.com/watch?v=KrS-EPo-GQA&ab_channel=Nature%27sAlwaysRight (Wykorzystano na podstawie Youtube fair use guidelines)



Autor: Madodel, https://www.youtube.com/watch?v=WEDNfWwFjXQ&ab_channel=Madodel
(Wykorzystano na podstawie Youtube fair use guidelines)

Żywienie *Hermetia illucens*

Zaletą osobników dorosłych czarnej muchy jest to, że nie trzeba podawać im pokarmu. Pozyskują one energię z rezerw tłuszczowych i białkowych, które zgromadziły w stadium larwalnym. Imago pobiera jedynie wodę. Ponieważ zapasy energetyczne warunkują czas życia *Hermetia illucens*, dlatego też do wody można dodawać cukier, który będzie uzupełniał zużyte kalorie. Osobniki pozbawione wody przeżywają około 7 dni, a z dostępem do wody około 14 dni.

Nawet do 24 dni po wykluciu, postacie larwalne czarnej muchy posiadają bardzo duży apetyt (czas ten jest uzależniony od warunków zootechnicznych). Ich żerowanie potrafi zmniejszyć objętość paszy nawet o 80%, w zależności od temperatury i wilgotności. U czarnej muchy rzadko obserwuje się zachowania kanibalistyczne.

Larwy *Hermetia illucens* są wyjątkowo plastyczne w doborze pokarmu. Potrafią zjeść wiele rodzajów pożywienia. Zwykle odżywiają się odpadkami. Badania naukowe wskazują, że czarną muchę można hodować na warzywach, owocach, odpadkach kuchennych i podrobach, odchodach, pozostałościach po produkcji rolnej i spożywczej, oborniku, kompoście i wielu innych.

Jeżeli jednak planowane jest wprowadzenie *Hermetia illucens* do żywienia zwierząt (tym samym do łańcucha żywieniowego) obowiązkowe jest, aby pasza dla tych owadów, spełniała wszystkie warunki dotyczące higieny pasz, bezpieczeństwa zwierząt i była zgodna z literą prawa.

Szczególną rolę w trawieniu pokarmu u czarnej muchy odgrywają enzymy. Wysoka aktywność utrzymuje się w szczególności w jelicie środkowym czarnej muchy. Ponadto przewód pokarmowy tego owada jest miejscem bytowania wielu pożytecznych bakterii, które biorą czynny udział w trawieniu materii organicznej. Wspomniane bakterie wykazują wysoką aktywność enzymatyczną.

Z uwagi na rozległe specyfikacje polskiego sektora rolnego ciężko jest podać dokładną recepturę paszy dla czarnej muchy, tak aby substraty do jej produkcji były łatwo dostępne w każdym gospodarstwie. Z drugiej strony z uwagi na wysoką plastyczność diety tego owada, nie jest to do końca potrzebne. Praktycznie każdy materiał organiczny może być dla czarnej muchy pokarmem. Owady te potrafią nawet spożyć materiał organiczny, który był przechowywany w formalinie! Należy przede wszystkim pamiętać o wilgotności paszy. Powinna ona wynosić około 75%. Jeżeli będzie za niska owady będą słabo przyrastać, a jeśli za wysoka to mogą one uciekać od pokarmu.

Istotne jest to, że larwy czarnej muchy od razu po wykluciu są wyjątkowo wrażliwe na zmiany warunków środowiskowych i konkurencję pokarmową. Z tego też powodu należy zapewnić im dobre warunki utrzymania poprzez karmienie ich paszą wysokiej jakości, trzymanie ich w kontrolowanych warunkach i chronionym środowisku. Owady utrzymuje się tak przez 46 dni. W literaturze sugerowane są różne diety dla młodych larw. Do tego celu można wykorzystać śrutę kukurydzianą

i otręby pszenne wymieszane z wodą. Użyć też można komercyjną paszę dla zwierząt zmieszaną z wodą. Konieczne jest, aby pokarm stwarzał porowatą strukturę. Jest to konieczne przy prawidłowym oddychaniu larw. W innym przypadku larwy nie są w stanie stworzyć kanałów powietrznych a tym samym zaczynają się dusić i zamierają. Należy unikać materiałów pylistych, gdyż mogą zatykać tchawki owadów. U młodych larw można także dodać materiały o dużej sztywności, takie jak gałęzie, trociny, otręby pszenne/ryżowe, aby uzyskać strukturę, która umożliwi łatwiejsze oddychanie.

Wszystkie te zabiegi w znaczący sposób zwiększają przeżywalność młodych larw *Hermetia illucens*.

Ryc. 24. Larwy czarnej muchy żerujące na odpadkach spożywczych.



Autor: Zenyrgarden, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_soldier_fly_larvae_eating_yam.jpg (CC BY-SA 4.0)

Zachowania rozrodcze czarnej muchy

Dorośle osobniki czarnej muchy zwykle zaobserwować można w miejscach występowania obornika, rozkładającej się żywności lub w pobliżu martwych zwierząt. Samice gotowe do złożenia jaj są przyciągane przez zapach rozkładającej się materii organicznej. Samce spotyka się w dobrze oświetlonych miejscach na roślinności. Po znalezieniu partnerki dochodzi do kopulacji. Na początku samiec przechwytuje samicę w locie i zaczynają się zaloty. W ich trakcie, owady potrafią się wznieść na wysokość nawet 1,5 m, gdzie dochodzi do kopulacji. Na koniec po powrocie na ziemię, owady do 30 minut wciąż są połączone odwłokami, a głowy zwrócone są w przeciwnych kierunkach. Istotną rolę ma oświetlenie, dlatego też owady kopulują w trakcie dnia. Liczba kopulacji zależy od warunków środowiskowych i pory dnia. Kluczowe podczas krycia jest oświetlenie i dostępność przestrzeni. Składanie jaj jest uzależnione od temperatury i wilgotności. Odbywa się mniej więcej 2 dni po kryciu, zwykle w pobliżu rozkładającej się materii organicznej. Dzięki temu, larwy natychmiast po wykluciu mają dostęp do źródła pożywienia. Do złożenia jaj samice wybierają powierzchnie z małymi zagłębieniami, w których mogą składać jaja, aby zapewnić im ochronę. Samice w tym celu posługują się czubkiem odwłoka, w którym umiejscowione jest pokładełko (organ służący do składania jaj). Pokładełko pokryte jest wieloma receptorami czuciowymi. Szukając idealnego miejsca do złożenia jaj, samice *Hermetia illucens* przeciągają odwłokiem po podłożu, aby zbadać jego charakterystykę. Dzięki temu owady uzyskują cenne informacje dotyczące obecności innych jaj czarnej muchy, obecności drapieżników i składników odżywczych. Czarna mucha częściej składa jaja w miejscu, gdzie zostały

złożone inne jaja czarnej muchy. Samice pozostawiają także ślad chemiczny, aby przyciągnąć inne osobniki tego samego gatunku. Czarna mucha do składania jaj preferuje ciemniejsze miejsca. Imago ginie po wyczerpaniu rezerwy tłuszczu, samiec zwykle po kopulacji a samica po złożeniu jaj.

Ryc. 25. Kopulacja czarnej muchy.



Autor: Muhammad Mahdi Karim https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_soldier_flies_mating.jpg (GNU Free Documentation License)

Ryc. 26. Samica czarnej muchy składająca jaja.



Pozyskano z blacksoldierflyblog.com, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Black_soldier_fly_depositing_eggs_in_cardboard.jpg (CC BY-SA 3.0)

Ryc. 27. Postać dorosła i pakiety jaj *Hermetia illucens*.



Pozyskano z Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing. A step-by step guide. (CC BY 4.0)

Stada hodowlane

W trakcie cyklu produkcyjnego u czarnej muchy wyróżniamy stado podstawowe i produkcyjne.

W skład stada podstawowego wchodzi postacie dorosłe, które utrzymuje się w klatkach godowych (wolierach). Stado podstawowe utrzymuje się w celu pozyskania jaj. Główną rolą stada podstawowego jest utrzymanie ciągłości produkcji prowadzonej w gospodarstwie. Potomstwo powinno być przeznaczone do doskonalenia populacji tego gatunku. Do rozrodu należy przeznaczyć owady o najlepszych cechach produkcyjnych. Im dłużej żyją postacie dorosłe tym większą liczbę potomstwa otrzymamy. Trzeba pamiętać, aby stado produkcyjne miało stały dostęp do wody. Aby przedłużyć życie imago do wody można dodawać cukier.

Stadem produkcyjnym określa się owady, które podlegają szybkiemu wzrostowi pod wpływem zabiegów hodowlanych. Celem utrzymania tego stada jest pozyskanie nowych osob-

ników do rekonstrukcji stada podstawowego oraz larw i prepoczwarek. Trzeba pamiętać, że to stado będzie generowało bezpośredni zysk dla hodowli.

Warto prowadzić dokładną dokumentację stada. Szczególną uwagę warto zwrócić na:

- liczbę postaci dorosłych *Hermetia illucens*,
- długość życia postaci dorosłych,
- masę ciała larw po 5 dniu,
- śmiertelność larw w prowadzonej hodowli,
- masę ciała larw uzyskanych ze stada podstawowego,
- masę ciała prepoczwarek,
- zużycie paszy przez larwy czarnej muchy.

Wspomniane informacje pozwolą śledzić wydajność hodowli. Taka dokumentacja jest szczególnie ważna, gdy wprowadza się modyfikacje w hodowli. Zapisane dane pozwalają też na zobrazowanie czy stado uzyskuje dobre wyniki hodowlane.

Ryc. 28. Postacie dorosłe *Hermetia illucens* w wolierze godowej.



Pozyskano z Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing. A step-by step guide. (CC BY 4.0)

Ryc. 29. Stado produkcyjne czarnej muchy.



