

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI
BOLOGNA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE E TECNOLOGIE AGRO-
ALIMENTARI

CAMPUS DI CESENA

LAUREA MAGISTRALE IN

SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

Larve di *Hermetia illucens*, un'opportunità per il settore alimentare e
mangimistico: possibili applicazioni e criticità

Tesi in

67484 INNOVAZIONI E SICUREZZA DEI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE (C.I.) /
29597 INNOVAZIONI NELLA FILIERA DEI PRODOTTI CARNEI E OVOPRODOTTI

Relatore:
Prof. Massimiliano Petracci

Candidato: Regis Filippo

Matricola N°: 930569

Anno Accademico 2020/2021

Sessione unica

Indice

Capitolo 1: <i>Introduzione</i>	3
1.1 Gli insetti nel sistema alimentare e mangimistico	3
Capitolo 2: <i>La mosca soldato</i>	6
2.1: Ciclo vitale e caratteristiche nutrizionali	7
2.2: Allevamento	9
2.3: Separazione larve-substrato e tracciabilità	15
Capitolo 3: <i>Trasformazione delle larve ed estrazione dei principali componenti:</i>	17
3.1: Frazione proteica	19
3.2: Frazione lipidica	22
3.3: Chitina	23
Capitolo 4: <i>Applicazione dei prodotti delle larve di mosca soldato per mangime animale</i>	24
5.1: Acquacoltura	27
5.2: Avicoltura	31
Capitolo 5: <i>Applicazione dei prodotti delle larve di mosca soldato per la produzione di alimenti</i>	34
5.1: Il fattore repulsione	37
4.2: Barriera legislativa	39
Capitolo 6: <i>Conclusioni</i>	41
Bibliografia e sitografia	43

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Gli insetti nel sistema alimentare e mangimistico

Il nostro pianeta si trova ormai costretto a dover fronteggiare grosse sfide a causa dell'incremento della popolazione e il conseguente aumento della competizione per risorse scarse. Secondo una stima della Food and Agriculture Organization (FAO) la produzione alimentare mondiale dovrà aumentare del 70% entro il 2050, soprattutto per sfamare la popolazione che ci si aspetta raggiunga i 9 miliardi di persone. Di conseguenza anche l'aumento della domanda e del consumo di carne è previsto aumentare del 70% e l'offerta di proteine non riuscirà a soddisfarlo (FAOSTAT, 2015).

La produzione di mangimi per animali è sempre più in competizione per risorse come terra, acqua e concimi con il settore alimentare ed energetico e questo comporta un aumento della pressione ambientale (ad esempio su fornitura d'acqua, deforestazione e impoverimento dei terreni nei paesi produttori).

La ricerca di nuove e più sostenibili fonti di proteine per aiutare a ridurre i rischi legati al cambiamento climatico causati dall'agricoltura tradizionale ha portato a un aumento dell'attenzione verso l'utilizzo degli insetti come nuova fonte alimentare umana e animale (van Huis *et al.*, 2013).

L'entomofagia è l'antica usanza di mangiare insetti praticata soprattutto dai paesi non occidentali. Gli insetti costituiscono già parte fondamentale della dieta di 2.5 miliardi di persone in tutto il mondo (FAO, 2013) e si ritiene che ben 2,037 specie diverse di insetti vengano consumate (Jongema, 2015). Gli insetti edibili sono un alimento promettente anche per paesi industrializzati, visto il loro profilo nutrizionale e il loro basso impatto ambientale. Molti insetti edibili hanno un contenuto di proteine simile a quello di altri animali da

allevamento e contengono tutti gli amminoacidi essenziali richiesti dall'uomo (Bukkens & Paoletti, 2005). Sono inoltre ricchi di proteine, acidi grassi, vitamine e sali minerali.

Dalla ricerca emergono molti fattori che indicano come gli insetti abbiano anche molte possibilità di contribuire alla produzione di mangimi animali. Gli insetti sono già una fonte di alimentazione naturale per animali da allevamento come pesci, pollame e suini e il loro alto contenuto di proteine e altri nutrienti essenziali li rende ideali anche per la dieta di animali domestici.

Alcuni dei principali vantaggi degli insetti rispetto ad altre fonti proteiche è il loro alto rapporto di conversione e un veloce tasso di crescita e riproduzione per cui sono necessarie molte meno risorse, come terra o acqua, per produrre la stessa quantità di proteine (de Souza-Vilela *et al.*, 2019). Gli insetti più accettati nei mercati occidentali sono i grilli (*Gryllidae*), le cavallette (*Locusta migratoria*), i vermi della farina (*Tenebrio molitor*) e i bachi da seta (*Bombyx mori*) (EFSA, 2015). *Hermetia illucens* è stata in qualche modo fino ad ora trascurata come opzione per il consumo umano nonostante sia un insetto molto promettente vista la sua capacità di riciclare sostanze organiche tipicamente considerate rifiuti che può aprire le porte per l'instaurarsi di nuove economie circolari (EFSA, 2015).

Seppur siano svariati i vantaggi dell'introduzione degli insetti come alimento, esistono anche alcuni ostacoli che ne rallentano l'affermazione sul mercato. Prima tra tutti è la sostenibilità economica, visto che, come ogni innovazione, la produzione di insetti su larga scala richiede ingenti risorse economiche per lo studio e sviluppo del sistema di allevamento e trasformazione. Per questo ormai da molti anni svariati centri di ricerca pubblici e privati, start up e aziende alimentari e mangimistiche si sono concentrate nello sviluppo del sistema più efficiente possibile dal punto di vista economico.

Un altro grosso ostacolo è la percezione del consumatore, visto che gli insetti vengono spesso visti come un alimento non igienico e poco appetibile. Neofobia alimentare è il termine utilizzato per descrivere la riluttanza dei consumatori a provare nuovi cibi e gioca un ruolo chiave nella predisposizione del consumatore occidentale ad accettare gli insetti come alimento (Verbeke,

2015). Processare e trasformare gli insetti può essere una delle soluzioni per ridurre questa barriera psicologica; i consumatori sono più propensi a consumare gli insetti in forme o prodotti a loro familiari che mangiarli interi o in nuovi prodotti (Tan *et al.*, 2015). Per questo sono necessari programmi estensivi di educazione, attività imprenditoriali, ricerche accademiche e uno sforzo delle istituzioni nel diffondere e far recepire le grandi opportunità che gli insetti, e la mosca soldato in particolare, possono rappresentare nel ridurre l'impatto ambientale degli attuali sistemi produttivi alimentari e mangimistici.

Capitolo 2

La mosca soldato

La mosca soldato (figura 2.1), *Hermetia illucens*, è un insetto appartenente all'ordine Diptera, famiglia Stratiomyidae, originario di regioni tropicali e temperate, ma ormai diffusosi in tutto il mondo grazie alla sua capacità di adattamento.

Inizialmente studiato in ambito di entomologia forense, in quanto, riuscendo a svilupparsi su resti di corpi umani in decomposizione, risulta utile ai fini della determinazione della datazione e delle cause di morte. Successivamente è diventato un insetto di interesse anche in ambito di smaltimento rifiuti, essendo in grado di ridurre la massa e il carico inquinante degli stessi, convertendoli in nuova materia organica composta principalmente da proteine di ottima qualità, grassi e sali minerali. La mosca soldato è in grado di svolgere questo ruolo grazie a una particolare selezione di enzimi intestinali che gli permette di nutrirsi di varie sostanze animali e vegetali come letame, paglia di riso, scarti alimentari, frattaglie animali, rifiuti di ristoranti e molti altri (de Souza- Vilela *et al.*, 2019).



Figura 2.1: Mosca soldato (*Hermetia illucens*) (Chia *et al.* 2018)

È considerato un insetto non infestante e per questo idoneo ad essere allevato senza particolari precauzioni e inoltre l'adulto si nutre solo di acqua,

non approccia l'uomo, non morde e non punge e non è vettore di nessuna malattia specifica (Sheppard *et al.*, 2002). Per queste ragioni sta iniziando a diventare uno dei principali insetti studiati come fonte di nutrienti per l'alimentazione animale, ma anche come novel food per l'alimentazione umana.

2.1 Ciclo vitale e composizione nutrizionale delle larve

Il ciclo vitale della mosca soldato (figura 2.2), che è un insetto olometabolo, si compone di sei stadi principali, di cui tre raggruppabili nello stadio larvale:

- Uovo: le uova, di colore giallo chiaro e lunghezza di circa 1 millimetro, vengono deposte sul substrato organico e schiudono in circa 4 giorni, se le condizioni sono ottimali;
- Larva: inizialmente lunghe circa 1-2 millimetri fino ad arrivare a maturazione completa dopo tre stadi a lunghezza di circa 2 centimetri. Le larve passano attraverso tre stadi e durante i venti/trenta giorni necessari per completare lo sviluppo mangiano senza sosta.
- Pupa: giunta a maturazione ottimale, la larva si ritira all'interno dell'ultimo strato di pelle, detto pupario, che grazie a un processo di cheratinizzazione si indurisce. A questo punto la pupa entra in uno stato di quiescenza in attesa delle condizioni ottimali per il passaggio allo stadio adulto;
- Adulto: Lo stadio adulto può raggiungere i 2 centimetri di lunghezza, è di colore nero e ha ali con nervature molto dense che ricoprono l'intera membrana. L'adulto non ha bisogno di nutrirsi perché sfrutta come fonte di energia i grassi accumulati dalla larva e durante i sette giorni circa di vita deposita le uova su substrato organico.

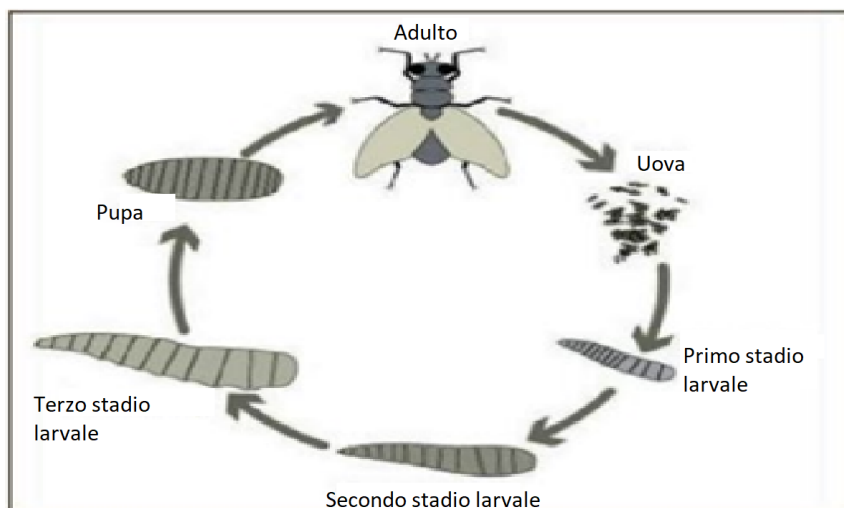


Figura 2.2: Ciclo vitale di *Hermetia illucens* (adattata da ecosolutions.com)

In natura la pupazione, ovvero il passaggio da larva a pupa, può avvenire in un tempo che varia da 9 giorni a 5 mesi (Fernanda Oliveira *et al.*, 2015), mentre a livello di allevamento si possono regolare le condizioni di temperatura e umidità per farla avvenire al momento opportuno. Quindi il controllo di questo stadio risulta essere il metodo più efficace per programmare la produzione di larve.

La larva è lo stadio più interessante dal punto di vista tecnologico, grazie alla sua ottima composizione nutrizionale, che lo rende adatto alla dieta animale e umana. In media la larva di mosca soldato ha un contenuto di proteine che varia dal 37 al 63% sulla sostanza secca e un contenuto di grassi che varia dal 7 al 40% sulla sostanza secca (Zheng *et al.*, 2012). La sostanza secca varia dal 20 al 45% (Diener *et al.*, 2009).

La composizione corporea delle larve è molto influenzata da due principali fattori:

- Lo stadio di sviluppo larvale: ad esempio il contenuto di proteine diminuisce con l'avanzare dell'età larvale, passando dal 61% della sostanza secca dopo 5 giorni di sviluppo al 40-45% dopo 20 giorni (Rachmawati *et al.*, 2010);
- La dieta fornita alle larve (tabella 2.1): la tipologia e quantità di alimento fornito alle larve ne influenza molto il contenuto in proteine e grassi.