Pozyskano z Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing. A step-by step guide. (CC BY 4.0)

Pojemniki i zagęszczenie hodowli

Klatka/woliera godowa (przeznaczona do rozrodu) powinna umożliwiać czarnym muchom wyrażanie ich naturalnego zachowania. Klatka powinna być na tyle duża, aby umożliwić kopulowanie w locie. W fachowej literaturze podawane są różne wielkości. Zwykle wahają się pomiędzy 0,7-3 m długości na 0,7-3 m szerokości na 1,4-6 m wysokości. Średnia liczba osobników *Hermetia illucens* w jednej klatce godowe powinna wynosić od około 100 do 5200 osobników na 1 m³. Tak jak wskazano wcześniej, pamiętać trzeba, że czarne muchy

w trakcie w godów mogą się wznieść nawet na wysokość do 1,5 m. Niezapewnienie im takich warunków może zwiększać liczbę niezapłodnionych jaj. W klatce godowej warto zapewnić stadu podstawowemu rośliny (naturalne lub sztuczne). Sprzyja to zmniejszeniu walk o terytorium u samców i zwiększy liczbę kopulacji. Roślinność może nawet wpłynąć na długość życia owadów, ponieważ zapewnia ona miejsce do odpoczynku. Warto zapewniać wodę w klatkach, poprzez spryskiwanie lub przy wykorzystaniu mokrej tkaniny. Woda stojąca może doprowadzać do topienia się much.

Bardzo istotnym elementem są miejsca, gdzie samice czarnej muchy mogą składać swoje jaja. Muszą one spełniać kilka warunków. W literaturze znajdują się przeróżne rozwiązania. Karton i drewno uznawane są za jedne z najlepszych materiałów do stworzenia miejsc lęgowych. Można też wykorzystać wiele innych produktów jak np. ręczniki papierowe, tekturowe rolki wytłaczanki do jaj i wiele innych. Najważniejsze jest, aby wykorzystany materiał był oddzielony małymi szczelinami, w których owad ten będzie mógł złożyć jaja. Można przy tym stosować substancje wabiące np. rozkładające się odpady organiczne. Samice chętnie składają jaja w miejscu, gdzie wcześniej żerowały czarne muchy co może być związane z czułymi receptorami chemicznymi lub feromonami agregacyjnymi. Zdecydowanie chętniej samice składają jaja w miejscach suchych.

Wyklute larwy można po pierwszym podaniu paszy przenieść do większego pojemnika (np.: 24cm × 13cm × 12cm). Następnie po spożyciu 50% zadanego pokarmu przenieść do pełnowymiarowego pojemnika (np.: 76cm × 12cm × 45cm). Do odchowu larw zaimplementować można tace. Jeśli ok. 40% larw weszło w stadium poczwarki to wtedy należy przykrywać pojemniki gazą.

Ryc. 30. Woliera godowa dla stada podstawowego czarnej muchy.



Pozyskano z Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing. A step-by step guide. (CC BY 4.0)

Ryc. 31. Czarne muchy przy cukrze z wodą.



Autor: AREila, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bsffeeding.jpg> (CC BY-SA 4.0)

Ryc. 32. Miejsca do składania jaj przez samice czarnej muchy.



Pozyskano z Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing. A step-by step guide. (CC BY 4.0)

Chów niekrewniaczy i wsobny

Outbred zwany chowem niekrewniaczym polega na rozmnażaniu się niespokrewnionych ze sobą osobników czarnej muchy w hodowli. Inbred nazywany inaczej chowem wsobnym charakteryzuje się krzyżowaniem osobników czarnej muchy pochodzących od tego samego przodka. Można to również określić jako powstanie nowego pokolenia przez rozmnożenie się owadów spokrewnionych ze sobą. Taki chów charakteryzuje się prowadzeniem hodowli bez wprowadzania osobników niespokrewnionych. Hodowle outbredowe wyróżniają się ciągłym napływem nowych osobników (co jest równoznaczne z napływem nowego materiału genetycznego) do stada.

Problem braku dopływu nowych osobników do hodowli ma istotne znaczenie u owadów. Przy chowie zamkniętym (to jest braku napływu nowych osobników) każde stado owadów zaczyna mieć problem z inbreдем. Spowodowane jest to wykorzystaniem potomstwa do rekonstrukcji stada podstawowego. Okazuje się, że chów wsobny u owadów zmniejsza atrakcyjność samców. Wpływa ona na intensywność sygnałów chemicznych, czyli feromonów. Samica z hodowli wsobnej potrzebuje

silniejszych bodźców, aby rozpocząć rozród. Zmniejszenie tej zdolności skutkuje niższą rozrodnością wśród owadów, a w dalszej perspektywie mniejszą liczbą larw i prepoczwerek. Chów wsobny wpływa też negatywnie na układ immunologiczny owadów. Dlatego też owady z chowu wsobnego są bardziej podatne na choroby. Krzyżowanie krewniacze wpływa na utrwalenie się niekorzystnych cech hodowlanych jak np. niska masa ciała prepoczwarki czarnej muchy. Czarna mucha jest poważnie narażona na chów wsobny, ponieważ osobniki w hodowlach pochodzą od niewielkiej puli genetycznej. Wpływ chowu wsobnego *Hermetia illucens* nie został do końca zbadany, lecz pojedyncze doniesienia mówią o takich negatywnych zjawiskach jak krótka długość życia, mała liczba złożonych jaj czy wreszcie niska przeżywalność larw. Wskazuje się, że hodowla inbredowana po 5 cyklach staje się znacznie osłabiona.

Jakie działania należy podjąć, aby uniknąć tego zjawiska? Przede wszystkim osobniki do pierwszego stada powinny być zakupione z przynajmniej 3 źródeł. Wynika to z tego, że chów wsobny jest dość częstym zjawiskiem wśród hodowców. Trzeba też co kilka cykli produkcyjnych do stada podstawowego wprowadzić osobniki czarnej muchy pochodzące z innego stada. Zanim wprowadzi się nowe osobniki spoza własnej hodowli zawsze trzeba zastosować kwarantannę. Opisuje się również wprowadzenie osobników dzikich do hodowli, jednak istnieje zagrożenie, że może to doprowadzić do wnikięcia entomopatogenów mikroorganizmów do stada.

Dobrostan

Według definicji dobrostan to stan pełnego zdrowia fizycznego i psychicznego. W celu zapewnienia dobrostanu zwierząt

gospodarskich (do których zaliczają się owady) należy zagwarantować spełnienie potrzeb wedle 5 wolności:

1. Wolność od głodu, pragnienia i niedożywienia – zapewnienie odpowiedniej jakości i ilości pokarmu oraz wody, wedle potrzeb gatunkowych.
2. Wolność od urazów psychicznych i bólu – zagwarantowanie schronienia i miejsca do odpoczynku.
3. Wolność od bólu ran i chorób – zabezpieczenie hodowli w taki sposób, aby uniemożliwić powstawanie ran, trzymanie się zasad bioasekuracji i podjęcie leczenia, gdy jest to wymagane.
4. Wolność do wyrażania naturalnego zachowania – zapewnienie warunków, które umożliwiają przejawianie normalnego zachowania, a więc dostosowanie wielkości, obsady do pojemników i zagwarantowanie miejsc do schowania się.
5. Wolność od strachu i stresu – nienarażanie owadów na niepotrzebny stres różnego pochodzenia poprzez zagwarantowanie odpowiedniej temperatury, wilgotności czy poziomu światła.

Aktualnie brak jest jednoznacznego stanowiska wśród badaczy na temat świadomości u owadów. Jak bardzo jest ona rozbudowana, czy owady odczuwają stres psychiczny, jak odczuwają ból fizyczny, czy w taki sam sposób jak ssaki? Mimo braku jasnych odpowiedzi na te pytania należy przyjąć, że hodowla powinna być prowadzona według wysokich standardów, stosując się do zasady humanitarnej hodowli a następnie obróbki owadów. Należy przyjąć, że owady w pełni odczuwają ból i dyskomfort, więc wszystkie działania powinny być tak

prowadzone, aby zminimalizować te odczucia. Raport FAO o „jadalnych owadach” potwierdza to stanowisko.

W obserwowaniu zachowań owadów może mylić brak wiedzy, czy obserwuje się ich odruchy czy reakcję na ból. Reakcja odruchowa jest zaprogramowana w układzie nerwowym i ani ludzie, ani zwierzęta nie mają na nią wpływu. Dotykając coś bardzo ciepłego lub zimnego odruchowo zabiera się rękę. U owadów obserwuje się takie same reakcje. Najniższy stopień świadomości to zdolność do odczuwania subiektywnych doświadczeń, co również zauważalne jest u owadów. Uczą się one, które rzeczy czy sytuacje wiążą się z miłymi lub negatywnymi skutkami i później dążą do powtórzenia lub uniknięcia takiej samej sytuacji. Mimo tego, w świecie naukowym można znaleźć głosy, że owadami kierują tylko odruchy i nie są one zdolne do odczuwania bólu lub cierpienia.

Komunikacja owadzia nie jest w pełni poznana. Obserwuje się, że dochodzi u nich do wymiany informacji m.in. poprzez wibracje, dźwięk, zapach czy dotyk. Stosując się do zasad 5 wolności należy zapewnić im możliwość komunikacji.

Należy pamiętać, że owady zaliczane są aktualnie do zwierząt gospodarskich, więc obowiązkiem hodowcy jest zapewnienie należytego dobrostanu. Kiedy zwierzę ma zapewnione odpowiednie warunki, jego wskaźniki produkcyjne też są lepsze, a więc hodowla osiąga lepsze wyniki.

Ze względu na doniesienia, że owady odczuwają ból, należy brać to pod uwagę przy wyborze metod uśmiercania. Eutanzja powinna przebiegać w sposób humanitarny, szybki i zapewniający bezpieczeństwo dla konsumenta końcowego produktu. Metody uśmiercania można podzielić na fizyczne i chemiczne. U owadów nie stosuje się znieczulenia. Metodą chemiczną jest wykorzystanie dwutlenku węgla (CO₂), brak jednak dokład-

nych zaleceń co do tej metody. Najczęściej wykorzystywane metody to mrożenie, obróbka termiczna, miażdżenie i mielenie.

Owady można poddać uśmiercaniu przy użyciu niskiej temperatury. Do tego celu wykorzystać można zamrażarkę. W warunkach chłodniczych czarną muchę należy utrzymywać maksymalnie przez 2 miesiące. Po rozmrożeniu, należy trzeba jak najszybciej podać zwierzętom. Inną metodą uśmiercania jest zastosowanie wysokich temperatur. Doprowadza to przy okazji do sanityzacji owadów. Larwy lub prepoczwarki umieszcza się na około 1 minutę we wrzącej wodzie. Pozwala to na zabicie bakterii znajdujących się na owadach. Dalszym etapem przetwarzania jest suszenie lub mrożenie. Prepoczwarki można suszyć w temperaturze 60-80°C przez dwie godziny. Wilgotność powinna spaść do poziomu poniżej 10%. W literaturze opisuje się również suszenie owadów na słońcu. Jednak metoda ta jest zwykle wykorzystywana w krajach tropikalnych a jakość i bezpieczeństwo takiego produktu jest wątpliwe.

Szybką śmierć owada uzyskuje się poprzez zmiaczenie owada przedmiotem o płaskiej powierzchni w sposób szybki i silny. Blenderowanie to mielenie owadów na wysokich obrotach. Rozdrobnienie uzyskuje się w przeciągu 1-2 sekund. Metoda ta jednak powinna być użyta po wcześniejszym znieczuleniu owadów. Najczęściej wybraną metodą jest mrożenie w ciekłym azocie lub w zamrażarce. Mrożenie doprowadza do zwolnienia metabolizmu. Ze względu na budowę układu nerwowego owadów nie należy stosować dekapitacji tzn. odcięcia głowy, ponieważ może skutkować to odczuwaniem bólu przez kilka godzin, a więc eutanazja nie jest wtedy przeprowadzona w sposób skuteczny i humanitarny.

Jak wygląda cykl hodowlany czarnej muchy

Proces hodowlany w dużej mierze jest uzależniony od pomieszczeń, środków i sprzętu jakim jaki jest dostępny. W zależności od procesów technologicznych jakie są wykorzystywane w hodowli czarnej muchy, wyróżniamy różne etapy hodowlane. Z uwagi na dużą liczbę proponowanych rozwiązań przedstawiono proces hodowli w prostej formie zachęcając do dostosowania go do indywidualnych warunków. Często w przypadku zakupu rozwiązań technologicznych otrzymuje się gotowy „przepis” jak prowadzić chów wspomnianych owadów.

Najpierw trzeba zadbać o rozród czarnej muchy. Ma ona na celu dostarczenie do hodowli zarówno larw *Hermetia illucens* do tuczu, jak i prepoczwerek do dalszej hodowli – dla stada podstawowego. Najważniejsze jest, aby stado podstawowe stale dostarczało nam odpowiednią ilość larw. W ramach tego etapu realizowane jest kilka czynności. Początkiem całego cyklu jest złożenie jaj przez dorosłe muchy oraz ich zbiór. Należy założyć, że jedna samicałoży około 400-500 jaj. Oczywiście nie ze wszystkich jaj wyklują nam się larwy (60-80% klucia). Bezpośrednio po wylęgu, larwom trzeba od razu zapewnić pokarm. Na samym początku warto owadom podać karmę wysokiej jakości, gdyż w tym momencie dochodzi do intensywnego wzrostu. Pamiętać trzeba, aby pasza dla owadów była wilgotna

(zawierała około 70% wody). Po 5 dniach larwy czarnej muchy można zebrać, a następnie przenieść do pojemnika przeznaczonego do tuczu lub przeznaczyć na rozwój stada podstawowego.

W przypadku rekonstrukcji stada podstawowego wykorzystuje się około 2-5% larw, w zależności od przyjętej liczby postaci dorosłych. Zachowane larwy umieszcza się w odchowni, gdzie są stale karmione dobrze skomponowaną mieszanką paszową aż do osiągnięcia stadium prepoczwarki. Prepoczwarki, które przedostały się do pojemnika transferowego są zbierane i przenoszone do pojemnika do przepoczwarczania. Nadmiar prepoczwarek wykorzystuje się do skarmiania zwierząt np. kur na wybiegu lub przeznacza się je do obróbki. Dorosłe owady pojawiają się około 10 dni po przeniesieniu prepoczwarek. Częstotliwość i czas pojawiania się postaci dorosłych powinien przyjmować kształt krzywej dzwonowej, gdzie ostatnie osobniki powinny się pojawiać do około 25 dnia. Na koniec obserwuje się loty godowe, które odbywają się w specjalnej osiatkowanej klatce/wolierze. Następnie samice składają jaja w specjalnie przygotowanych miejscach. Wykorzystuje się do tego połączone drewniane klepki czy kawałki kartonu. Odbywa się w tej samej klatce i umożliwia wydajne funkcjonowanie stada podstawowego. Specyficzną cechą postaci dorosłych jest to, że nie pobierają pokarmu.

Kolejnym etapem jest przygotowanie paszy dla czarnej muchy. Przed przystąpieniem do żywienia larw, należy najpierw skontrolować produkty. Trzeba się upewnić, że pokarm nie będzie zawierał substancji chemicznych i biologicznych mogących zagrażać zdrowiu owadów lub przyszłych konsumentów. Dla przykładu liście pomidora zawierają substancję (alkaloid – tomatyna), która doprowadza do zamierania larw. Następ-

nie należy przetworzyć pokarm, aby zwiększyć dostępność substancji odżywczych dla owadów. Zwykle pokarm jest miażdżony, szatkowany lub wykonuje się z niego pulpę. Pomimo, że larwy żyją w wilgotnym materiale organicznym, zawartość wody nie może być za wysoka (70-80%). Czasem trzeba przeprowadzić odwodnienie pokarmu lub zmieszanie z bardziej suchym produktem. Pamiętać trzeba, że larwom należy zapewnić zrównoważone żywienie.

Następnym etapem jest tucz 5-dniowych larw *Hermetia illucens* przygotowanym wcześniej pokarmem. Wraz ze wzrostem masy larw zauważalny będzie znaczny spadek masy pokarmu. Literatura wskazuje, że 10 000 larw potrafi przetworzyć 15 kg mokrego pokarmu w trakcie 12 dni. Larwy w fazie prepoczwarki przenoszą się do bardziej suchego środowiska, co pozwala na ich łatwe oddzielenie od podłoża. Na tym etapie larwy osiągnęły maksymalną masę, ale jeszcze nie przekształciły się w poczwarki. W tym czasie wartość odżywcza owadów jest najwyższa. Niektóre procesy technologiczne przewidują oddzielanie larw od pozostałości po tuczu. Zwykle odbywa się to przy użyciu sit mechanicznych.

Dalszym etapem jest przetwarzanie prepoczwarek lub larw. Pierwszym krokiem jest zawsze uśmiercenie owadów. Procesy technologiczne przetwarzania *Hermetia illucens* mogą obejmować mrożenie, suszenie, mielenie i odtłuszczanie. Mączka owadzia powinna zawierać mniej niż 10% wody. Ułatwia to przechowywanie i zmniejsza ryzyko zepsucia się produktu. Wysuszone larwy można odtłuścić przy pomocy prasy do wyciskania oleju lub wirówki. W procesie tym olej oddziela się od białka, które można następnie łatwiej suszyć i przechowywać. Odtłuszczony produkt powinien zawierać mniej niż 10% tłuszczu. Zmniejsza to ryzyko jełczenia produktu. Gdy jest to

potrzebne należy również wdrożyć usuwanie chityny. Wspomniane procesy pozwalają uzyskać wysokobiałkową mączkę owadzią. W przydomowych hodowlach pozyskane formy rozwojowe mogą zostać bezpośrednio wykorzystane do żywienia zwierząt. Na tym etapie warto zastanowić się nad wykorzystaniem pozostałości po hodowli. Zwykle przeznaczane są do kompostowania. Wskazuje się również na możliwość wykorzystania pozostałości po hodowli w wytwarzaniu biogazu.

Ryc. 33. Ręczne karmienie stada produkcyjnego *Hermetia illucens*.



Pozyskano z Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing. A step-by step guide. (CC BY 4.0)

Ryc. 34. Larwy czarnej muchy w trakcie tuczu.



Autor: xu pang, <https://www.youtube.com/watch?v=Bp3rQ4i-pEM>. (Wykorzystano na podstawie Youtube fair use guidelines)

Opłacalność produkcji

Hodowca, który rozpoczyna pracę z czarną muchą będzie musiał się liczyć z kosztami, jakie trzeba będzie ponieść prowadząc hodowlę czarnej muchy. Największe koszty będzie generowała praca człowieka. Bez odpowiedniej linii technologicznej, opierać się trzeba na pracy ludzkich rąk. Gotowe rozwiązania do chowu czarnej muchy wprowadzają automatyzację procesu hodowlanego. Wiąże się to jednak z wysokimi kosztami początkowej inwestycji. Jest wiele czynności, którymi należy się zająć w hodowli. Pracownicy muszą dokonać przygotowań do rozpoczęcia cyklu produkcyjnego. Polega to na czyszczeniu i przygotowaniu pojemników do hodowli, obsłudze sit do separacji owadów, przygotowaniu paszy i obsłudze sprzętu do przetwarzania owadów (jeśli taki znajduje się w hodowli). Pracownicy są także odpowiedzialni za utrzymanie stada owadów, co związane jest z przenoszeniem jaj, karmieniem owadów, zbiorem prepoczwarek i usuwaniem martwych osobników. Rolą kadry pracowniczej jest stały monitoring zużycia paszy oraz warunków zoohigienicznych w tym kontrola temperatury, wentylacji, wilgotności i zagęszczenia. W związku z tym warto prowadzić odpowiednią dokumentację. Pracownicy muszą także zadbać o cykliczne sprzątanie obiektu, dezynfekcje pomieszczeń i usuwanie pozostałości po hodowli.