Substrate	%CP ¹	n	%CF ¹	n	References
Cattle manure	42.1	1	34.8; 29.9	2	Li <i>et al.</i> , 2011b; Newton <i>et al.</i> , 1977
Chicken manure	40.1±2.5	3	27.9±8.3	3	Arango Gutiérrez <i>et al.</i> , 2004; Li <i>et al.</i> , 2011b; Sheppard <i>et al.</i> , 1994 Li <i>et al.</i> , 2011b; Manzano-Agugliaro <i>et al.</i> , 2012; Newton <i>et al.</i> , 2005b;
Swine manure	43.6; 43.2	2	26.4±7.6	4	St-Hilaire <i>et al.</i> , 2007b;
Palm kernel meal	42.1; 45.8	2	27.5	1	Rachmawati <i>et al.</i> , 2010
Restaurant waste	–	–	39.2	1	Zheng <i>et al.</i> , 2012
Chicken feed	47.9±7.1	3	14.6±4.4	3	Bosch <i>et al.</i> , 2014; Nguyen <i>et al.</i> , 2015; Oonincx <i>et al.</i> , 2015b;
By-products ²	41.7±3.8	4	–	–	Oonincx <i>et al.</i> , 2015b
Liver	62.7	1	25.1	1	Nguyen <i>et al.</i> , 2015 ³
Fruits and vegetables	38.5	1	6.63	1	Nguyen <i>et al.</i> , 2015 ³
Fish	57.9	1	34.6	1	Nguyen <i>et al.</i> , 2015 ³

¹ All values expressed on a dry matter basis. Values are mean ± standard deviation. n gives the number of replicates. If n=2, individual values are stated, separated by a semicolon.

² Beet molasses, potato steam peelings, spent grains and beer yeast, bread and cookie remains.

³ Original values on a fresh matter basis have been converted to dry matter basis using the water content reported.

Tabella 2.1: Contenuto di proteine crude (CP) e grasso crudo (CF) di larve di mosca soldato allevate su diversi substrati. (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017)

2.2 Allevamento

Gli insetti come prodotto alimentare e le industrie alimentari basate sugli insetti sono solo all’inizio del loro sviluppo. Per molto tempo gli insetti sono stati allevati e venduti in molte aree del mondo come prodotto locale e mangiati interi. Solo da pochi anni alcuni imprenditori hanno iniziato a prendere in considerazione l’idea di produrre insetti in massa, processarli e venderli allo stesso modo di altre materie prime di origine animale, creando così un settore industriale completamente nuovo.

Una delle sfide principali per l’allevamento di massa di insetti edibili è di trovare il giusto bilanciamento tra i livelli di meccanizzazione, automazione, lavoro, investimento e produttività. I vari elementi concorrenti alla qualità e costi di produzione degli insetti come alimentazione, rifornimento d’acqua, spostamento, raccolta, pulizia, trasformazione, packaging e conservazione possono essere migliorati molto introducendo nuove tecnologie. Gli attuali sistemi di allevamento non raggiungono alti livelli di automazione e questo porta a due conseguenze: i prodotti disponibili sul mercato hanno un prezzo eccessivo e possono avere spesso una qualità bassa o molto variabile. Per far sì che gli insetti possano sostituire la carne, gli allevatori devono essere in grado di offrire grossi volumi di biomassa con costanza, un’alta e costante qualità e ad un prezzo basso. Raggiungendo un livello di almeno l’80% di

meccanizzazione dei processi produttivi, gli allevatori di insetti potrebbero offrire volumi di prodotto sufficientemente alti e con costo per kilogrammo abbastanza basso da essere competitivo con altre materie prime di origine animale. Un sistema di monitoraggio può essere integrato per controllare e registrare dati riguardanti il rendimento ad esempio di accoppiamento, ovodeposizione, condizioni ambientali e microbiologiche e ciclo vitale (J.A. Cortes *et al.*, 2016).

In figura 2.3 è possibile vedere un esempio di allevamento meccanizzato progettato e realizzato in Spagna con l'intento di produrre industrialmente la tarma della farina (*Tenebrio molitor*), sistema che può essere riportato anche ad un allevamento di *Hemeticia illucens*.

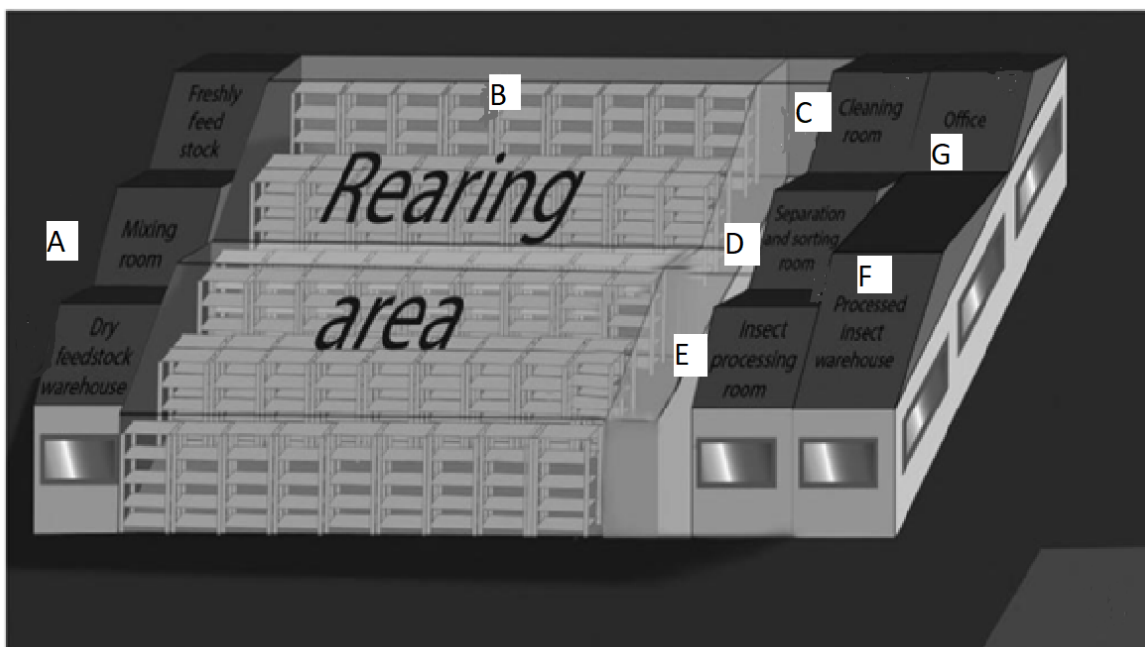


Figura 2.3: Esempio di allevamento automatizzato e distribuzione delle operazioni: (A) zona di ricezione, miscelazione e stoccaggio materia prima, (B) zona di allevamento, (C) stanza lavaggio, (D) stanza separazione e selezione, (E) stanza di trasformazione insetti, (F) magazzino di stoccaggio insetti, (G) uffici e sala controllo (adattata da J.A. Cortes *et al.*, 2016)

Questo sistema di allevamento prevede la suddivisione dello stabilimento produttivo in vari reparti:

- zona di ricezione alimenti: la materia prima se necessario viene lavorata per renderla idonea alla dieta degli insetti (triturazione, miscelazione) e scoccata in silo;
- zona di allevamento;

- stanza lavaggio;
- stanza separazione e selezione;
- stanza di trasformazione;
- magazzino di stoccaggio;
- uffici e sala controllo

L'allevamento delle larve di *Hermetia illucens* viene considerato a tutti gli effetti un allevamento animale e in quanto tale deve rispettarne gli stessi regolamenti. Uno dei principali vantaggi delle larve di *Hermetia illucens* è quello di essere polifaga, cioè riesce a nutrirsi di qualsiasi sostanza organica. Questa caratteristica le rende molto interessanti per la loro capacità di convertire rifiuti e quindi di poter essere allevate partendo da una materia prima di scarto. Nonostante ciò, si deve comunque rispettare il Regolamento (UE) 2017/1017, concernente il catalogo delle materie prime per mangimi, che non autorizza l'utilizzo di resti di origine animale, ma solamente quelli di origine vegetale.

L'allevamento di mosca soldato e la produzione delle sue larve si basa principalmente sulla gestione delle colonie di adulti e di larve. Ovviamente gli adulti sono indispensabili per la riproduzione e quindi per la produzione in massa di larve che vengono poi utilizzate per convertire i rifiuti organici in prodotti come proteine e grassi.

Le fasi principali dell'allevamento sono quindi:

- 1) Gestione della colonia di adulti: gli adulti di questa specie non hanno bisogno di nutrirsi visto che riescono a utilizzare come fonte di energia il grasso corporeo accumulato; quindi, gli adulti maschi raramente in natura una volta sviluppati rimangono nella zona dove sono presenti le larve e il substrato, ma si allontanano. Le femmine invece rimangono solamente per ovodeporre per poi morire dopo poco tempo. Questa caratteristica li rende anche più igienici da produrre rispetto ad altre mosche, poiché gli adulti hanno meno possibilità di diffondere microorganismi da altri substrati. Quindi, nelle colonie, gli adulti morti si accumulano alla base delle gabbie per l'allevamento. Questi adulti devono essere

periodicamente rimossi per aumentare il livello di ovideposizione nelle aree desiderate.

Solitamente gli individui maschi nascono un paio di giorni prima delle femmine (Tomberlin *et al.*, 2002), dopo altri due giorni avviene l'accoppiamento e dopo ancora altri due giorni avviene l'ovodeposizione (Tomberlin & Sheppard, 2002). È quindi necessario gestire accuratamente i tempi di intervento alle gabbie per la raccolta delle uova per non interrompere l'accoppiamento ancora non completamente compiuto. Come già detto gli adulti non necessitano di essere nutriti nemmeno con acqua, tuttavia è consigliabile, almeno d'estate, utilizzare un sistema di nebulizzazione per mantenere l'umidità a livelli ottimali.

Gli adulti hanno un comportamento di aggregamento che è fondamentale per l'accoppiamento (Tomberlin & Sheppard, 2001); gli adulti formano dei siti di aggregamento dove i maschi cercano di attaccarsi alle femmine in volo e di accoppiarsi. Per questo motivo è necessario che le gabbie di allevamento (figura 2.4) siano di minimo un metro cubo per permettere il volo.



Figura 2.4: Gabbia di allevamento rettangolare pieghevole, rete bianca (farfalledalmondo.com)

L'accoppiamento è inoltre regolato dalla luce solare (Tomberlin & Sheppard, 2002), quindi per ovviare a questo problema in ambienti chiusi di allevamento si ricorre a sistemi di illuminazione artificiale. Altri fattori importanti da tenere in considerazione sono la temperatura e l'umidità: al di sotto dei 27°C l'accoppiamento e l'ovodeposizione si riducono notevolmente, influenzando così negativamente sulla produttività della colonia. (Holmes et al., 2012; Tomberlin & Sheppard, 2002).

Il sito di ovodeposizione deve essere ridotto per facilitare le operazioni di raccolta (Sheppard *et al.*, 2002). Uno dei principali metodi adottati è quello di usare contenitori inoculati con materiale in decomposizione e saturati di acqua così da attrarre le femmine. Dei cartoncini corrugati vengono attaccati ai contenitori direttamente sopra all'acqua, fornendo così il supporto ideale per le femmine su cui deporre le uova. I cartoncini vengono poi rimossi prima di 4 giorni per evitare la schiusa e le uova così raccolte possono essere separate in due gruppi, uno per mantenere la colonia adulta e l'altro per la produzione in massa di larve.

- 2) Gestione della colonia di larve: come già detto le uova impiegano circa 4 giorni per schiudersi, sempre considerando temperatura e umidità a livelli ottimali (Tomberlin *et al.*, 2002). Tipicamente, i cartoncini contenenti le uova vengono posti in piccoli contenitori di plastica trasparente da circa 500 mL e coperti con un foglio di carta sigillato con un elastico. Questi contenitori vengono poi posti in camere apposite chiamate stanze per lo sviluppo larvale che vengono mantenute alla temperatura ideale di circa 27°C, umidità relativa del 60-70% e rapporto 14:10 di luce:buio. La temperatura è un parametro vitale che va monitorato per non danneggiare lo sviluppo larvale (Tomberlin *et al.*, 2009).

I contenitori delle uova vanno controllati quotidianamente per monitorare la schiusa. Appena avvenuta la schiusa, le larve vanno nutrite con una ridotta quantità di dieta standard con umidità di circa il 70%. Molte ricerche hanno esaltato la dieta denominata Gainesville come la migliore

per il primo stadio di sviluppo poiché è facilmente producibile in grossi volumi, standardizzabile e a basso costo (Hogsette, 1992; Tomberlin *et al.*, 2009). Le larve vengono nutrite in questo modo per 2-4 giorni, poi vengono trasferite in contenitori più grossi coperti per evitare che le larve escano e nutrite ad libitum fino alla pupazione. Ovviamente la parte di larve che serviranno per essere trasformate vengono raccolte prima di questo stadio e subito ammazzate per interrompere il ciclo vitale.

Durante la fase detta di “ingrasso”, le larve sono in grado di digerire svariate sostanze organiche, caratteristiche che come già menzionato le rende particolarmente interessanti dal punto di vista della sostenibilità. Tuttavia, la tipologia di alimento consumato ne influenza molto la capacità e il tempo necessario allo sviluppo. La dieta va quindi formulata in modo da ottenere il massimo sviluppo larvale in termini di peso corporeo nel minor tempo possibile.

Gli attuali sistemi di produzione in massa di larve di mosca soldato si dividono in due categorie:

- A) Sistema continuo: è il primo sistema sviluppato e si basa su larghe canaline simili ad abbeveratoi con pareti inclinate che vengono riempiti di larve ogni giorno. Le larve vengono nutrite con un flusso a basso volume ma costante di alimento, che risulta quindi in un'alimentazione continua delle larve, le quali una volta pronte alla pupazione si arrampicano su per le pareti inclinate del canale e cadono in appositi raccoglitori posti alla base del sistema. Tuttavia, ci sono alcuni problemi con questo sistema: qualsiasi infezione può risultare in una morte di massa nel canale, determinare l'efficienza di produzione può essere difficoltoso in quanto le larve a diversi stadi di sviluppo sono mischiate ed è richiesto un grosso spazio per una struttura come questa.
- B) Sistema discontinuo: questo sistema prevede l'utilizzo di lotti di larve tenuti in container, in ognuno dei quali si inserisce l'alimento per le larve quotidianamente e si monitora lo sviluppo larvale. Questo sistema richiede chiaramente maggiore lavoro per fornire l'alimento, monitorare

le larve e muovere i container verso l'area di separazione, ma ha alcuni benefici tra cui impedire la morte di massa dell'intera produzione e l'ottimizzazione delle prestazioni grazie al monitoraggio di ciascuna unità.

2.3: Separazione larve-substrato e tracciabilità

Una volta giunte a completo sviluppo, le larve devono essere separate dal substrato e selezionate per taglia. Grazie al loro comportamento di auto raccolta, le larve possono essere separate dal substrato semplicemente costruendo un percorso verso l'alto nel loro contenitore di allevamento e lasciando che le larve si spostino da sole (Sheppard *et al.*, 1994).

Le larve non si sviluppano tutte con la stessa velocità; quindi, una parte della colonia può essere di dimensioni ridotte e necessitare di ulteriori giorni di crescita su substrato. Un ulteriore processo di separazione può essere effettuato per via meccanica utilizzando vagli di tipo vibrante (figura 2.5) o rotante, macchinari normalmente utilizzati nell'industria alimentare per la lavorazione di prodotti granulari ed in polvere di varia natura e dimensioni, ad esempio per la pulitura di materie prime o per la separazione e selezione di farine. È così possibile ottenere una separazione e selezione delle larve per poi destinarle o ai passaggi produttivi successivi o a un secondo periodo di sviluppo.



Figura 2.5: Vaglio vibrante (www.pamco.it)

Durante la fase di separazione è possibile calcolare il tasso di conversione del substrato semplicemente misurando la quantità di substrato consumato dalle larve, il peso guadagnato dalle larve e la quantità di substrato rimanente.

Il substrato di allevamento rimanente dalla fase di separazione può essere raccolto, conservato e destinato ad altre applicazioni, ad esempio compostandolo per renderlo idoneo ad un utilizzo come fertilizzante.

Un accorgimento importante da rispettare durante tutte le fasi di produzione di larve di *Hermtia illucens*, come per ogni altro allevamento animale o produzione agro-alimentare, è la tracciabilità. La tracciabilità dall'allevamento fino al consumo è essenziale per garantire sicurezza e monitorare ogni rischio legato alla qualità igienico sanitaria del prodotto. Ogni vasca o contenitore in cui vengano allevati o conservati gli insetti o i prodotti di essi devono essere catalogati indicando informazioni riguardo i lotti di substrato nutritivo e acqua utilizzati, data e ora di inizio produzione, precedenti parentali, stadio di crescita, data di separazione o pulizia (J. A. Cortes *et al.*, 2016).

Capitolo 3

Trasformazione delle larve ed estrazione dei principali componenti

Il primo passaggio che le larve devono compiere per essere trasformate è quello dell'uccisione; varie ricerche si sono concentrate nel capire quale sia il metodo migliore per non danneggiare i componenti delle larve.

I principali metodi indagati sono per congelamento, per essiccamento o tramite bollitura. È stato dimostrato che metodi lenti come il congelamento e l'essiccazione promuovono l'attivazione degli enzimi responsabili di processi quali la melanizzazione e lipolisi che portano ad ottenere larve di colore più scuro. L'effetto sulla frazione proteica avviene soprattutto a carico di lisina e cisteina, amminoacidi essenziali, coinvolti nella melanizzazione, e inoltre avviene un'aggregazione delle proteine con conseguente modificazione del profilo di estrazione. La bollitura invece, rappresenta un efficace metodo di uccisione poiché riesce ad inattivare le fenolossidasi e a inibire quindi completamente le reazioni di imbrunimento e altre reazioni metaboliche negative. Le proteine delle larve uccise tramite bollitura risultano quindi essere più facilmente estraibili, migliori dal punto di vista nutrizionale e più suscettibili all'idrolisi enzimatica (Leni G. *et al.*, 2019).

Una volta uccise, le larve possono essere processate per essere in seguito commercializzate e consumate. Esistono tre tipologie di prodotti ottenibili:

- 1) Insetto intero: nei paesi tropicali, gli insetti sono tradizionalmente consumati interi preparandoli a seconda dell'occasione tramite cottura in forno, frittura o bollitura. In alcuni paesi come nella Repubblica Democratica del Lao è possibile trovare nei mercati gli insetti come *snacks ready-to-eat*.
- 2) Granulari o in pasta: la macinatura è un metodo comune di trasformazione di molti alimenti. I semi di soia, ad esempio, sono spesso trasformati in tofu o altri prodotti sostitutivi della carne. La carne viene

normalmente trasformata in polpette o *hot dogs* e il pesce in bastoncini. Allo stesso modo, gli insetti possono essere processati per trasformarli in forme più appetibili. Solitamente vengono tritati fino a formare una polvere o una pasta e aggiunti ad altri alimenti per aumentarne il valore nutrizionale. Un metodo efficace per ottenere una polvere è quello dell'essiccamento seguito da macinazione. Ad esempio, in Thailandia alcune creme al peperoncino vengono addizionate con insetti d'acqua giganti (*Lethocerus indicus*). Quindi in società come quelle occidentali, dove i consumatori non sono abituati a mangiare insetti, questa forma di trasformazione può risultare ideale per rendere gli insetti apprezzabili.

- 3) Estratti proteici: estrarre la frazione proteica dagli insetti, processo già utilizzato per altri alimenti, può essere un metodo efficace per rendere accettabili gli insetti dal consumatore. In alcuni casi isolare ed estrarre le proteine dagli insetti è desiderabile per aumentare il contenuto proteico di alcuni alimenti. Tuttavia, arricchire alimenti con proteine di insetti richiede una conoscenza profonda delle proprietà funzionali delle proteine estratte, come il profilo amminoacidico, la stabilità termica, la solubilità, la capacità gelificante, schiumogena ed emulsionante. L'estrazione chimica permette di separare i gruppi proteici basandosi sulla solubilità in solventi e produce frazioni idrosolubili e non idrosolubili, che possono essere utilizzate in specifiche applicazioni sia per alimenti umani che per mangimi animali. Metodi alternativi di estrazione comprendono l'estrazione enzimatica, la cromatografia a letto fluido e l'ultrafiltrazione. Al momento il costo di questi processi risulta essere proibitivo quindi è necessaria ulteriore ricerca per sviluppare questi metodi e renderli applicabili dall'industria alimentare.

3.1 Frazione proteica

Il profilo amminoacidico fornisce buone indicazioni riguardo la qualità delle proteine di un alimento. Il profilo amminoacido delle larve di mosca soldato copre pienamente gli standard di riferimento indicati dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (WHO/FAO/UNU Expert Consultation, 2007). Basandosi su questo fattore, le larve di mosca soldato si presentano come una valida alternativa alle convenzionali fonti di proteine per consumo umano; inoltre, risultano essere migliori qualitativamente rispetto alle proteine, ad esempio, di carne e pollo (tabella 3.1) e quindi essere una soluzione sostenibile per sostituire le più tradizionali fonti proteiche. La lisina è di particolare interesse nei paesi in via di sviluppo, essendo un amminoacido poco presente in molti cereali che rappresentano la dieta principale di molte persone nel mondo (Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation, 2007). Il fabbisogno umano di lisina di 45 mg/g di proteine può essere facilmente coperto inserendo nella dieta le larve di mosca soldato (Liu *et al.*, 2017).

Species	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Trp	Val	His	Reference
Adult daily requirement	30.0	59.0	45.0	22.0	38.0	23.0	6.0	39.0	15.0	Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation, (2007)
Beef	44.2 to 51.9	56.4 to 98.4	82.8 to 106.5	36.0 to 47.2	69.8 to 73.5	38.7 to 44.7	5 to 11.3	49.2 to 66.6	32.5 to 32.6	U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2019)
Chicken	45.5 to 49.0	82.7 to 86.5	86.5 to 96.1	36.3 to 36.4	73.7 to 76.3	41.6 to 44.8	8.4 to 12.5	47.3 to 51.7	30.3 to 37.3	U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (2019)
BSFL (<i>Hermetia illucens</i>)	40.0 to 41.0	61.0 to 75.0	54.0 to 65.0	14.0 to 47.0	31.0 to 110.0	36.0 to 42.0	6.0	39.0 to 55.0	28.0 to 33.0	Bosch et al. (2014); Liland et al. (2017); Caligiani et al. (2018)
Mealworm (<i>Tenebrio molitor</i>)	29.0 to 35.5	34.0 to 73.0	29.0 to 54.0	11.8 to 26.0	52.2 to 100.0	18.0 to 39.0	12.0	24.3 to 61.0	15.2 to 29.0	Ravzanaadii, Kim, Choi, Hong, and Kim (2012); Yi et al. (2013)
Cricket (<i>Acheta domesticus</i>)	36.0 to 42.0	66.0 to 73.0	53.0 to 56.0	15 to 25.0	63 to 92.0	35.0 to 36.0	6.0 to 9.0	55.0 to 60.0	21.0 to 26.0	Nakagaki, Sunde, and DeFoliart (1987); Yi et al. (2013)

Tabella 3.1: Contenuto di amminoacidi essenziali di larve di mosca soldato (*Hermetia illucens*), verme della farina (*Tenebrio molitor*), grilli (*Acheta domesticus*), manzo e pollo (mg/g di proteine) comparati al fabbisogno giornaliero (mg/kg/giorno) (Bessa L.W. et al., 2020)

Il contenuto amminoacidico delle larve non è condizionato da fattori esterni nella stessa misura degli altri componenti nutrizionali; tuttavia, studi hanno mostrato che esso varia nel corso del ciclo vitale delle larve, con livelli

maggiori di amminoacidi nelle larve più giovani, solitamente tra i 4 e i 6 giorni di vita (Liu *et al.*, 2017).

Come già detto, il contenuto di amminoacidi e quindi la qualità delle proteine è anche influenzato dal processo di trasformazione, come ad esempio il metodo di uccisione. L'uccisione tramite congelamento attiva percorsi enzimatici che portano a una perdita di cisteina e lisina, mentre tramite bollitura o *blanching* non si osservano effetti negati sul profilo amminoacidico. Questo è dovuto al fatto che cisteina e lisina sono coinvolte nell'imbrunimento enzimatico (Leni, *et al.*, 2019).

Al fine di incorporare le larve di *Hermetia illucens* come ingrediente nei moderni sistemi alimentari, le proprietà funzionali delle proteine devono essere pienamente comprese.

Il termine “funzionale” si riferisce a ogni proprietà di un alimento o di un ingrediente alimentare, eccetto quelle nutrizionali, che influenza la sua utilizzazione, come la viscosità, capacità di assorbire acqua o lipidi, solubilità, potere emulsionante, gelificante e schiumogeno (Hall, 1996). Comprendere le proprietà funzionali delle proteine delle larve di mosca soldato può contribuire a creare e stabilizzare la struttura dei prodotti che le contengono. Inoltre, può anche fornire indicazioni riguardo le sue migliori applicazioni come ingrediente alimentare per potenzialmente andare a sostituire altri ingredienti funzionali come la soia.

Al momento, sono disponibili poche informazioni riguardo le proprietà funzionali delle proteine estratte da insetti in generale e ancora meno riguardo quelle di mosca soldato (Bußler *et al.*, 2016). Attualmente un solo articolo scientifico riguardante le proprietà della farina ottenuta da larve di mosca soldato è stato pubblicato (Bußler *et al.*, 2016). Questo studio si è concentrato sul capire l'effetto del contenuto di lipidi sulle proprietà della farina di mosca soldato. È stato dimostrato come un alto contenuto di lipidi impatti negativamente sulle proprietà funzionali delle proteine e che tramite vari procedimenti di rimozione della frazione lipidica è possibile migliorare tali proprietà (Bußler *et al.*, 2016). Inoltre, è stato anche studiato come il solvente utilizzato per l'estrazione delle proteine impatti sulla qualità delle proteine e

dopo aver testato vari solventi, il 2-metilossolano è stato indicato come il più efficace nel produrre proteine di alta qualità (Ravi *et al.*, 2019).