Do kosztów związanych z hodowlą owadów zawsze należy doliczyć, szkolenia, materiały zużywalne przez pracowników, ubiór, środki higieny osobistej, narzędzia, ubezpieczenia i wiele innych rzeczy, których czasem nie jesteśmy w stanie przewidzieć. Zgodnie z literaturą założyć trzeba, że na wytworzenie tony mączki owadziej potrzebnych jest 3 pracowników. Każdy pracownik powinien mieć podstawowe umiejętności i wiedzę dotyczącą: postępowania z żywymi owadami oraz sposób zapobiegania ich ucieczkom, naturalnego zachowania czarnej muchy; umiejętność identyfikowania gatunków owadów (w celu dostrzeżenia ewentualnych szkodników w hodowli), cyklu życia czarnej muchy oraz zasad dotyczących bezpieczeństwa pasz i żywności.

Do takiej inwestycji trzeba wliczyć koszty urządzeń oraz energii elektrycznej. Do podstawowych urządzeń, w które warto zainwestować to rozdrabniarki na pokarm oraz sita automatyczne. W znaczący sposób ułatwią one funkcjonowanie hodowli. Z uwagi na wymagania dotyczące warunków zoohigienicznych spory koszt utrzymania stanowić będzie energia elektryczna. Największy koszt będzie wynikał z potrzeby utrzymania stałej wysokiej temperatury, funkcjonowania systemów wentylacyjnych oraz prawidłowego oświetlenia pomieszczeń hodowlanych zgodnie z zadanym dniem świetlnym. Należy także doliczyć koszty energii, które będą generowane przez sprzęt techniczny, szczególnie jeśli na terenie gospodarstwa będzie przerabiać owady na mączkę. Do innych mniejszych kosztów zaliczyć trzeba funkcjonowanie pomniejszych urządzeń takich jak lodówki komputery czy systemy monitorujące. W przypadku, gdy do hodowli wykorzystać chce się stare budynki gospodarcze, trzeba się liczyć z kosztami związanymi z przystosowaniem ich do konkretnych warunków hodowlanych.

Warto pomyśleć o termoizolacji, gdyż pozwoli nam zmniejszyć koszty związane z utratą ciepła. Dobrym pomysłem jest także inwestycja w termostat.

Do kosztów należy doliczyć materiał paszowy oraz jego obróbkę. Oczywiście, w przypadku, gdy wykorzystywane będą bioodpady z gospodarstwa koszty utrzymania będą znacząco maleć. W tym miejscu warto jeszcze przypomnieć, że do funkcjonowania hodowli należy doliczyć koszty zużycia wody. Zgodnie z literaturą należy przyjąć, że do wytworzenia tony larw potrzebne jest od 15-19 ton mokrej paszy o wilgotności około 75%. Z 1 tony owadów uzyska się maksymalnie 0,5 tony mączki owadziej.

Ile w takim razie można na tym zarobić? Obecnie koszt mączki z czarnej muchy na rynku oscyluje między 3700 zł/tonę do nawet 13000 zł/tonę. Duży rozrzut jest podyktowany dostępnością mączki owadziej na rynku jak i aktualną podażą na ten rodzaj produktu. Z uwagi na wykorzystanie tego komponentu białkowego w żywieniu ryb istnieje silne powiązanie z branżą hodowli akwakultury. Przez to, wahania w tym sektorze bezpośrednio wpływają na cenę mączki.

Obecnie jedyną nadzieją na optymalizację produkcji, a co za tym idzie kosztów, jest automatyzacja produkcji i minimalizacja udziału człowieka w procesach hodowlanych i przetwórstwie tego owada.

Ryc. 35. Wysuszone prepoczwarki *Hermetia illucens*



Autor: Duncan Kinney, Green Energy Futures, <https://www.flickr.com/photos/greenenergyfutures/1378655543>. (CC BY-NC-SA 2.0)

Zasoby i organizacja hodowli

Myśląc o hodowli owadów warto zapoznać się podstawowymi zaleceniami i wytycznymi dla gospodarstw. W hodowli owadów ważne jest zarządzanie działalnością produkcyjną, aby uzyskać jak najlepsze wyniki ekonomiczne oraz aby produkty były akceptowane z punktu widzenia bezpieczeństwa żywności. Bezpieczną żywność uzyskuje się dzięki odpowiednio opracowanym systemom zarządzania, które obejmują na przykład Dobre Praktyki Higieniczne i HACCP. Odpowiednie procedury identyfikowalności i wycofania z rynku stanowią ważne narzędzia w przypadku niewykrytej utraty kontroli lub wykrycia problemu po tym, jak produkt znajduje się już poza kontrolą podmiotu prowadzącego przedsiębiorstwo rolne.

Trzeba przede wszystkim zabezpieczyć podstawową infrastrukturę i zasoby, w tym budynki (pomieszczenia), personel i sprzęt. Oczywiście należy też pamiętać o dostępności energii elektrycznej, wody pitnej, odbioru odpadów i kanalizacji. Lokalizacja hodowli musi wykluczać możliwość wystąpienia zanieczyszczeń pyłami, zapachami i substancjami chemicznymi. Hodowla nie powinna znajdować się przy miejscach składowania lub przetwarzania odpadów. Gospodarstwo, w którym utrzymywane będą owady powinno być odgrodzone.

Budynki i pomieszczenia muszą uwzględniać standardy higieny i bezpieczeństwa stawiane przez legislację krajową. Pomieszczenia muszą spełniać zasady Dobrej Praktyki Higienicznej i Dobrej Praktyki Hodowlanej. Zalicza się do nich na przykład unikanie zanieczyszczeń i umożliwienie skutecznego czyszczenia i dezynfekcji. Na terenie hodowli należy wprowadzić podział na strefy: brudna (czarna) i czystą (białą). Muszą one być tak zaprojektowane, aby gwarantowały zaplanowaną trasę poruszania się i nie krzyżowały się. Budynek powinien posiadać odpowiednie filtry powietrzne oraz zapewniać odpowiednią przestrzeń roboczą. Należy kontrolować zapylenie, czy nie dochodzi do przecieków, a także ewentualną obecność szkodników. Pomieszczenia do hodowli owadów muszą być tak zaprojektowane, aby nie doszło do zanieczyszczenia krzyżowego z innych pomieszczeń produkcji zwierząt. Dlatego powinny istnieć fizyczne bariery pomiędzy hodowlą różnych gatunków zwierząt. Sam obiekt musi mieć charakter zamknięty, a więc nawet najdrobniejsze otwory w budynku czy szpary w drzwiach/oknach muszą być zabezpieczone przed wnikiem szkodników. Zasada ta musi działać też w drugą stronę, po to, aby nie doszło do ucieczki owadów z hodowli. Trzeba pamiętać, że w rozwoju czarnej muchy istotnym czynnikiem jest światło, dlatego też w obiekcie trzeba zaplanować kontrolowane czasowo sztuczne oświetlenie. Do miejsca hodowli owadów powinien mieć wstęp tylko upoważniony personel. Budynki powinny także posiadać pomieszczenie do przechowywania paszy oraz pomieszczenie do składowania ewentualnych substancji szkodliwych (np. służących do czyszczenia i dezynfekcji). We wszystkich pomieszczeniach hodowlanych trzeba cyklicznie sprzątać oraz sprawdzać szczelność i sprawność instalacji. Zalecane są technologie wykorzystywane do

budowy budynków dla inwentarza to jest: podłogi, ściany i sufity powinny być nieprzepuszczalne, nienasiąkliwe, w jasnych kolorach zmywalne lub pokryte zmywalną warstwą ochronną. Nie można wykorzystywać materiałów potencjalnie toksycznych. Wspomniane płaszczyzny muszą być łatwe w dezynfekcji i czyszczeniu, nie mogą mieć żadnych ubytków, szczelin i przestrzeni trudnych do czyszczenia. Płaszczyzny muszą też być odporne na wspomniane zabiegi. Należy zadbać o wydajny system wentylacji, który umożliwi przepływ powietrza w hodowli *Hermetia illucens*. Jeżeli jest konieczne może on odprowadzać nadmiar wilgoci. Jeśli o wentylacji mowa, to trzeba zadbać o to, aby zapachy, pochodzące szczególnie z paszy, nie były uciążliwe dla otoczenia.

Oprócz pomieszczeń hodowlanych, produkcyjnych i magazynowych należy także zagwarantować pomieszczenia socjalne i sanitarne dla pracowników. W miejscach przejścia do strefy czystej powinny znajdować się środki mycia rąk i obuwia. Pracownicy muszą przestrzegać procedur zakładania odzieży roboczej, która jest czysta i rozpoznawalna. Odzież roboczą i zwykłą należy przechowywać oddzielnie. Pomieszczenia socjalne muszą być wentylowane, oświetlone i utrzymywane w czystości. Toalety powinny posiadać podstawowy sprzęt sanitarny oraz dostęp do bieżącej wody.

Jak wspomniano wcześniej, budynki muszą mieć stały dostęp do wody potrzebnej do utrzymania stada czarnej muchy. Stosowana woda w gospodarstwie musi być wolna od zagrożeń biologicznych i chemicznych. Trzeba też zadbać o prawidłowe ciśnienie i temperaturę wody. Urządzenia do dystrybucji muszą być monitorowane i regularnie czyszczone. Również tak zwana woda procesowa, wykorzystywana do czyszczenia pomieszczeń bądź w systemach technologicznych, musi spełniać

wszystkie obowiązujące lokalne i krajowe wymogi regulacyjne, szczególnie dotyczące wymagań mikrobiologicznych.