Le larve di mosca soldato hanno una buona capacità di assorbire acqua e lipidi (Bußler *et al.*, 2016), come anche molti estratti proteici di altri insetti. Questa capacità delle proteine di assorbire e ritenere sia acqua che lipidi contribuisce a migliorare *texture*, gusto e sensazione in bocca complessive in prodotti come preparazioni di carne o impasti di farina (Adebowale *et al.*, 2005). La capacità schiumogena delle proteine degli insetti è tipicamente ritenuta essere bassa, con formazione di schiume instabili o addirittura nessuna schiuma (Osasona & Olaofe, 2010). Riguardo la capacità schiumogena delle proteine di mosca soldato sono disponibili poche informazioni in letteratura e sebbene si pensi che producano schiume simili a quelle prodotte da proteine di altri insetti, sono necessarie ulteriori ricerche.

La capacità gelificante, un'altra proprietà funzionale molto importante, è stata studiata in altre specie di insetti e si ritiene sia molto buona, rendendo le proteine di insetto una valida alternativa alle gelatine utilizzate dall'industria alimentare (Osasona & Olaofe, 2010).

Una delle problematiche più importanti nel determinare le proprietà funzionali delle proteine di insetti è la mancanza di standardizzazione del metodo di estrazione. Alcuni studi preliminari hanno evidenziato come il metodo di estrazione influenzi molto le proprietà funzionali delle proteine (Bußler *et al.*, 2016; Ravi *et al.*, 2019)

Questo fattore è stato notato essere influente anche per l'estrazione delle proteine dalle larve di mosca soldato e si è capito che modulando il processo di estrazione è possibile modificarne anche le proprietà funzionali (Bußler *et al.*, 2016). L'idrolisi enzimatica con proteasi di *Bacillus licheniformis* è stata utilizzata per purificare le proteine estratte dagli insetti ed è stato riscontrato come sotto determinate condizioni possa rappresentare un metodo efficace per migliorarne le proprietà funzionali (Leni *et al.*, 2020). In uno studio condotto da Leni *et al.* nel 2020, la percentuale di idrolisi è stata identificata come fattore influente sulle proprietà funzionali delle proteine di insetti, mentre tempi prolungati di idrolisi portano ad una riduzione di alcune proprietà, tra cui quella

emulsionante. Un ulteriore sforzo della ricerca deve essere compiuto per migliorare il processo di frazionamento ed ottenere livelli qualitativi ottimali di ogni componente delle larve (proteine, lipidi e chitina), mantenendone l'integrità e la funzionalità (Caligiani *et al.*, 2018).

3.2 Frazione lipidica

Secondo vari studi, le larve di mosca soldato risultano avere un alto contenuto di acidi grassi saturi. L'acido laurico (C12:0) è di gran lunga l'acido grasso più abbondante ed è ritenuto responsabile di attività antimicrobica nei confronti di batteri gram positivi (Caligiani *et al.*, 2019; Meneguz *et al.*, 2018). A esso seguono alte concentrazioni di acido oleico (C18:1n-9), acido palmitico (C16:0) e acido linoleico (C18:2n-6) (Caligiani *et al.*, 2019). Il profilo degli acidi grassi è il più influenzato dalla dieta delle larve; alcuni studi mostrano come sia possibile manipolarlo variando l'input nutrizionale delle larve.

L'età delle larve è un altro elemento che ha un forte impatto sul profilo lipidico, con un incremento in acidi grassi saturi e diminuzione di quelli insaturi nelle larve più mature (Liu *et al.*, 2017). L'uccisione per congelamento, anche in questo caso, incide in maniera maggiore sulla qualità dei lipidi rispetto alla bollitura o *blanching* (Caligiani *et al.*, 2019).

La frazione lipidica delle larve di mosca soldato è stata recentemente studiata come potenziale sostituto di burro e margarina, con fino al 50% e 75% di lipidi sostituiti con successo rispettivamente in burro e margarina (Delicato *et al.*, 2020; Smetana *et al.*, 2020). Tra i 10 e i 20°C, la margarina ottenuta con grasso di mosca soldato risulta avere un contenuto alto di acidi grassi saturi, con una buona stabilità, un buon comportamento di fusione e spalmabilità comparata a margarine tradizionali (Smetana *et al.*, 2020).

Nonostante la sua applicazione in prodotti alimentari risulti possibile, ulteriori ricerche sono necessarie riguardo alle specifiche caratteristiche fisiche e chimiche dei lipidi di mosca soldato per poterne ottimizzare l'utilizzo.

3.4 Chitina

La chitina è il componente principale dell'esoscheletro degli insetti e dei crostacei. Da essa si può ricavare il chitosano, polisaccaride strutturale molto studiato ed utilizzato in vari settori quali medicina, farmaceutica e cosmetica. La chitina ricavata da mosca soldato è una promettente alternativa a quella ricavata dai crostacei, specialmente perché è tipicamente considerata un prodotto secondario e rappresenta quindi un ottimo modo di valorizzare un sottoprodotto. Metodi industriali chimici che sono usati con i crostacei, come la demineralizzazione, la deproteizzazione e la deacetilazione, sono stati studiati per applicarli anche alle larve di mosca soldato per isolare e purificare la chitina e convertirla in chitosano. L'efficienza di estrazione del chitosano dalla mosca soldato è risultata essere inferiore rispetto a quello dei crostacei e quindi economicamente meno conveniente (Hahn *et al.*, 2020). Altri metodi alternativi come l'idrolisi enzimatica tramite proteasi o l'utilizzo di solventi eutettici attualmente risultano meno efficienti del metodo chimico, ma in futuro potrebbero essere migliorati per ottenere una resa maggiore di estrazione di chitina, proteine e grassi, senza ottenere i rifiuti generati dalla purificazione chimica (Caligiani *et al.*, 2018).

Altri elementi come l'età delle larve devono essere tenuti in considerazione per il loro effetto sul contenuto, stabilità termica e tasso di degradazione della chitina, così come sulla cristallizzazione, proprietà molto importanti per il suo utilizzo finale (Wang *et al.*, 2020). Chitina e chitosano ricavati dagli insetti hanno dimostrato proprietà emulsionanti (Hirsch *et al.*, 2019) e antimicrobiche (Shin *et al.*, 2019); tuttavia, ulteriori ricerche sono necessarie per applicare al meglio chitina e chitosano come ingrediente in industrie alimentari, ma anche farmaceutiche e cosmetiche (Kumar, 2000).

Capitolo 4

Applicazione dei prodotti delle larve di mosca soldato per mangime animale

Nel 2011, la produzione mondiale di mangime stimata era di 870 milioni di tonnellate con una rendita della produzione di circa 359 miliardi di dollari americani. La FAO ha stimato che la produzione dovrà aumentare del 70% per soddisfare la richiesta mondiale nel 2050, con una produzione di carne (pollame, suini e bovini) che ci si aspetta raddoppierà (IFIF, 2012).

Uno dei principali problemi per la sicurezza alimentare mondiale è quello di dover riuscire a produrre sufficienti quantità di proteine ad alto valore biologico e questo compito al momento è svolto principalmente dagli allevamenti di bestiame. Tuttavia, questi allevamenti richiedono più del 70% della terra coltivabile e contribuiscono gravemente sulle emissioni di gas serra e quindi sui cambiamenti climatici. Questo è dovuto principalmente al fatto che prodotti consumabili dall'uomo vengono usati come mangime per gli allevamenti, con un coefficiente di conversione del mangime in carne inefficiente, soprattutto per quanto riguarda il bestiame (Oonincx & De Boer, 2012). Ad esempio, tra le attuali fonti di mangime animale ci sono cereali che sarebbero ottimali per la dieta umana. Tra il 2012 e il 2014, circa il 34% della produzione globale di cereali è stata utilizzata come mangime per animali invece che per l'alimentazione umana (OECD/FAO, 2015) e questa quantità si pensa aumenterà notevolmente entro il 2050. Questo fattore è chiaramente indicato dal rapido aumento della terra coltivata a mais e soia, le due principali colture usate come mangime: nel primo decennio del ventunesimo secolo si è riscontrato un aumento di circa 56 milioni di ettari (HPLE, 2016).

Al momento, gli ingredienti utilizzati per alimentare animali da carne e i pesci comprendono farina di pesce, olio di pesce, soia e diversi cereali e uno dei principali ostacoli per la crescita degli allevamenti è rappresentato proprio dai costi proibitivi di questi, che rappresentano il 60-70% dei costi di produzione.

Un altro problema è quello dello smaltimento del letame, che sta diventando un vero problema ambientale; non è raro che grandi quantità di letame vengano stoccate in lotti all'aperto, brulicanti di mosche.

I prezzi delle farine di pesce stanno aumentando (figura 4.1). L'aumento della domanda nel 2010 e 2011 ha portato a prezzi nettamente più alti rispetto al passato e, sebbene la domanda sia poi calata nel 2012, i prezzi sono rimasti alti. Questo significa che per piccoli allevatori la farina di pesce è diventata meno accessibile. Inoltre, l'acquacoltura è il settore di produzione animale più in crescita e dovrà aumentare la sua sostenibilità per poter fronteggiare un ulteriore aumento della domanda di pesce. Al momento, circa il 10% della produzione mondiale di pesce è destinata alla produzione di farina di pesce a sua volta usata principalmente per l'acquacoltura (FAO, 2012).

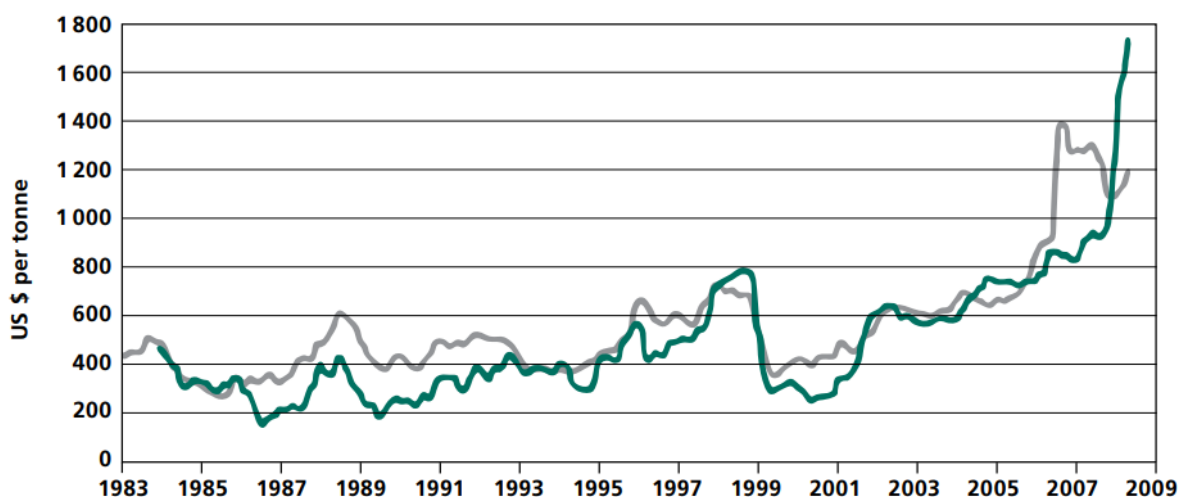


Figura 4.1: Prezzi internazionali di vendita di olio di pesce (linea verde) e farina di pesce (linea grigia) (Tacon & Metian, 2008)

Il Sud America è il più grande produttore di farina di pesce, grazie alla pesca delle acciughe, che però è molto variabile a causa della sua dipendenza dal ciclo climatico locale. La pesca e quindi la produzione di farina ricavata dalle acciughe ha avuto un picco massimo di 12 milioni di tonnellate nel 1994, ma è poi diminuita arrivando a soli 4 milioni di tonnellate nel 2010 e ci si aspetta diminuisca ulteriormente.

Gli insetti possono avere un mercato simile a quello della farina di pesce ed essere utilizzati per alimentare gli allevamenti di pesce e bestiame, oltre che

per il *petfood*. Il recente aumento della domanda e del prezzo della farina di pesce, così come l'incremento della pressione sull'acquacoltura, hanno portato all'interesse della ricerca per lo sviluppo delle proteine ricavate da insetti per sostituire proprio la farina di pesce.

Gli insetti costituiscono un'interessante alternativa come fonte di proteine: la qualità nutrizionale degli insetti è comparabile a quella della carne (Van Huis et al., 2014), sebbene i primi abbiano un impatto ecologico minore in termini di utilizzo di acqua e terra e di emissioni di gas serra rispetto alle produzioni di polli, maiali e bovini (Van Huis *et al.*, 2013). Questo è dovuto al rapporto di conversione del mangime in proteine più favorevole e anche al fatto che molte specie di insetti possono essere allevate su substrati non destinabili al consumo umano come residui di colture e materie di scarto derivate dalla produzione alimentare.

Gli insetti sono una importante fonte alimentare per molti animali e tra quelli allevati, polli, maiali e pesci consumano volentieri gli insetti (Van Huis & Tomberlin, 2017).

Tra gli insetti che sembrano essere più accessibili come mangime per animali da allevamento troviamo proprio la larva di mosca soldato che riesce a convertire substrati non disponibili come tali come mangime in proteine di ottima qualità. Il suo contenuto di proteine che va dal 37 al 63% della sostanza secca e la sua composizione amminoacidica comparati alla farina di soia risultano favorevoli (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017)

Anche il loro contenuto di micronutrienti è importante e le larve di mosca soldato grazie al loro contenuto di ferro, zinco e vitamine risultano essere efficaci per lo sviluppo e il benessere degli animali (Rumpold & Schluter, 2013). Studi in vitro hanno mostrato che zinco e ferro negli insetti possono essere biodisponibili. Se questo venisse confermato da studi in vivo, gli insetti potrebbero rappresentare non solo una buona fonte di proteine, ma anche di micronutrienti (LatundeDada *et al.*, 2016).

Fino a poco tempo fa in Europa, secondo il regolamento UE 2017/893, era consentito l'utilizzo di tutti i prodotti degli insetti solamente per la produzione di mangimi destinati all'acquacoltura e per il *petfood*, mentre per

suini e avicoli mancava ancora l'autorizzazione per quanto riguarda le PAP (*processed animal proteins*), cioè le proteine animali trasformate, mentre era già possibile utilizzare le larve vive, i lipidi e le proteine idrolizzate. Da poco tempo invece, grazie al regolamento UE 2021/1372, questa barriera è stata abbattuta e anche avicoli e suini possono essere nutriti con PAP. Questo apre le porte all'instaurazione di un sistema mangimistico più sostenibile. Per quanto riguarda invece i bovini, non è consentita l'alimentazione tramite insetti.

L'utilizzo delle larve di mosca soldato come mangime deve quindi essere seriamente considerato, non solo per il loro ridotto impatto ambientale. Come componente di una dieta completa, ha dimostrato di supportare una buona crescita di polli, maiali e pesci soprattutto d'acqua dolce come trota e tilapia (FAO, 2012).

4.1 Acquacoltura

I mangimi composti per pesci contengono macro e micronutrienti a livelli tali da soddisfare il loro fabbisogno di tali elementi e farli crescere in maniera ottimale anche in condizioni di allevamento intensivo. Questi mangimi normalmente sono composti da sostanze di origine animale e/o vegetale ai quali i micronutrienti (vitamine e minerali) vengono aggiunti. Gli ingredienti più utilizzati comprendono farina di pesce, farina di krill, proteine della soia concentrate, farine di cereali vari, glutine del grano, olio di pesce e oli di semi. Sottoprodotti animali come piume di avicoli o sangue sono anche usati e vengono studiati e testati molti nuovi ingredienti come alghe marine, microalghe, farine di proteine batteriche e insetti.

La dieta di pesci carnivori come la trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*) e il salmone atlantico (*Salmo salar*) richiede una dieta ad alto contenuto calorico, caratterizzata da alti contenuti di lipidi e proteine e bassi livelli di carboidrati. Gli ingredienti di origine animale, come gli insetti, rientrano in questi requisiti molto meglio di quelli di origine vegetale. Il contenuto di nutrienti di varie specie di insetti è stato a questo proposito studiato in diversi articoli scientifici (Rumpold & Schluter 2013; Barroso *et al.*, 2014; Makkar *et al.*, 2014;

SanchezMuros *et al.*, 2014; Henry *et al.*, 2015). Quindi, non solo per la loro qualità nutrizionale, ma anche per il fatto che rappresentano una preda naturale dei pesci, gli insetti possono rappresentare un ottimo ingrediente da tenere in considerazione per la formulazione di mangimi innovativi.

Diverse specie di insetti possono potenzialmente essere considerate per l'inclusione nella dieta dei pesci. Tuttavia, le larve di *Hermetia illucens* hanno dimostrato di essere tra gli insetti più promettenti.

Sebbene esistano diversi articoli scientifici riguardo l'impiego di farina di insetti in mangimi per pesci d'acqua dolce (Henry *et al.*, 2015), pochi studi si sono concentrati sugli effetti di questo ingrediente su salmonidi o specie marine.

I risultati degli attuali studi differiscono molto a seconda della specie ittica considerata, la percentuale di inclusione della farina di insetto e la formulazione del mangime. Includere un nuovo ingrediente significa l'esclusione di un altro dalla dieta. In molti studi, a essere sostituita è proprio la farina di pesce; tuttavia, altri studi hanno sostituito ingredienti di origine vegetale, dando così risultati tra loro non comparabili. Di seguito vengono riportati i risultati di alcuni studi:

- St-Hilaire *et al.* (2007) hanno testato l'utilizzo di una farina non sgrassata di larve di mosca soldato come sostituyente di farina e olio di pesce nella dieta di trote iridee. La farina di insetto è stata inclusa a due livelli (15% e 30%) portando a una sostituzione rispettivamente del 25% e del 50% della farina di pesce e del 36% e del 72% dell'olio di pesce. Nessuna differenza significativa della capacità di sviluppo è stata riscontrata per il livello inferiore, mentre al di sopra di questo livello gli autori hanno ipotizzato che la chitina presente nelle larve possa aver diminuito la digeribilità e quindi la disponibilità di nutrienti, risultando in una crescita ridotta. Un altro aspetto evidenziato è stato che l'inclusione di farina di insetto a qualsiasi livello ha portato a una modificazione del profilo lipidico della dieta, aumentando gli acidi grassi saturi e riducendo quelli polinsaturi, e questo può aver compromesso la digeribilità dei lipidi stessi. Nello stesso studio, gli autori hanno anche testato l'inclusione di farina di mosca domestica (*Musca domestica*), con risultati molto più

deludenti per quanto riguarda lo sviluppo del pesce (St-Hilaire *et al.*, 2007).

- Nel 2017 Renna *et al.* hanno dimostrato come la farina di larve di mosca soldato, una volta sgrassata, può essere inclusa nella dieta delle trote iridee fino a un livello del 40% (ovvero 50% di sostituzione della farina di pesce), senza impattare negativamente la capacità di crescita del pesce (Renna *et al.*, 2017).
- Sealey *et al.* nel 2011 in un altro test su trote iridee, hanno evidenziato come il substrato di crescita delle larve possa influenzare molto la qualità della farina. La farina prodotta da larve nutrite con una dieta arricchita di frattaglie di pesce risultava migliore rispetto a quella prodotta a partire da larve nutrite senza questo arricchimento (Sealey *et al.*, 2011).
- Per quanto riguarda le specie marine, Kroeckel *et al.*, nel 2012 hanno testato la farina di mosca soldato parzialmente sgrassata nella dieta di avannotti di rombo (*Psetta maxima*) e hanno riscontrato un generale peggioramento delle performance a livelli di inclusione superiori al 33%. Inoltre, anche in questo caso gli autori hanno notato una diminuzione del mangime consumato all'aumentare della percentuale di farina di insetto a causa della diminuzione del gradimento verso il mangime. Gli autori hanno concluso che la chitina può essere l'elemento responsabile della diminuzione di ingestione di mangime e anche della digeribilità e quindi della biodisponibilità dei nutrienti. Nonostante ciò, le larve, essendo state prodotte con rifiuti agricoli, sono state considerate una buona fonte proteica in sostituzione alla farina di pesce (Kroeckel *et al.* 2012).
- In uno studio del 2016 condotto da Lock *et al.* si è evidenziata l'importanza del processo di trasformazione degli insetti. In questa prova sono state preparate due farine di mosca soldato con differenti tecniche di isolamento dei nutrienti e sono state somministrate a esemplari di salmone atlantico. Si è così notato che le due formulazioni differivano molto per quanto riguarda le performance di crescita del pesce.

Gli studi riguardanti l'impiego di farine di insetto per la produzione di mangimi per pesci si sono finora concentrati soprattutto sulla sostituzione della farina di pesce e sul comprendere le differenze di performance di crescita, che rappresentano i primi passi obbligatori per lo sviluppo di un nuovo ingrediente mangimistico. Altri aspetti, sia positivi che negativi, della farina di insetto sul benessere dei pesci devono ancora essere valutati nel tempo, come la salute intestinale, cambiamenti nel microbiota e problemi immunologici. Si deve anche prestare attenzione all'importanza del processo di trasformazione (rimozione del grasso, isolamento proteico, idrolizzazione), che può influenzare molto la qualità della farina di insetto. L'effetto della chitina è ancora studiato e non c'è ancora evidenza assoluta del suo ruolo sull'organismo. Inoltre, il ruolo del substrato di crescita delle larve sulla qualità finale della farina è di grande importanza, in quanto influisce in parte sulla composizione nutrizionale e sulla presenza di sostanze indesiderate.

La recente approvazione (13 dicembre 2016) di PAP di insetto in acquacoltura da parte della Commissione UE ha avuto effetti sia sulla domanda che sull'offerta di queste farine e ci si aspetta che nei prossimi anni molte ricerche si muoveranno in questa direzione. Alcuni segnali da parte dei produttori di mangimi indicano un crescente interesse verso questo ingrediente.

L'aumento di domanda porterà a una diminuzione del prezzo di vendita che al momento non è ancora competitivo con le altre fonti proteiche comunemente utilizzate per l'acquacoltura. Infine, sebbene alcuni studi preliminari sull'accettabilità da parte del consumatore abbiano mostrato un'attitudine positiva di questi ultimi verso pesci alimentati con insetti (Verbeke *et al.* 2015; Mancuso *et al.* 2016), occorreranno ulteriori studi quando questi prodotti verranno immessi sul mercato.

4.2 Avicoltura

L'industria del pollame si è molto espansa negli ultimi due decenni, soprattutto nei paesi in via di sviluppo. Molti insetti, tra cui grilli, mosche, scarafaggi, termiti e altri, sono stati proposti come fonte proteica complementare per il mangime degli avicoli (Ravindran & Blair, 1993). Proteine animali e vegetali forniscono gli amminoacidi necessari all'alimentazione dei polli (tra tutti lisina, metionina e cisteina). Gli ingredienti di origine animale utilizzati per la dieta degli avicoli sono molto ricchi di proteine e sono composti generalmente da estratti di carne o pesce o a volte da sottoprodotti come il sangue; invece, quelli di origine vegetale sono rappresentati da semi oleosi o piante leguminose.

La chitina contenuta negli insetti può avere un effetto benefico sul sistema immunitario degli avicoli, quindi, fornendo loro insetti nella dieta, si può ridurre l'utilizzo di antibiotici che possono portare a infezioni per l'uomo. Ravindran & Blair già nel 1993 citavano l'importanza della mosca soldato, allevata usando come substrato il letame, come sostituito della farina di soia nella dieta dei polli. Infatti, le larve di mosca soldato contengono tra il 35 e il 57% di proteine con una composizione amminoacidica simile a quella della soia (Veldkamp *et al.*, 2012), in particolare per quanto riguarda la lisina che rappresenta circa il 6/8% delle proteine (Makkar *et al.*, 2014). Sono inoltre ricche in calcio e fosforo.

Uno studio del 2017 condotto da Marono *et al.* ha cercato di capire gli effetti di una totale sostituzione della farina di soia con farina di larve di *Hermetia illucens* sulle capacità produttive e sulla composizione sanguigna di galline ovaiole tra le 24 e le 45 settimane di vita. Un totale di 108 galline ovaiole di 24 settimane di vita è stato diviso equamente in due gruppi (54 galline per gruppo, 9 repliche da 6 galline ognuna). Per 21 settimane sono state nutrite con due diverse diete isoproteiche e isoenergetiche: il gruppo di controllo è stato alimentato con una dieta a base di mais e soia, mentre per l'altro gruppo la soia è stata completamente sostituita con farina di larve di mosca soldato. La quantità di mangime consumata, il numero di uova prodotte e il peso delle uova sono

state registrate settimanalmente. Raggiunta la quarantacinquesima settimana di vita sono stati prelevati campioni di sangue da due galline per ogni replica. L'impiego di farina di insetto ha portato a una più alto rapporto di conversione, ma la percentuale di deposizione, il consumo di mangime (figura 4.2), il peso medio delle uova e la massa delle uova sono state più alte per le galline nutrite con la soia.