Trzeba także pamiętać o zasadach dotyczących instalacji i urządzeń przeznaczonych do hodowli i produkcji. Zastosowany w gospodarstwie sprzęt musi być łatwy do czyszczenia i dezynfekcji. Zabiegi konserwatorskie powinny być wykonywane cyklicznie. Zastosowany w hodowli sprzęt nie może zwiększać ryzyka zanieczyszczenia produktu. Dodać należy również, że osprzęt nie powinien być wykonany z materiałów, które mogą negatywnie wpłynąć na rezultaty hodowlane lub na końcowy produkt. Dobrze, jeśli sprzęt do obróbki prepoczwerek zmniejsza kontakt z rękami pracowników. Same instalacje i sprzęt powinny zabezpieczać hodowlę i produkcję przed potencjalnymi zanieczyszczeniami. Wszystkie powierzchnie sprzętowe mające kontakt z produktem powinny być wykonane z nietoksycznego, nieprzepuszczalnego, odpornego na korozję i gładkiego materiału. Aby nie doprowadzić do zanieczyszczenia krzyżowego, sprzęt powinien być wykorzystywany jedynie do przetwarzania larw czarnej muchy. Jeżeli wykorzystuje się sprzęt do obróbki cieplnej należy być pewnym, że wymagana temperatura została osiągnięta w zadanym czasie. Dobrze jest, aby takie urządzenia posiadały systemy monitorowania i kontroli temperatury i czasu. Również sprzęt do chłodzenia/przechowywania, musi być łatwy do rozmrożenia, mycia i kontroli. Zadane zakresy temperaturowe również powinny być monitorowane. Zarówno obsługą jak i konserwacją sprzętu i instalacji musi zajmować się wykwalifikowany personel.

Szczególną rolę w planowanej hodowli powinny stanowić środki do monitorowania i zwalczania szkodników. Powinny one chronić hodowlę przed wnikaniem szkodników z zewnątrz jak i zabezpieczać hodowlę czarnej muchy przed uciezkami

owadów. Do szkodników na terenie hodowli można zaliczyć inne owady, pająki, ptaki, gryzonie i inne małe ssaki. Mają one istotne znaczenie w przypadku bezpieczeństwa komponentów paszowych pozyskanych z czarnej muchy. Dlatego też należy wdrożyć program zabiegów dezynsekcyjnych i deratyzacyjnych, aby zapobiegać aktywności szkodników na terenie gospodarstwa.

Należy zadbać o utrzymanie właściwego porządku i standardów. Zaliczyć do tego można zwalczanie gromadzenia się resztek żywności, usuwanie zbędnego sprzętu i materiałów z obszarów produkcyjnych, utrzymywanie pojemników na odpady organiczne w stanie zamkniętym. Wymagany jest, aby regularnie sprawdzać presję szkodników na prowadzone gospodarstwo i prowadzić potrzebną dokumentację. Nie należy zapominać o pułapkach w strefie brudnej i czystej. W pomieszczeniach powinno znajdować się urządzenie do kontroli owadów latających. W przypadku owadów biegających trzeba stosować pułapki lepowe. Trzeba pamiętać, że każda pułapka, niezależnie czy na owady, czy na gryzonie, musi być oznakowana, naniesiona na planie budynku i regularnie kontrolowana.

Zapewnienie jakości produktu

Produkt, który powstanie po hodowli oraz przetworzeniu czarnej muchy musi spełniać cechy opisane w przepisach prawa. Musi on również spełniać ustawione przez odbiorcę kryteria jakościowe. W przypadku wykorzystania owadów tylko na użytek własny również powinniśmy zadbać o jak najlepszą jakość produktu. Temat ten wciąż wymaga szerokich badań jednak opracowano już podstawowe zasady.

Tak samo jak u innych zwierząt, wartość odżywcza uzyskanych produktów z *Hermetia illucens* zależy w głównej mierze od składu diety oraz warunków utrzymania. Na skład odżywczy czarnej muchy duży wpływ ma zastosowany plan żywieniowy. Wprawdzie larwy *Hermetia illucens* są w stanie żywić się bardzo szeroką gamą produktów, to jednak przez zły dobór substratu żywieniowego, jakość produktu końcowego może odbiegać od zamierzonego. W przypadku zastosowania prepoczwarek w żywieniu zwierząt istotnym aspektem jest stosunek białka do tłuszczu w produkcie. Ich zawartość można modulować przy użyciu odpowiednich substratów pokarmowych. W przypadku standardowej diety *Hermetia illucens* (rozkładająca się materia organiczna) zawartość białek będzie wzrastać, a lipidów maleć. Odwrotna sytuacja będzie w przypadku, gdy zastosowana zostanie pulpa roślinna (np. wykonaną z owoców czy warzyw).

W takim przypadku zawartość białek będzie maleć, a lipidów wzrastać. Należy pamiętać też, że niektóre rośliny mają substancję mogące negatywnie oddziaływać na hodowlę.

Z uwagi na to, że czarna mucha w większości będzie przeznaczona do żywienia zwierząt, należy zwrócić uwagę na różne zanieczyszczenia przyszłego produktu. Z uwagi na fizjologię tego owada istnieje ryzyko zanieczyszczenia produktu metalami ciężkimi. Różne doniesienia naukowe wskazują na akumulację metali ciężkich w prepoczwarcie. Zanieczyszczenia te gromadzą się w pancerzyku chitynowym. Zaletą tego zjawiska jest to, że przy produkcji mączki owadziej, że chitynę można usunąć przy wykorzystaniu odpowiednich zabiegów technologicznych. Również należy mieć na uwadze potencjalne zanieczyszczenia mikrobiologiczne. Pamiętać trzeba, że czarna mucha żyje w specyficznych warunkach i na charakterystycznym pokarmie, który może predysponować do rozwoju patogenów. Wprawdzie czarna mucha jest zdolna do redukcji liczby mikroorganizmów, to jednak wspomniane zagrożenie jest realne. Czarna mucha redukuje liczbę patogenów tylko w specyficznych warunkach (np. zjawisko to obserwuje się w zasadowym pomioście kurzym, a w kwaśnych odchodach świń już nie). Co więcej nie wszystkie patogeny (np. jaja pasożytów) są eliminowane przez tego owada. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie odpowiednich metod przetwarzania (np. przy wykorzystaniu wysokich temperatur), co pozwala zminimalizować liczbę drobnoustrojów do bezpiecznego poziomu. Takie zabiegi pozwalają pozbyć się mikroorganizmów niebezpiecznych dla zwierząt lub powodujących psucie się końcowego produktu. Trzeba pamiętać, że zarówno produkty przeznaczone do skarmiania czarnej muchy jak i powstałe produkty końcowe, muszą być wolne od pestycydów, antybiotyków, środków czystości i wielu innych. Trzeba

też wspomnieć o ewentualnej możliwości wystąpienia alergii na czarną muchę u zwierząt gospodarskich i towarzyszących, która związana może być z odpowiedzią układu immunologicznego na dostarczone białko owadzie.

Jak zacząć hodowle w kilku krokach

W tej części przedstawiono podstawowe czynności, które należy cyklicznie wykonywać przy hodowli czarnej muchy. Opisane postępowanie jest skierowane do hodowli przydomowej. Opracowano ją na podstawie książki „Black Soldier Fly Biowaste Processing A Step-by-Step Guide” wydanej przez Szwajcarski Federalny Instytut Nauk Wodnych i Technologii autorstwa Dortmans i inni.

Krok 1 – Należy przygotować woliery godowe do łączenia czarnych much w pary, w której powinny mieć dostęp do pitnej wody a także miejsce do składania jaj. Owady należy wprowadzić do czystej klatki godowej. W wolierze należy umieścić przedmioty, w których samice będą składać jaja. Mogą to być na przykład kawałki tektury lub klepki drewniane ze szczelinami 1-2 mm. Atraktant, który będzie wabił muchy w miejsce składania jaj, może składać się z martwych czarnych much, pozostałości po hodowli i pulpy owocowej. Woda powinna być dostarczona przez namoczoną tkaninę lub hodowla powinna być zraszana. Należy zanotować datę utworzenia stada podstawowego.

Krok 2 – Po 6-7 dniach użytkowania wolierę godową należy zdemontować. Samice nie przeżywają dłużej niż tydzień. Należy zachować część martwych much (do wykonania atraktantu).

Na tym etapie pozyskuje się jaja owadów, które będą potrzebne w kolejnym kroku. Klatkę godową trzeba dokładnie umyć, najlepiej myjką ciśnieniową. Po myciu trzeba ją wysuszyć. Jeżeli wykorzystywane są siatki to można je wyprać w pralce a następnie wysuszyć. Resztę pozostałości biologicznych po hodowli przeznacza do kompostowania i wykorzystać jako nawóz biologiczny.

Krok 3 – Należy na nowo ustawić klatki godowe w których umieszczamy poczwarki. Owady można umieścić na trocinach lub sianie. Poczwarkom trzeba zapewnić warunki zgodne ze wcześniej opisanymi warunkami zoohigienicznymi. Po przepoczwarczeniu się poczwarek w dorosłe muchy, należy postępować zgodnie z zaleceniami z kroku 1.

Krok 5 – Czas zająć się jajami. Należy je wyjąć z wyczuciem przy użyciu np. szpatułki. Należy je następnie umieścić nad pokarmem. Jako pokarm można wykorzystać suchą paszę starter dla brojlerów zmieszaną z wodą. Pojemniki należy podpisać. Gdy z jaj wyklują się larwy odczekuje się 5 dni.

Krok 6 – Następnym krokiem jest przygotowanie 5-dniowych larw do tuczu. Aby oddzielić larwy od paszy należy wykorzystać sita (rozmiar oczek 1 mm). Na tym etapie można już wybrać larwy, które zostaną przeznaczone do stada podstawowego. Larwy następnie dodajemy do materiału biologicznego/paszy, którą chcemy przetworzyć.

Krok 7 – Utrzymanie larw uzupełniających stado podstawowe. Pozyskane larwy z kroku 6 trzeba dodać do wysoko-wartościowej paszy (np. 30% z suchej paszy dla drobiu i 70% z wody). Należy je utrzymywać w takich warunkach około 2,5 tygodnia aż do pojawienia się prepoczwarek. Do każdej klatki godowej, w zależności od jej rozmiarów, powinno się przeznaczyć od 400 do 800 owadów.

Krok 8 – Czas na przygotowanie materiału, który będzie wykorzystany do skarmiania larw czarnej muchy. Do tego celu produkty należy tak przetworzyć, aby substancje odżywcze były łatwo dostępne. Można do tego wykorzystać rozdrabniarkę, młynek wałowy i wiele innych. W przypadku niewielkiej hodowli zastosować można nawet blender kuchenny.

Krok 9 – Przygotowanie części produkcyjnej. Należy ją przygotować z 5-dniowych larw uzyskanych w kroku 6 i z materiału, który przygotowaliśmy w kroku 8. W piątym i ósmym dniu należy uzupełnić pokarm owadom.

Krok 10 – Zbiór larw lub prepoczwerek należy wykonać po 12-18 dniach. Larwy można pozyskać przy użyciu sit, zaś prepoczwarki należy zebrać z miejsca ich gromadzenia.

Krok 11 – Po zebraniu owady można poddawać dalszej obróbce lub przeznaczyć je do skarmiania zwierząt. Warto przeprowadzić sanityzację przy użyciu wrzątku. Jest to również metoda pozwalająca na szybkie i skuteczne uśmiercenie owadów. Wystarczy zanurzyć owady w gotującej się wodzie na około 1 minutę. Dalsza obróbka zależy od potrzeb hodowcy. Owady możemy wysuszyć lub zamrozić. Dalsze etapy mogą obejmować mielenie, granulowanie, ekstrakcję oleju itp.

Krok 12 – Zagospodarowanie pozostałości po hodowli. Można je przeznaczyć do kompostowania lub jako substrat do produkcji biogazu. W przypadku suchych pozostałości powinny one najpierw przejść proces dojrzewania, zanim zostaną wykorzystane jako nawóz.

Słownik przydatnych pojęć

Ad libidum – łac. do woli.

Behawior – inaczej zachowanie, czyli reakcja organizmu na bodźce płynące ze środowiska.

Bezpieczeństwo żywności – zapewnienie, że żywność jest dopuszczalna do spożycia przez ludzi zgodnie z przeznaczeniem.

Bioasekuracja – sprawdzone procedury i praktyki mające na celu zapobieganie lub ograniczanie narażenia stad na zewnętrzne czynniki biologiczne oraz minimalizowanie wpływu rolnictwa na otoczenie.

Chityna – substancja, z której zbudowany jest pancerz owadów. Pancerz stanowi szkielet zewnętrzny.

Cykl rozwojowy – szereg okresowych i regularnie się powtarzających przemian morfologicznych i fizjologicznych, występujących w rozwoju gatunków

Czarny żołnierz – synonim do nazwy czarna mucha. Nazwa ta wywodzi się od angielskiej nazwy gatunku Black Soldier Fly.

Czyszczenie – usuwanie zabrudzeń, pyłu, pozostałości żywności, brudu, smaru lub innych niepożądanych substancji.

Dobrostan – fizyczny i psychiczny stan zdrowia zwierząt wynikający z prawidłowego utrzymania, pozwalającego na zaspokojenie podstawowych potrzeb zwierząt.

Entomofagia – wykorzystanie owadów w diecie jako źródło składników odżywczych. Zjawisko występujące u ludzi i zwierząt. U zwierząt występuje u pajączaków (np. pająki), płazów, gadów, ptaków i ssaków (w szczególności owadożernych) a nawet innych owadów (np. modliszki). U ludzi entomofagia nie jest niczym i jest praktykowana w wielu kulturach np. azjatyckiej czy afrykańskiej. Szacuje się, że około 2 miliardy ludzi na świecie regularnie w swojej diecie spożywa owady.

Fotoperiod – okres oddziaływania światła widzialnego na zwierzęta w rytmie dobowym.

Fototropizm – reakcje organizmu na światło widzialne. Wyróżniamy reakcje dodatnią i ujemną.

Gatunek inwazyjny – gatunek obcy, który konkuruje z gatunkami rodzimymi w środowisku. Są to gatunki, które rozprzestrzeniają się na terenach, na których wcześniej nie występowały.

GHP – Dobre praktyki higieniczne. Istotne warunki i działania niezbędne do utrzymania higienicznego środowiska w całym łańcuchu żywnościowych, odpowiednie do produkcji, obsługi i dostarczania bezpiecznych produktów.

H. illucens – patrz *Hermetia illucens*

HACCP – Analiza Zagrożeń i Krytyczne Punkty Kontroli. System, który identyfikuje, ocenia i kontroluje zagrożenia istotne dla bezpieczeństwa żywności.

Hemocel – charakterystyczna dla stawonogów mieszana jama ciała.

Hermetia illucens – Czarna mucha po łacinie

Higiena pasz – oznacza środki i warunki niezbędne do kontroli zagrożeń oraz zapewnienia przydatności paszy do żywienia zwierząt, z uwzględnieniem jej przeznaczenia.

Homeostaza – zdolność organizmu do utrzymywania równowagi wewnętrznej przy jak najmniejszym wydatkowaniu energii. Umożliwia przewyższenie oporu środowiskowa.

Imago – postać dorosła owada oraz ostatnie stadium rozwojowe w cyklu rozwojowym tych zwierząt.

Inbred – chów wsobny, czyli kojarzenie zwierząt spokrewnionych ze sobą. Inaczej, jest to prowadzenie hodowli bez wprowadzania osobników niespokrewnionych.

Instar – okresy pomiędzy kolejnymi liniami

IPIFF – International Platform of Insects for Food and Feed (Międzynarodowa Platforma Owadów dla Żywności i Pasz). Jest to unijna organizacja non-profit, która reprezentuje interesy sektora produkcji owadów wobec decydentów, interesariuszy i obywateli. Platforma ma na celu promocję wykorzystywania owadów w żywieniu ludzi oraz ma na celu spożytkowanie owadów w paszach dla zwierząt.

Kanibalizm – zjadanie osobników własnego gatunku. Zjawisko może pojawiać się w hodowlach owadów przy zbyt dużym zagęszczeniu lub przy niedoborach wody i pokarmu.

Larwa – stadium rozwojowe owada, charakteryzujące się przyrostem masy ciała oraz gromadzeniem składników odżywczych potrzebnych do przeobrażenia. Larwa zwykle różni się budową ciała i zachowaniem od postaci dorosłej owada tego samego gatunku.

łac. – po łacinie

Novel food – nowa żywność. Zgodnie z wytycznymi UE jest to pokarm, który jest spożywany tradycyjnie poza obszarem Unii Europejskiej. Określenie to dotyczy również jedzenia uznawanego za żywność innowacyjną i/lub wytworzona przy pomocy nowoczesnych technologii i procesów.

ONZ – Organizacja Narodów Zjednoczonych

Outbred – chów niekrewniaczy, czyli kojarzenie ze sobą zwierząt niespokrewnionych ze sobą.

Owady hodowlane – wszelkie gatunki owadów utrzymywane celowo w ustalonej hodowli, utrzymywane w kontrolowanym środowisku na skalę masową.

PAP – Processed Animal Protein. Określenie dla przetworzonego białka zwierzęcego.

Partia – jednostka produkcyjna wytworzona w jednym zakładzie z wykorzystaniem jednolitych parametrów produkcyjnych

Pasza – oznacza substancje lub produkty, przeznaczone do karmienia zwierząt.

Patogen – czynnik chorobotwórczy. Zaliczamy do nich wirusy, bakterie, grzyby, pasożyty.

Poczwarka – stadium rozwojowe pomiędzy larwą i postacią dorosłą. Jest ona charakterystyczna dla owadów przechodzących przeobrażenie zupełne.

pol. – po polsku

Prepoczwarka – szóste i ostatnie stadium larwalne czarnej muchy. Nie pobiera pokarmu i migruje z miejsc wilgotnych.

Sprzęt – wszystkie przedmioty, maszyny wykorzystywane do celów obróbki, przetwarzania, produkcji lub pakowania owadów dla celów spożywczych i paszowych.

Stado produkcyjne – owady w tym stadzie są intensywnie tuczone a następnie ubijane w celu pozyskania składników odżywczych.

Stado rozrodcze – inaczej stado podstawowe, stado owadów, którego celem utrzymania jest uzyskanie nadwyżki zwierząt, które zostaną przeznaczone do tuczu.

Stratiomyidae – duża rodzina owadów w skład w której wchodzi ponad 2700 gatunków z czego około 60 występuje w Polsce. o różnej budowie ciała, z wyraźnie zaznaczonymi częściami ciała o ciemnym zabarwieniu.

Śmiertelność – stosunek liczby zgonów do liczby osobników hodowli

Środek spożywczy – jakiekolwiek substancje lub produkty, przeznaczone żywienia ludzi

Środowisko naturalne – świat przyrody jako całość lub na konkretnym obszarze geograficznym.

Termostat – urządzenie utrzymujące stałą temperaturę w pomieszczeniu

Tracheole – najmniejsze odgałęzienie tchawki, w których znajduje się płyn.

UE – Unia Europejska

Zagęszczenie – liczba zwierząt w hodowli przypadająca na jednostkę powierzchni w pojemniku.

Zagrożenie – oznacza czynnik biologiczny, chemiczny, fizyczny

Zakład – każda jednostka przedsiębiorstwa paszowego lub spożywczego.

Zanieczyszczenie – istnienie lub powstanie zagrożenia.

Zoohigiena – utrzymywania uzasadnionej ekonomicznie hodowli zwierząt gospodarskich, warunkowane przez celowe wykorzystanie czynników nieożywionych i ożywionych czynników środowiska. Dąży się do tego, aby czynniki panujące w hodowli jak najlepiej wspierały rozwój i tucz zwierząt zgodnie z ich fizjologią.