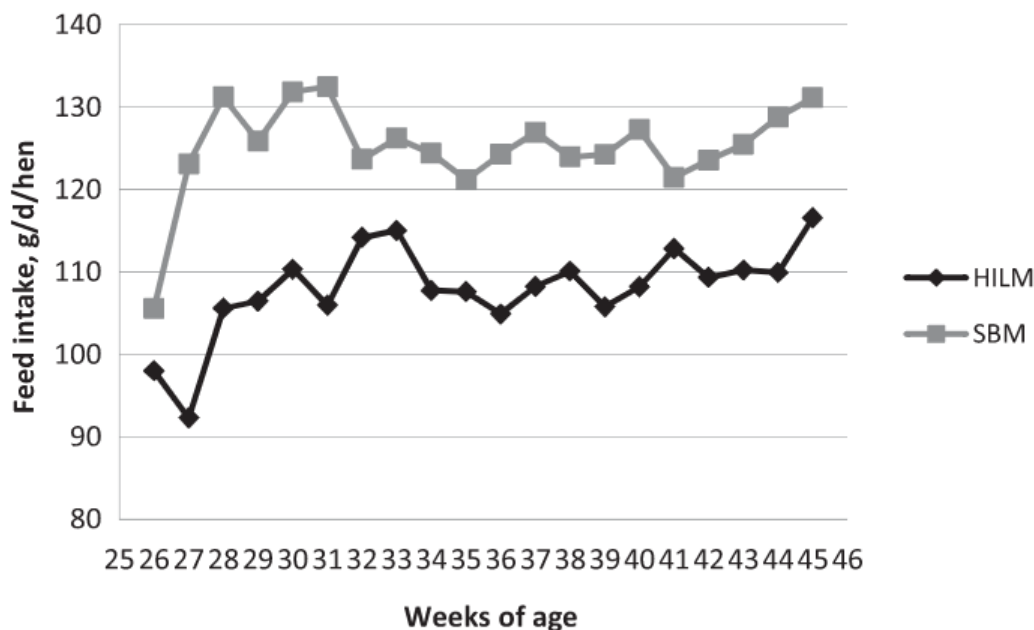


Figura 4.2: Consumo di mangime dei due gruppi di galline (HILM: *Hermetia illucens* larvae meal; SBM: soyabean meal) (Marono *et al.*, 2017)

Le galline nutrite con la farina di insetti hanno prodotto una percentuale più alta di uova di classe small (S), medium (M) e extra-large (XL), mentre quelle nutrite con la soia hanno prodotto soprattutto uova di classe large (L). Il livello di globulina e il rapporto albumina/globulina sono stati rispettivamente più alto e più basso in quelle nutrite con insetti rispetto a quelle nutrite con soia. Colesterolo e trigliceridi sono stati riscontrati essere maggiori in quelle alimentate a soia. Il livello di calcio nel sangue era più alto in quelle nutrite con insetti.

Questi risultati hanno quindi mostrato come le larve di *Hermetia illucens* possano rappresentare un'interessante fonte di proteine per le galline ovaiole, in grado di sostenere la produzione di uova senza avere effetti negativi sul benessere animale. Tuttavia, quando usate in totale sostituzione alla soia, hanno

un effetto negativo sul consumo di mangime e quindi sulle performance produttive, nonostante il rapporto di conversione risulti migliore. Questo forse può essere dovuto al colore più scuro delle larve rispetto alla soia. Una soluzione può essere quella di ridurre la percentuale di farina di insetto oppure di nutrire con insetti le galline già dal primo giorno di vita (Marono *et al.*, 2017).

Un recente studio dell'Università di Torino ha invece testato l'utilizzo non della frazione proteica, bensì dei lipidi estratti dalle larve di mosca soldato come sostituyente dell'olio di soia nella dieta di polli da carne. A termine dello studio hanno concluso che una sostituzione del 50% o del 100% dell'olio di soia con lipidi di mosca soldato garantiva performance produttive soddisfacenti, sia in termini di crescita dell'animale sia per quanto riguarda la qualità della carne. Questo ha portato a pensare che le larve di mosca soldato possano rappresentare un promettente nuovo ingrediente per la dieta dei polli da carne, anche in relazione al fatto che per i polli il gradimento verso la nuova dieta è risultato pari alla normale dieta. Tuttavia, hanno anche sottolineato come ulteriori ricerche siano necessarie per migliorare il profilo lipidico attraverso la formulazione ideale del substrato di crescita, così da produrre carne con ottimi livelli di acidi grassi, fattore essenziale per i consumatori moderni (Schiavone *et al.*, 2017).

Capitolo 5

Applicazione dei prodotti delle larve di mosca soldato per la produzione di alimenti

Diverse indagini riguardo la barriera dell'avversione verso il consumo di insetti hanno dimostrato che l'esposizione culturale svolge un ruolo importante nell'accettazione degli insetti come nuova fonte di cibo.

L'accettazione dei consumatori verso il consumo di insetti è influenzata soprattutto dalla specie di insetto, la forma sotto la quale viene consumato e la ragione per cui mangiarli (Hartmann *et al.*, 2015). Per esempio, secondo uno studio, i consumatori thailandesi sono contrari al consumo di vermi della farina perché non è a loro familiare, ma consumano altre specie di insetti; tuttavia, questa specie è diventata popolare nei paesi occidentali e infatti consumatori olandesi consumano già prodotti che la contengono (Tan *et al.*, 2015). I consumatori thailandesi sono motivati nel mangiare insetti da fattori come familiarità e gusto, mentre consumatori olandesi sono motivati dalla sostenibilità di questo alimento, ma anche da fattori quali il benessere animale e la curiosità verso nuovi alimenti (Tan *et al.*, 2015). Inoltre, i consumatori thailandesi preferiscono vedere gli insetti cucinati nella loro forma intera, mentre i consumatori olandesi li preferiscono trasformati e del tutto non visibili all'interno dell'alimento.

Così come per i consumatori thailandesi, uno studio sui consumatori in Kenya ha mostrato come essi preferiscano mangiare insetti a loro familiari, come le termiti (Alemu & Olsen, 2018). Risultati simili sono stati ricavati da uno studio multiculturale tra consumatori cinesi e tedeschi e si è constatato che la familiarità gioca un ruolo importante per la maggior accettazione da parte dei consumatori cinesi verso il consumo di insetti (Hartmann *et al.*, 2015).

Diversi studi hanno dimostrato come i consumatori di paesi occidentali siano più propensi a consumare gli insetti una volta processati e trasformati in alimenti a loro familiari (Gmuer *et al.*, 2016).

Grazie alla spinta globale verso alimenti più sani e sostenibili, i consumatori occidentali stanno lentamente iniziando ad accettare gli insetti come risorsa di cibo. Studi riguardo le ragioni e la psicologia che stanno alla base dell'avversione del consumatore occidentale verso il consumo di insetti hanno cercato di trovare il modo per cambiare questa mentalità (Gmuer *et al.*, 2016). Queste informazioni possono essere utilizzate anche per sviluppare strategie per l'inserimento nel mercato delle larve di *Hermetia illucens*, come ad esempio utilizzarli come ingrediente di prodotti familiari per il consumatore rendendoli così più appetibili (Hartmann *et al.*, 2015). Una delle strategie per fare ciò è il frazionamento dei vari componenti così da creare ingredienti ad alto valore nutrizionale (Caligiani *et al.*, 2018).

Grazie alla versatilità delle larve di mosca soldato, si possono creare diversi prodotti, come ad esempio una farina proteica per produrre prodotti da forno (González *et al.*, 2019), creare un burro o una margarina partendo dal grasso delle larve (Delicato *et al.*, 2020) o utilizzare la larva intera come alternativa alla carne all'interno di salsicce (Bessa *et al.*, 2019).

Il valore nutrizionale e il ridotto impatto ambientale delle larve di mosca soldato le porta ad essere una valida alternativa alla carne (Leni *et al.*, 2020).

Assaggi alla cieca hanno mostrato come i consumatori reagissero favorevolmente verso polpette di insetti, con punteggi simili a quelle create con ingredienti vegetali; tuttavia, i punteggi sono risultati inferiori a quelli assegnati a polpette di carne, soprattutto in termini di succosità e texture (Schouteten *et al.*, 2016). Comprendere a pieno e manipolare il sapore e la texture è un importante passo per incorporare le larve di mosca soldato all'interno dell'attuale sistema alimentare. In uno studio, l'aroma dei lipidi di mosca soldato è stato descritto come "forte e caratteristico" (Delicato *et al.*, 2020), ma anche come "simile al pesce"; tuttavia, molti lo descrivono più come odore di terra (Wang & Shelomi, 2017). Questa variabilità dell'aroma è influenzata soprattutto dalla diversa composizione dei lipidi delle larve, che può essere modulata tramite la raccolta delle larve a diversi stadi di crescita, selezionando diversi substrati di crescita e cambiando i parametri di processo (Caligiani *et al.*, 2018).

Per quanto riguarda la texture, la margarina ricavata dalle larve di mosca soldato ha un punto di fusione e una spalmabilità simili alle convenzionali margarine, fattori che la rendono un interessante prodotto capace di entrare nel mercato (Smetana *et al.*, 2020). Sebbene il sapore e l'aroma di questa margarina non sia comparabile a quelli dei prodotti tradizionali, si potrebbero adottare come soluzione alcuni processi già adottati dall'industria olearia, come la deodorazione, così da migliorarne le proprietà organolettiche (Delicato *et al.*, 2020). La tecnica della bollitura o del *blanching* per uccidere le larve permette di inattivare le lipasi, ottenendo così una frazione lipidica meno alterata e più stabile all'irrancidimento. Al contrario, il metodo per congelamento sembra stimolare l'azione delle lipasi, con un conseguente rilascio di acidi grassi liberi, una minore stabilità nel tempo e una minore possibilità di applicazione (Caligiani *et al.*, 2018).

Altri parametri di processo possono influenzare la qualità visiva delle larve: la fase di rimozione della frazione lipidica porta ad avere un colore più acceso e un indice di imbrunimento più basso, che può essere più desiderabile rispetto a una polvere molto scura (Bußler *et al.*, 2016).

Tutti questi aspetti hanno un effetto sulle qualità sensoriali percepite e quindi sull'accettazione da parte del consumatore. Essendo il gusto il principale indice predittivo dell'accettazione del consumatore, definire e comprendere a pieno le caratteristiche di sapore delle larve richiede uno studio complesso e questo determinerà se le larve verranno accettate come ingrediente alimentare. Questo studio deve comprendere tra gli elementi chiave come il substrato di crescita e l'età larvale influenzino i parametri sensoriali, specialmente considerando che il mangime consumato dalle larve influenza molto il loro profilo lipidico (Barroso *et al.*, 2017).

Al momento sul mercato europeo e americano mancano ancora prodotti per consumo umano contenenti larve di mosca soldato, mentre sono già pretesi prodotti per il settore mangimistico, e questo è dovuto soprattutto a due principali barriere che questi prodotti incontrano: il fattore del disgusto da parte del consumatore e le problematiche legislative.

5.1 Il fattore repulsione

Le differenze molto marcate di accettazione del consumo di insetti richiedono degli approcci comunicativi su misura a seconda del contesto. Nelle parti del mondo in cui l'entomofagia è già ben instaurata, come ai tropici, le strategie di comunicazione devono promuovere e preservare questa pratica poiché gli insetti edibili sono una valida risorsa nutrizionale che non deve essere intaccata dalla globalizzazione.

Nei paesi occidentali invece, che conservano ancora una forte avversione a questa pratica sono richieste strategie per risolvere questo problema e superare la barriera psicologica che frena i consumatori anche solo dall'assaggiare gli insetti. I governi, in particolare i ministeri dell'agricoltura e le istituzioni culturali devono prendersi carico di questo problema, visto che gli insetti come alimento e come mangime sono ancora per lo più assenti nelle manovre governative. Gli insetti sono ancora visti come un animale infestante dalla maggioranza delle persone, nonostante l'aumento della letteratura a favore del loro possibile ruolo positivo nella dieta umana e animale.

I pregiudizi comuni contro il consumo di insetti non sono giustificati da un punto di vista nutrizionale. Gli insetti non sono inferiori ad altre fonti proteiche come pesce, pollo o manzo. Il sentimento di disgusto nei paesi occidentali verso l'entomofagia contribuisce al concetto sbagliato che nei paesi in via di sviluppo questa pratica sia messa in atto solo per sopravvivere alla fame. Questo non è per niente vero. Superare questa credenza, sebbene richiederà sforzi notevoli, non è impossibile (Pliner & Salvy, 2006). Artropodi come gamberi e aragoste, una volta venivano visti come alimento povero dai paesi occidentali e ora sono diventati una prelibatezza culinaria. Si spera che motivazioni come l'alto valore nutrizionale e il basso impatto ambientale, valori molto di moda in quest'epoca storica, contribuiscano a cambiare questa percezione negativa degli insetti.

Imparare ad accettare gli insetti come cibo richiede abbattere la percezione negativa degli insetti in generale. Una migliore comprensione di cos'è un insetto e cosa un insetto è in grado di fare, soprattutto attraverso

l'esperienza diretta, può portare a una visione di essi più positiva (Vernon & Berenbaum, 2004).

L'esposizione diretta e introduzione all'entomofagia può aiutare a ridurre la sorpresa di vedere un insetto nel piatto. Zoo, musei e università possono giocare un ruolo importante. Tuttavia, l'emozione del disgusto può essere molto difficile da cambiare. Se gli insetti potranno entrare a far parte della dieta dei paesi occidentali dipenderà soprattutto da due fattori: propensione alla novità e capacità di apprendimento da parte dei consumatori.