Literatura

Szczególną rolę w powstaniu tego podręcznika miały następujące publikacje:

- Alvarez, L. (2012). The role of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.)(Diptera: Stratiomyidae) in sustainable waste management in Northern Climates.
 - Caruso, D., Devic, E., Subamia, I. W., Talamond, P., & Baras, E. (2014). Technical handbook of domestication and production of Diptera black soldier fly (BSF), *Hermetia illucens*, Stratiomyidae.
 - Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrugg, C. (2017). Black soldier fly biowaste processing. A step-by step guide.
 - IPIFF Guide on Good Hygiene Practices
 - Joly, G., & Nikiema, J. (2019). Global experiences on waste processing with black soldier fly (*Hermetia illucens*): from technology to business (Vol. 16). IWMI.
-
1. Akhtar, Y., Isman, M. B. (2018). Insects as an Alternative Protein Source. Proteins in Food Processing, 264-288
 2. Altmann, B. A., Wigger, R., Ciulu, M., & Mörlein, D. (2020). The effect of insect or microalga alternative protein feeds

- on broiler meat quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(11), 4292-4302.
3. Arru, B., Furesi, R., Gasco, L., Madau, F. A., & Pulina, P. (2019). The introduction of insect meal into fish diet: the first economic analysis on European sea bass farming. *Sustainability*, 11(6), 1697.
 4. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105-120.
 5. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2018). Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(9), 761-770.
 6. Barros, L. M., Gutjahr, A. L. N., Ferreira-Keppler, R. L., & Martins, R. T. (2019). Morphological description of the immature stages of *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)(Diptera: Stratiomyidae). *Microscopy research and technique*, 82(3), 178-189.
 7. Bava, L., Jucker, C., Gislón, G., Lupi, D., Savoldelli, S., Zucali, M., & Colombini, S. (2019). Rearing of *Hermetia illucens* on different organic by-products: Influence on growth, waste reduction, and environmental impact. *Animals*, 9(6), 289.
 8. 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. *Animal Biology & Animal Husbandry*, 11(1).
 9. Bondari K. & D.C. Sheppard. (1981). Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24, 103-109.

10. Bondari K. & Sheppard, D. C. (1987). Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquaculture and Fisheries Management*, 18, 209-220.
11. Bonelli, M., Bruno, D., Caccia, S., Sgambetterra, G., Capellozza, S., Jucker, C., Tettamanti, G., Casartelli, M. (2019). Structural and functional characterization of *Hermetia illucens* larval midgut. *Frontiers in Physiology*, 10, 204.
12. Booth D. C. & Sheppard, D. C. (1984). Oviposition of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): eggs, masses, timing, and site characteristics. *Environmental Entomology*, 13, 421-423.
13. Bradley S. W. & Sheppard, D. C. (1984). House fly oviposition inhibition by larvae of *Hermetia illucens*, the Black soldier fly. *Journal of Chemical Ecology* 10, 853-859.
14. Bulak, P., Proc, K., Pawłowska, M., Kasprzycka, A., Berus, W., & Bieganski, A. (2020). Biogas generation from insects breeding post production wastes. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118777.
15. Cáceres, C., Rendón, P., & Jessup A. (2012). The FAO/IAEA Spreadsheet for Designing and Operating Insect Mass-Rearing Facilities. Producers manual.
16. Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Komi, K. M., Niassy, F.S, van Loon, J. A. J., Marcel Dicke M., & Ekesi, S. (2018). Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PloS one*, 13(11), e0206097.
17. Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C., & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste management*, 35, 68-80.

18. De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L., & Schiavone, A. (2015). 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. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 211-218.
19. De Smet, J., Wynants, E., Cos, P., & Van Campenhout, L. (2018). Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9).
20. Diener, S. (2010). Valorization of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, in low and middle-income countries. Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Zurich, Switzerland.
21. Diener, S., Solano, N. M. S., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357-363.
22. Diener, S., Zurbrügg, C. & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management Research* 27, 603-610.
23. Dortmans B., Diener S., Verstappen B., Zurbrügg C. 2017. Black Soldier Fly Biowaste Processing – A Step-by-Step Guide, Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf (Szwajcaria).

24. Dossey, A. T., Morales-Ramos, J. A., & Rojas, M. G. (Eds.). (2016). Insects as sustainable food ingredients: production, processing and food applications. Academic Press.
25. Dyrektywa 2002/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 7 maja 2002 r. w sprawie niepożądanych substancji w paszach zwierzęcych
26. Dzepe, D., Nana, P., Kuietche, H. M., Kimpara, J. M., Magat-sing, O., Tchuinkam, T., & Djouaka, R. (2021). Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. SN Applied Sciences, 3(2), 1-9.
27. EFSA Scientific Committee, 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal 2015, 13(10): 4257.
28. 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.
29. Gligorescu, A., Fischer, C. H., Larsen, P. F., Nørgaard, J. V., & Heckman, L. H. L. (2020). Production and Optimization of *Hermetia illucens* (L.) Larvae Reared on Food Waste and Utilized as Feed Ingredient. Sustainability, 12(23), 9864.
30. Hadj Saadoun, J., Montevecchi, 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. Journal of the Science of Food and Agriculture, 100(9), 3648-3657.
31. Hale, O. M. (1973). Dried *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae) as a feed additive for poultry. Journal of the Georgia Entomological Society 8, 16-20.

32. Hauschild, M., Jeswiet, J., & Alting, L. (2005). From life cycle assessment to sustainable production: status and perspectives. *CIRP annals*, 54(2), 1-21.
33. Holmes L.A., Van Laerhoven S.L., Tomberlin J.K. 2010. Lower temperature threshold for black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) egg and adult eclosion. American Academy of Forensic Sciences, Seattle, Washington.
34. Holmes, L. A., Van Laerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2012). Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 41(4), 971-978.
35. Homska N., Kowalska J., Mikołajczak Z., Wachowiak R., Rawski M., Kierończyk B., Czekala W. 2021. Wykorzystanie *Hermetia illucens* w biokonwersji oraz biodegradacji odpadów i produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, *Przegląd hodowlany*, 1, s. 11.
36. Jin, X. H., Heo, P. S., Hong, J. S., Kim, N. J., & Kim, Y. Y. (2016). Supplementation of dried mealworm (*Tenebrio molitor* larva) on growth performance, nutrient digestibility and blood profiles in weaning pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(7), 979.
37. Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M. G., Lupi, D., & Savoldelli, S. (2017). Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental entomology*, 46(6), 1415-1423.
38. Jucker, C., Lupi, D., Moore, C. D., Leonardi, M. G., & Savoldelli, S. (2020). Nutrient recapture from insect farm waste: bio-conversion with *Hermetia illucens* (L.)(Diptera: Stratiomyidae). *Sustainability*, 12(1), 362.

39. Julita, U., Suryani, Y., Kinasih, I., Yuliawati, A., Cahyanto, T., Maryeti, Y., Permana, A. D., & Fitri, L. L. (2018, November). Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L),(Diptera: Stratiomyidae) reared on horse and sheep manure. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing.
40. Kawasaki, K., Hashimoto, Y., Hori, A., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Iwase, S. I., Hashizume, A., Ido, A., Miura, C., Miura, T., Nakamura, S., Seyama, T., Matsumoto, Y., Kasai, K., & Fujitani, Y. (2019). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and pre-pupae raised on household organic waste, as potential ingredients for poultry feed. *Animals*, 9(3), 98.
41. Kemppineen, C. S. (1998). An investigation of some factors influencing oviposition and larvae development in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). Master's Thesis, University of Georgia.
42. Khan, S., Khan, R. U., Alam, W., & Sultan, A. (2018). Evaluating the nutritive profile of three insect meals and their effects to replace soya bean in broiler diet. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 102(2), e662-e668.
43. Kierończyk, B., Sypniewski, J., Rawski, M., Czekąła, W., Świątkiewicz, S., & Józefiak, D. (2020). From waste to sustainable feed material: the effect of *Hermetia illucens* oil on the growth performance, nutrient digestibility, and gastrointestinal tract morphometry of broiler chickens. *Annals of Animal Science*, 20(1), 157-177.
44. Kim, J. G., Choi, Y. C., Choi, J. Y., Kim, W. T., Jeong, G. S., Park, K. H. & Hwang, S. J. (2008). Ecology of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera; Stratiomyidae) in Korea. *Korean Journal of Applied Entomology* 47, 337-343.

45. Lalander, C., Diener, S., Magri, M. E., Zurbrügg, C., Lindström, A., & Vinnerås, B. (2013). Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*)—From a hygiene aspect. *Science of the Total Environment*, 458, 312-318.
46. Larouche, J., Deschamps, M. H., Saucier, L., Lebeuf, Y., Doyen, A., & Vandenberg, G. W. (2019). Effects of killing methods on lipid oxidation, colour and microbial load of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Animals*, 9(4), 182.
47. Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z. & Zhou, S. (2011). From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel* 90, 1545–1548.
48. Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J. K., & Yu, Z. (2011). Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *Waste management*, 31(6), 1316-1320.
49. Liu, Z., Najar-Rodriguez, A. J., Minor, M. A., Hedderley, D. I., & Morel, P. C. (2020). Mating success of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), under four artificial light sources. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 205, 111815.
50. 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.
51. Mancuso, T., Baldi, L., & Gasco, L. (2016). An empirical study on consumer acceptance of farmed fish fed on insect meals: the Italian case. *Aquaculture international*, 24(5), 1489-1507.
52. Marono, S., Loponte, R., Lombardi, P., Vassalotti, G., Pero, M. E., Russo, F., Bovera, F. (2017). 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 Science, 96(6), 1783-1790.
53. Marzouk, S. (2016). How to raise *H. illucens* in captivity: a protocol (No. e2466v1). PeerJ Preprints.
 54. Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Journal of the Science of Food and Agriculture, 98(15), 5776-5784.
 55. Mertenat, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2019). Black Soldier Fly biowaste treatment–Assessment of global warming potential. Waste Management, 84, 173-181.
 56. Meyer, S., Gessner, D. K., Braune, M. S., Friedhoff, T., Most, E., Höring, M. & Ringseis, R. (2020). Comprehensive evaluation of the metabolic effects of insect meal from *Tenebrio molitor* L. in growing pigs by transcriptomics, metabolomics and lipidomics. Journal of Animal Science and Biotechnology, 11(1), 1-19.
 57. Miranda, C. D., Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2020). Mass production of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) reared on three manure types. Animals, 10(7), 1243.
 58. 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.
 59. Myers, H. M., Tomberlin, J. K., Lambert, B. D., & Kattes, D. (2014). Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. Environmental entomology, 37(1), 11-15.

60. 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(1), 161-166.
61. 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(3), 395-400.
62. Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., Burtle, G., & Dove, R. (2005). Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. *Animal and Poultry Waste Management Center*, North Carolina State University, Raleigh, NC, 17.
63. Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), 898-906.
64. Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*, 44(2), 406-410.
65. Nogales-Mérida, S., Gobbi, P., Józefiak, D., Mazurkiewicz, J., Dudek, K., Rawski, M., Kierończyk, B., & Józefiak, A. (2019). Insect meals in fish nutrition. *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1080-1103.
66. Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 193-202.

67. Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PloS one*, 10(12), e0144601.
68. Park, H.H. (2015). Black soldier fly larvae manual. NRC 396 – Independent Study.
69. Park, K. H., Kim, W. T., Lee, S. B., Choi, Y. C., & Nho, S. K. (2010). Seasonal pupation, adult emergence and mating of black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) in artificial rearing system. *International Journal of Industrial Entomology*, 21(2), 189-191.
70. Raimondi, S., Spampinato, G., Macavei, L. I., Lugli, L., Candelie-re, F., Rossi, M., Maistrello, L., & Amaretti, A. (2020). Effect of rearing temperature on growth and microbiota composition of *Hermetia illucens*. *Microorganisms*, 8(6), 902.
71. Ramos-Elorduy, J., González, E. A., Hernández, A. R., & Pino, J. M. (2002). Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of Economic Entomology*, 95(1), 214-220.
72. Roháček, J., & Hora, M. (2013). A northernmost European record of the alien black soldier fly *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758)(Diptera: Stratiomyidae). *Casopis Slezského Zemského Muzea (A)*, 62(2), 101-106.
73. Rozporządzenie (WE) Nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 stycznia 2002 r. ustanawiające ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołujące Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz ustanawiające procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności.
74. Rozporządzenie (WE) nr 183/2005 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 stycznia 2005 r. ustanawiające wymagania dotyczące higieny pasz

75. Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/893 z dnia 24 maja 2017 r. zmieniające załączniki I i IV do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 999/2001 oraz załączniki X, XIV i XV do rozporządzenia Komisji (UE) nr 142/2011 w odniesieniu do przepisów dotyczących przetworzonego białka zwierzęcego.
76. Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/893 z dnia 24 maja 2017 r. zmieniające załączniki I i IV do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 999/2001 oraz załączniki X, XIV i XV do rozporządzenia Komisji (UE) nr 142/2011 w odniesieniu do przepisów dotyczących przetworzonego białka zwierzęcego
77. Rozporządzenie Komisji (UE) 2017/893 z dnia 24 maja 2017 r. zmieniające załączniki I i IV do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 999/2001 oraz załączniki X, XIV i XV do rozporządzenia Komisji (UE) nr 142/2011 w odniesieniu do przepisów dotyczących przetworzonego białka zwierzęcego
78. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 142/2011 z dnia 25 lutego 2011 r. w sprawie wykonania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 określającego przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, oraz w sprawie wykonania dyrektywy Rady 97/78/WE w odniesieniu do niektórych próbek i przedmiotów zwolnionych z kontroli weterynaryjnych na granicach w myśl tej dyrektywy
79. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 142/2011 z dnia 25 lutego 2011 r. w sprawie wykonania rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 określającego przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi,

- oraz w sprawie wykonania dyrektywy Rady 97/78/WE w odniesieniu do niektórych próbek i przedmiotów zwolnionych z kontroli weterynaryjnych na granicach w myśl tej dyrektywy
80. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie nowej żywności, zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady oraz rozporządzenie Komisji (WE) nr 1852/2001
 81. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie nowej żywności, zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady oraz rozporządzenie Komisji (WE) nr 1852/2001
 82. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/429 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie przenośnych chorób zwierząt oraz zmieniające i uchylające niektóre akty w dziedzinie zdrowia zwierząt („Prawo o zdrowiu zwierząt”)
 83. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1143/2014 z dnia 22 października 2014 r w sprawie działań zapobiegawczych i zaradczych w odniesieniu do wprowadzania i rozprzestrzeniania inwazyjnych gatunków obcych
 84. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1069/2009 z dnia 21 października 2009 r. określające przepisy sanitarne dotyczące produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego, nieprzeznaczonych do spożycia przez ludzi, i uchylające rozporządzenie (WE) nr 1774/2002 Rozporządzenie wykonawcze (UE) nr 142/2011
 85. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 999/2001 z dnia 22 maja 2001 r. ustanawiające zasady do-

tyczące zapobiegania, kontroli i zwalczania niektórych przenośnych gąbczastych encefalopatii

86. Ruhnke, I., Normant, C., Campbell, D. L., Iqbal, Z., Lee, C., Hinch, G. N., & Roberts, J. (2018). Impact of on-range choice feeding with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) on flock performance, egg quality, and range use of free-range laying hens. *Animal Nutrition*, 4(4), 452-460.
87. Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: application of life cycle assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*, 140, 890-905.
88. Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., & Manzano-Agugliaro, F. (2014). Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 16-27.
89. Secci, G., Bovera, F., Nizza, S., Baronti, N., Gasco, L., Conte, G. & Parisi, G. (2018). Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean. *Animal*, 12(10), 2191-2197.
90. Sheppard, C. D., Newton, L., Thompson, S. A. & Savage, S. (1994). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology* 50, 275-279.
91. Sheppard, 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.
92. Sheppard, D. C. Newton, G. L., & Burtle, G. (2007). Black soldier fly prepuae: a compelling alternative to fish meal and fish oil. NOAA-USDA alternative Feeds initiative Report.

93. Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., & Gasco, L. (2019). The potential role of insects as feed: A multi-perspective review. *Animals*, 9(4), 119.
94. Spartano, S., & Grasso, S. (2021). Consumers' Perspectives on Eggs from Insect-Fed Hens: A UK Focus Group Study. *Foods*, 10(2), 420.
95. Spiller D. 1966. Insect colonization and mass production. [W:] SMITH C.N. (red.) *House flies*. New York: Academic Press: 1-31.
96. Spinelli, R., Neri, P., Pini, M., Barbi, S., Montorsi, M. O. N. I. A., & Ferrari, A. M. (2019, January). Using black soldier flies (*Hermetia illucens*) to bioconvert waste from the livestock production chain: a life cycle assessment case study. In 9th International Conference on Waste Management and the Environment.
97. Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Ovynd, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout M., De Clercq, P., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594-2600.
98. St-Hilaire, S., Cranfill, K., McGuire, M. A., Mosley, E. E., Tomberlin, J. K., Newton, L., Sealey, W., Sheppard, C., & Irving, S. (2007). Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(2), 309-313.
99. Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. C. (2002). Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *Journal of Entomological Science*, 37(4), 345-352.

100. Tomberlin, J. K., Adler, P. H. & Myers, H. M. (2009). Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology* 38, 930-934.
101. 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. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 379-386.
102. Uushona, T. (2015). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae as a protein source for broiler production (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
103. van der Fels-Klerx, H. J., Meijer, N., Nijkamp, M. M., Schmitt, E., & van Loon, J. A. J. (2020). Chemical food safety of using former foodstuffs for rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for feed and food use. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(5), 475-488.
104. Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, 58, 563-583.
105. Veldkamp, T., & Vernooij, A. G. (2021). Use of insect products in pig diets. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1-14.
106. Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91.
107. Webster, C. D., Rawles, S. D., Koch, J. F., Thompson, K. R., Kobayashi, Y., Gannam, A. L., Twibell, R.G. & Hyde, N. M. (2016). Bio-Ag reutilization of distiller's dried grains with solubles (DDGS) as a substrate for black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, along with poultry by-product meal and soybean meal, as total replacement of fish meal in diets for Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture Nutrition*, 22(5), 976-988.

108. Woods, M. J., Cullere, M., Van Emmenes, L., Vincenzi, S., Pieterse, E., Hoffman, L. C., & Zotte, A. D. (2019). *Hermetia illucens* larvae reared on different substrates in broiler quail diets: Effect on apparent digestibility, feed-choice and growth performance. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(2), 89-98.
109. Yu, G., Chen, Y., Yu, Z., & Cheng, P. (2009). Research progress on the larvae and prepupae of black soldier fly *Hermetia illucens* used as animal feedstuff. *Chinese bulletin of entomology*, 46(1), 41-45.
110. Yu, G., Cheng, P., Chen, Y., Li, Y., Yang, Z., Chen, Y., & Tomberlin, J. K. (2011). Inoculating poultry manure with companion bacteria influences growth and development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental entomology*, 40(1), 30-35.
111. 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*. *Journal of Insect Science* 10, 1-7.
112. 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.
113. Giunti, G., Campolo, O., Laudani, F., & Palmeri, V. (2018). Male courtship behaviour and potential for female mate choice in the black soldier fly *Hermetia illucens* L.(Diptera: Stratiomyidae). *Entomologia Generalis*, 38(1), 29-46.
114. Fowles, T. M., & Nansen, C. (2019). Artificial selection of insects to bioconvert pre-consumer organic wastes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(3), 31.