I cosiddetti “*Bug banquets*” (Wood & Looy, 2000) sono degli incontri educativi che danno la possibilità di provare in maniera diretta la pratica dell'entomofagia. Gli insetti sono presentati come cibo che può essere assaggiato e quindi conosciuto. Anni di esperimenti in Olanda e negli Stati Uniti d'America hanno confermato come queste attività siano efficaci nell'abbattere la barriera del disgusto. In generale, l'educazione è lo strumento principale per creare attenzione pubblica verso il potenziale ruolo degli insetti e per influenzare le scelte del consumatore verso una visione più bilanciata degli insetti come cibo: libri di cucina innovati possono aiutare in questo.

Nei paesi occidentali, l'attenzione verso gli insetti come alimento deve passare dal considerarli come una novità a una concezione di cibo normale e di tutti i giorni (Shelomi, 2015). Il disgusto può non essere basato sul gusto degli insetti, ma piuttosto sulla percezione e sulla storia del consumo di alcune specie di insetti (Ruby *et al.*, 2015).

Sondaggi su consumatori occidentali hanno indicato che informazioni riguardanti il valore nutrizionale e ambientale degli insetti possono accrescere la volontà dei consumatori di provare prodotti contenenti insetti (Pambo *et al.*, 2018); tuttavia, questo non può essere assunto per vero per tutti i consumatori. Uno studio in Germania ha indicato tre fattori principali come *drivers* di scelta del consumatore: fattori organolettici, sostenibilità e disgusto. Tuttavia, la sostenibilità al momento influenza ancora troppo poco l'accettabilità verso gli insetti (Lammers *et al.*, 2019).

Allo stesso modo, uno studio in Australia ha dimostrato come l'informazione positiva non è abbastanza per convincere i consumatori a considerare gli insetti un'alternativa alla carne (Sogari *et al.*, 2019).

Al fine di rendere apprezzabili le larve di mosca soldato come cibo, i produttori devono impegnarsi per diffondere sul mercato prodotti che le contengano così che sempre più persone le provino (Shelomi, 2015).

Prove d'assaggio e lo sviluppo di nuovi prodotti possono aiutare a cambiare la percezione che i consumatori hanno verso l'appropriatezza e le qualità sensoriali delle larve di mosca soldato (Tan *et al.*, 2016).

È importante includere le larve in prodotti alimentari appropriati per incoraggiare un consumo regolare e questi prodotti dovranno essere ben studiati per rispondere alle richieste sensoriali dei consumatori (Tan *et al.*, 2016).

5.2 Barriera legislativa

Il processo legislativo per rendere gli insetti considerabili degli alimenti è solo all'inizio dell'iter necessario e al momento nessun regolamento specifico considera le larve di mosca soldato adatte al consumo umano (Wang & Shelomi, 2017). L'Unione Europea ha di recente chiarito la posizione degli insetti edibili nel nuovo regolamento (UE) 2015/2283 come *novel food*. Questo regolamento stabilisce che gli insetti o parti di essi che si intende includere negli alimenti debbano essere sottoposti ad un processo di approvazione da parte dell'EFSA (European Food Safety Authority). Ogni specie di insetto e l'utilizzo che si intende farne deve seguire una procedura che prevede diversi stadi per l'ottenimento dell'autorizzazione all'immissione sul mercato come alimento.

Al momento, le larve di mosca soldato non sono incluse nella lista degli insetti autorizzati come *novel food* e dovrà quindi essere sottoposta la richiesta a EFSA.

Gli Stati Uniti d'America hanno finora attuato un approccio meno proattivo, non specificando linee guida per regolare il mercato degli insetti (Boyd, 2017) La FDA (Food and Drug Administration), che è l'organo di controllo e regolazione della sicurezza alimentare americano, non ha accettato

esplicitamente gli insetti come risorsa alimentare; tuttavia, la posizione reale è quella di considerare gli insetti un alimento nel caso in cui vengano prodotti specificamente come cibo (Marone, 2016). I regolamenti da rispettare sono quindi gli stessi di qualunque genere alimentare e la produzione degli insetti deve avvenire seguendo le attuali norme di manipolazione degli alimenti.

L'unico controllo aggiuntivo viene fatto per i prodotti a base di insetti per evidenziare il rischio di allergie, simili a quelle dei frutti di mare, causabili dagli insetti edibili. Il fallimento dell'FDA nel definire la regolamentazione riguardante gli insetti come alimento li pone in un'area "grigia" (Boyd,2017), che non chiarisce a pieno la posizione americana a riguardo.

Quindi, per garantire una produzione e un commercio mondiale sicuri, è necessario un chiarimento di tutti i paesi e le parti interessate. In questo modo il settore innovativo degli insetti edibili potrà finalmente affermarsi e portare benefici all'attuale sistema alimentare.

Capitolo 6

Conclusioni

La larva di mosca soldato come alimento ha il potenziale di fornire un'alternativa innovativa, sostenibile e ricca di nutrienti alle tradizionali fonti alimentari.

Il consumo di insetti rappresenta ancora una novità per le società occidentali e solo poche specie di insetti edibili rientrano tra quelle autorizzate per essere commercializzate.

Nonostante tutte le informazioni reperibili circa le qualità nutritive offerte dalla mosca soldato, finora questo insetto è stato utilizzato principalmente per ruoli come la riduzione e lo smaltimento di biomasse generate dalle produzioni agricole ed alimentari e solo in maniera minore per la produzione di mangimi animali. Riguardo il suo impiego come ingrediente alimentare rimane ancora molto da studiare e non essendo ancora stata rilasciata l'autorizzazione per il consumo umano, non ha ancora attirato molta attenzione da parte degli enti istituzionali e di ricerca.

Il principale vantaggio della mosca soldato, cioè quello di riuscire a convertire rifiuti e scarti organici in nuova biomassa ricca di proteine, rappresenta anche uno dei suoi principali limiti. Infatti, i consumatori sono meno propensi a consumare un alimento che è stato prodotto a partire da rifiuti e inoltre rimangono ancora da approfondire alcuni aspetti legati alla sua sicurezza igienica che quindi hanno finora bloccato l'EFSA dal rilasciare l'autorizzazione. Ricerche riguardanti il tipo di substrato di crescita e sui parametri del processo di trasformazione saranno necessari in futuro per far sì che i prodotti della mosca soldato possano rispettare le norme sulla sicurezza alimentare mondiali.

Le informazioni ricavate dai lavori di ricerca pubblici e privati contribuiranno ad accelerare il processo legislativo per portare la mosca soldato finalmente sul mercato come prodotto alimentare e questo andrà a riflettersi positivamente sulla visione che i consumatori hanno di questo insetto.

Capendo a fondo le proprietà funzionali delle proteine di larva di mosca soldato si potranno ottimizzare i parametri di processo ed ottenere prodotti di ottima qualità e buone proprietà sensoriali, che sono gli aspetti più determinanti per il successo di un nuovo prodotto alimentare.

Al momento l'allevamento della mosca soldato risulta ancora una pratica di nicchia, ma col tempo si potranno ottimizzare i macchinari e le tecnologie necessarie, così da poter fornire un'offerta standardizzata, sicura e a basso prezzo che sia competitiva nell'attuale sistema alimentare.

Bibliografia e sitografia

- 1) Adebowale, Y., Adeyemi, I., & Oshodi, A. (2005). Functional and physicochemical properties of flours of six *Mucuna* species. *African Journal of Biotechnology*, 4(12), 1461–1468.
- 2) Adli, D. N. (2021). Uses insects in poultry feed as replacement soya bean meal and fish meal in development countries: a systematic review. *LRRD.*, 33(128).
- 3) Alemu, M. H., & Olsen, S. B. (2018). Kenyan consumers' experience of using edible insects as food and their preferences for selected insect-based food products. In A. Halloran, R. Flore, P. Vantomme, & N. Roos (Eds.), *Edible insects in sustainable food systems*(pp. 363– 374). Cham, Switzerland: Springer.
- 4) Arnold van Huis, Joost Van Itterbeeck, Harmke Klunder, Esther Mertens, Afton Halloran, Giulia Muir and Paul Vantomme. *Edible insects: future prospects for food and feed security*. food and agriculture organization of the united nations. Rome, 2013
- 5) 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.
- 6) Barroso FG, de Haro C, Sanchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C (2014) The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422-423:193–201
- 7) Barroso, F. G., Sánchez-Muros, M. J., Segura, M., Morote, E., Torres, A., Ramos, R., & Guil, J. L. (2017). Insects as food: Enrichment of larvae of *Hermetia illucens* with omega 3 fatty acids by means of dietary modifications. *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 8–13. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.04.008>

- 8) Bessa, L. W., Pieterse, E., Marais, J., & Hoffman, L. C. (2020). Why for feed and not for human consumption? The black soldier fly larvae. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(5), 2747-2763.
- 9) Bessa, L. W., Pieterse, E., Sigge, G., & Hoffman, L. C. (2019). An exploratory study into the use of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae in the production of a Vienna-style sausage. *Meat and Muscle Biology*, 3(1), 289. <https://doi.org/10.22175/mmb2018.11.0038>
- 10) Boyd, M. C. (2017). Cricket soup: A critical examination of the regulation of insects as food. Yale La
- 11) Bukkens, S. G. F., & Paoletti, M. G. (2005). Insects in the human diet: Nutritional aspects. In M. G. Paoletti (Ed.), *Ecological implications of mini-livestock: Potential of insects, rodents, frogs, and snails* (pp. 545—577). Enfield, NH: Science Publishers.
- 12) Bußler, S., Rumpold, B. A., Jander, E., Rawel, H. M., & Schlüter, O. K. (2016). Recovery and techno-functionality of flours and proteins from two edible insect species: Meal worm (*Tenebrio molitor*) and black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Heliyon*, 2(12), 218. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00218>
- 13) Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dossena, A., & Sforza, S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food research international*, 105, 812-820.
- 14) Caligiani, A., Marseglia, A., Sorci, A., Bonzanini, F., Lolli, V., Maistrello, L., & Sforza, S. (2019). Influence of the killing method of the black soldier fly on its lipid composition. *Food Research International*, 116, 276-282.
- 15) Chia S Y, Tanga C M, Khamis F M, Mohamed S A, Salifu D, Sevgan S, Fiaboe K K, Niassy S, van Loon J J, Dicke M, Ekesi S 2018 Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PLoS one*, Volume 13, Article #11. Retrieved July 14, 2021,

from <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0206097>

- 16) Consultation, U. E. (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation;[Geneva, 9-16 April 2002].
- 17) Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Acuti, G., Marangon, A., & Dalle Zotte, A. (2018). Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. *Animal*, 12(3), 640-647.
- 18) de Souza-Vilela, J., Andrew, N. R., & Ruhnke, I. (2019). Insect protein in animal nutrition. *Animal Production Science*, 59(11), 2029–2036. <https://doi.org/10.1071/AN19255>
- 19) Delicato, C., Schouteten, J. J., Dewettinck, K., Gellynck, X., & Tzompa-Sosa, D. A. (2020). Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Quality and Preference*, 79(2019), 103755. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755>
- 20) Dicke, M. (2018). Insects as feed and the Sustainable Development Goals. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(3), 147-156.
- 21) Diener, S., Zurbrügg, C. and Tockner, K., 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research* 27: 603-610.
- 22) EFSA Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA journal*, 13(10), 4257.
- 23) EFSA Scientific Committee. (2015). Scientific opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*, 13(10), 4257. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>
- 24) FAO. 2012. State of the world fisheries. Rome.
- 25) FAOSTAT. "Statistical Pocketbook, World food and agriculture". 2015: 236. <http://www.fao.org/3/a-i4691e.pdf>
- 26) Fernanda Oliveira, Klaus Doelle, Richard List, Joseph R O'Reilly. Assessment of Diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (L.,

- 1758) using electron microscopy. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 2015; 3(5): 147-152.
- 27) Gmuer, A., Nuessli Guth, J., Hartmann, C., & Siegrist, M. (2016). Effects of the degree of processing of insect ingredients in snacks on expected emotional experiences and willingness to eat. *Food Quality and Preference*, 54, 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.07.003>
- 28) González, C. M., Garzón, R., & Rosell, C. M. (2019). Insects as ingredients for bakery goods. A comparison study of *H. illucens*, *A. domstica* and *T. molitor* flours. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 51, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.02>
- 29) Hahn, T., Roth, A., Ji, R., Schmitt, E., & Zibek, S. (2020). Chitosan production with larval exoskeletons derived from the insect protein production. *Journal of Biotechnology*, 310, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.12.015>
- 30) Hall, G. M. (1996). *Methods of testing protein functionality*. London, UK: Blackie Academic & Professional
- 31) Hartmann, C., Shi, J., Giusto, A., & Siegrist, M. (2015). The psychology of eating insects: A cross-cultural comparison between Germany and China. *Food Quality and Preference*, 44, 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.04.013>
- 32) Henry M, Gasco L, Piccolo G, Fountoulaki E (2015) Review on the use of insects in the diet of farmed fish: past and future. *Anim Feed Sci Technol* 203:1–22
- 33) High Level Panel of Experts (HPLE), 2016. Sustainable agricultural development for food security and nutrition: what roles for livestock? A report by the high level panel of experts on food security and nutrition of the committee on world food security. FAO, Rome, Italy.
- 34) Hirsch, A., Cho, Y. H., Kim, Y. H. B., & Jones, O. G. (2019). Contributions of protein and milled chitin extracted from domestic cricket powder to emulsion stabilization. *Current Research in Food Science*, 1, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.09.002>

- 35) Hogsette, J. A. (1992). New diets for production of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae) in the laboratory. *Journal of economic entomology*, 85(6), 2291-2294.
- 36) Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2012). Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental entomology*, 41(4), 971-978.
- 37) Huang, C., Feng, W., Xiong, J., Wang, T., Wang, W., Wang, C., & Yang, F. (2019). Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: Amino acid composition, nutritional value evaluation, in vitro digestibility, and thermal properties. *European Food Research and Technology*, 245(1), 11-21.
- 38) IFIF. 2012. International Feed Industry Federation. (available at www.ifif.org). Accessed May 2012.
- 39) J.A. Cortes, A.T. Ruiz, J.A. Morales-Ramos, M. Thomas, M.G. Rojas, J.K. Tomberlin, L. Yi, R. Han, L. Giroud, R.L. Jullien 2016. Insect Mass Production Technologies. Capitulo 6, pp 153-196. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients*. Cambridge, MA: Academic Press.
- 40) Jongema, Y. (2015). List of edible insects of the world. Retrieved from <http://www.wageningenur.nl/en/Expertise-Services/Chairgroups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edibleinsects/Worldwide-species-list.htm>
- 41) Kroeckel S, Harjes AGE, Roth I, Katz H, Wuertz S, Susenbeth A, Schulz C (2012) When a turbot catches a fly: evaluation of a pre-pupae meal of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as fishmeal substitute-growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 364-365:345–352
- 42) Kumar, M. N. R. (2000). A review of chitin and chitosan applications. *Reactive and Functional Polymers*, 46(1), 1–27. [https://doi.org/10.1016/S1381-5148\(00\)00038-9](https://doi.org/10.1016/S1381-5148(00)00038-9)

- 43) Lammers, P., Ullmann, L. M., & Fiebelkorn, F. (2019). Acceptance of insects as food in Germany: Is it about sensation seeking, sustainability consciousness, or food disgust? *Food Quality and Preference*, 77, 78–88. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.05.010>
- 44) Latunde-Dada, G.O., Yang, W.G. and Aviles, M.V., 2016. In vitro iron availability from insects and sirloin beef. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64: 8420-8424.
- 45) Leni, G., Caligiani, A., & Sforza, S. (2019). Killing method affects the browning and the quality of the protein fraction of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) prepupae: A metabolomics and proteomic insight. *Food Research International*, 115, 116-125.
- 46) Leni, G., Tedeschi, T., Faccini, A., Pratesi, F., Folli, C., Puxeddu, I., ... Sforza, S. (2020). Shotgun proteomics, in-silico evaluation and immunoblotting assays for allergenicity assessment of lesser mealworm, black soldier fly and their protein hydrolysates. *Scientific Reports*, 10(1), 1228. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57863-5>
- 47) Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Ur Rehman, K., Li, W., ... Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, 12(8), e0182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
- 48) Lock EJ, Arsiwalla T, Waagbo R (2016) Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt. *Aquac Nutr* 22:1202–1213
- 49) Lock, E. J., Biancarosa, I., & Gasco, L. (2018). Insects as raw materials in compound feed for aquaculture. In *Edible insects in sustainable food systems* (pp. 263-276). Springer, Cham.
- 50) Makkar HPS, Tran G, Heuze V, Ankers P (2014) State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol* 197:1–33
- 51) Mancuso T, Baldi L, Gasco L (2016) An empirical study on consumer acceptance of farmed fish fed on insect meals: the Italian case. *Aquacult Int* 24:1489–1507. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0007-z>

- 52) Marone, P. A. (2016). Food safety and regulatory concerns. In A. T. Dossey, J. A. Morales-Ramos, & M. G. Rojas (Eds.), *Insects as sustainable food ingredients*(pp. 203–221). Cambridge, MA: Academic Press.
- 53) 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.
- 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) Oliveira, F., Doelle, K., List, R., & O'Reilly, J. R. (2015). Assessment of Diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (L., 1758) using electron microscopy. *J. Entomol. Zool. Stud*, *3*(5), 147-152.
- 56) Oonincx, D.G.A.B. & de Boer, I.J.M. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans: a life cycle assessment. *PLoS ONE*, *7*(12): e51145.
- 57) Organisation for Economic Co-operation and Development / Food and Agriculture Organisation (OECD/FAO), 2015. *OECD-FAO agricultural outlook 2015-2024*. OECD Publishing, Paris, France.
- 58) Osasona, A., & Olaofe, O. (2010). Nutritional and functional properties of *Cirina forda* larva from Ado-Ekiti, Nigeria. *African Journal of Food Science*, *4*(12), 775–777.
- 59) Pambo, K. O., Okello, J. J., Mbeche, R. M., Kinyuru, J. N., & Alemu, M. H. (2018). The role of product information on consumer sensory evaluation, expectations, experiences and emotions of cricket-flour-containing buns. *Food Research International*, *106*, 532-541.

- 60) Pliner, P. & Salvy, S.J. 2006. Food neophobia in humans. In R. Shepherd & M. Raats, eds. *The psychology of food choice*, pp. 75–92. Oxfordshire, CABI Publishing.
- 61) Rachmawati, R., Buchori, D., Hidayat, P., Hem, S. and Fahmi, M.R., 2010. Perkembangan dan kandungan nutrisi larva *Hermetia illucens* (linnaeus)(Diptera: Stratiomyidae) pada bungkil kelapa sawit. *Jurnal Entomologi Indonesia* 7: 28-41.
- 62) Ravi, H. K., Vian, M. A., Tao, Y., Degrou, A., Costil, J., Trespeuch, C., & Chemat, F. (2019). Alternative solvents for lipid extraction and their effect on protein quality in black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117861. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117861>
- 63) Ravindran, V. & Blair, R. 1993. Feed resources for poultry production in Asia and the Pacific. *World's Poult Science Journal*, 49: 219–235.
- 64) Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, Prearo M, Capucchio MT, Biasato I, Biasibetti E, De Marco M, Zoccarato I, Gasco L (2017) Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *J Anim Sci Biotechnol.* 8:57 DOI: 10.1186/s40104-017-0191-3
- 65) Ruby, M. B., Rozin, P., & Chan, C. (2015). Determinants of willingness to eat insects in the USA and India. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(3), 215–225. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0029>
- 66) Rumpold, B.A. and Schluter, O.K., 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 17: 1-11.
- 67) Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F (2014) Insect meal as renewable source of food for animal feeding: a review. *J Clean Prod* 65:16–27
- 68) Schiavone A, Cullere M, De Marco M, Meneguz M, Biasato I, Bergagna S, et al. Partial or total replacement of soybean oil by black

- soldier larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Ital J Anim Sci.* 2017;16:93–100.doi:10.1080/1828051X.2016.1249968.
- 69) Schiavone, A., Dabbou, S., Petracci, M., Zampiga, M., Sirri, F., Biasato, I., ... & Gasco, L. (2019). Black soldier fly defatted meal as a dietary protein source for broiler chickens: Effects on carcass traits, breast meat quality and safety. *Animal*, 13(10), 2397-2405.
- 70) Schiavone, A., De Marco, M., Martínez, S., Dabbou, S., Renna, M., Madrid, J., ... & Gasco, L. (2017). Nutritional value of a partially defatted and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(1), 1-9.
- 71) Schouteten, J. J., De Steur, H., De Pelsmaeker, S., Lagast, S., Juvinal, J. G., De Bourdeaudhuij, I., ... Gellynck, X. (2016). Emotional and sensory profiling of insect-, plant- and meat-based burgers under blind, expected and informed conditions. *Food Quality and Preference*, 52, 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.011>
- 72) Sealey WM, Gaylord TG, Barrows FT, Tomberlin JK, McGuire MA, Ross C, St-Hilaire S (2011) Sensory analysis of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, fed enriched black soldier fly prepupae, *Hermetia illucens*. *J World Aquacult Soc* 42:34–45
- 73) Shelomi, M. (2015). Why we still don't eat insects: Assessing entomophagy promotion through a diffusion of innovations framework. *Trends in Food Science and Technology*, 45(2), 311–318. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.06.008>
- 74) Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology*, 39(4), 695–698. Retrieved from <https://academic.oup.com/jme/articleabstract/39/4/695/904029>

- 75) Sheppard, D.C.; Newton, G.L.; Thompson, S.A.; Savage, S. A value-added manure management-system using the black soldier fly. *Bioresour. Technol.* 1994, 50, 275–279.
- 76) Shin, C. S., Kim, D. Y., & Shin, W. S. (2019). Characterization of chitosan extracted from Mealworm Beetle (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*) and Rhinoceros Beetle (*Allomyrina dichotoma*) and their antibacterial activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.242>
- 77) Smetana, S., Leonhardt, L., Kauppi, S. M., Pajic, A., & Heinz, V. (2020). Insect margarine: Processing, sustainability and design. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121670>
- 78) Sogari, G., Menozzi, D., & Mora, C. (2019). The food neophobia scale and young adults' intention to eat insect products. *International Journal of Consumer Studies*, 43(1), 68–76. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12485>
- 79) St-Hilaire S, Sheppard C, Tomberlin JK, Irving S, Newton L, McGuire MA, Mosley EE, Hardy RW, Sealey W (2007) Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J World Aquacult Soc* 38:59–67
- 80) Tacon, A.G.J. & Metian, M. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, 285: 146–158.
- 81) Tan, H. S. G., Fischer, A. R. H., Tinchán, P., Stieger, M., Steenbekkers, L. P. A., & van Trijp, H. C. M. (2015). Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of acceptance. *Food Quality and Preference*, 42, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.01.013>
- 82) Tan, H. S. G., Fischer, A. R. H., Tinchán, P., Stieger, M., Steenbekkers, L. P. A., & van Trijp, H. C. M. (2015). Insects as food: Exploring cultural exposure and individual experience as determinants of

- acceptance. *Food Quality and Preference*, 42, 78–89.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.01.013>
- 83) Tan, H. S. G., van den Berg, E., & Stieger, M. (2016). The influence of product preparation, familiarity and individual traits on the consumer acceptance of insects as food. *Food Quality and Preference*, 52, 222–231.
- 84) Tomberlin, J. K., & Sheppard, D. C. (2001). Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomologist*, 729-729.
- 85) 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.
- 86) 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(3), 930-934.
- 87) 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.
- 88) van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583.
<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- 89) Van Huis, A. (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(1), 27-44.
- 90) Van Huis, A. and Tomberlin, J.K., 2017. Future prospects of insects as food and feed. In: Van Huis, A. and Tomberlin, J.K. (eds.) *Insects as food and feed: from production to consumption*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, pp. 431-445.
- 91) Van Huis, A., Dicke, M. and Van Gorp, H., 2014. *The insect cookbook – food for a sustainable planet*. Columbia University Press, New York, NY, USA.

- 92) Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible insects: future prospects for food and feed security* (No. 171). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- 93) Veldkamp, T., G. van Duinkerken, A. van Huis, C.M.M. Lakemond, E. and Ottevanger, E., and M.A.J.S van Boekel, 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets. A feasibility study. Wageningen UR Livestock Research, Report 638.
- 94) Verbeke W, Spranghers T, De Clercq P, De Smet S, Sas B, Eeckhour M (2015) Insects in animal feed: acceptance and its determinants among farmers, agriculture sector stakeholders and citizens. *Anim Feed Sci Technol* 204:72–87
- 95) Verbeke, W. (2015). Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society. *Food Quality and Preference*, 39, 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.008>
- 96) Vernon, L.L. & Berenbaum, H. 2004. A naturalistic examination of positive expectations, time course, and disgust in the origins and reduction of spider and insect distress. *Anxiety Disorders*, 18: 707–718.
- 97) Wang, S. Y., Wu, L., Li, B., & Zhang, D. (2020). Reproductive potential and nutritional composition of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) prepupae reared on different organic wastes. *Journal of economic entomology*, 113(1), 527-537.
- 98) Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91. <https://doi.org/10.3390/foods6100091>
- 99) Wood, J.R. & Looy, H. 2000. My ant is coming to dinner: culture, disgust, and dietary challenges. *Proteus*, 17(1): 52–56.
- 100) Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q. and Yu, Z., 2012. Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. *Energy* 47: 225-229.

- 101) <https://ipiff.org/>
- 102) <https://pamco.it/>
- 103) <https://protix.eu/protix-journey/#>
- 104) <https://www.agriprotein.com/>
- 105) <https://www.ecosolutions.com/>
- 106) <https://www.fao.org/home/en/>
- 107) <https://www.farfalledalmondo.it/>
- 108) <https://www.proteinsect.eu/index.php?id=31>