

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI AGRONOMIA ANIMALI
ALIMENTI RISORSE NATURALI E AMBIENTE

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE E TECNOLOGIE ALIMENTARI

SPERIMENTAZIONE DI
ECTOMYELOIS CERATONIAE IN COLTURA DI NOCI A
VARIE TEMPERATURE

Relatrice

Prof.ssa Isabel Martinez Sanudo

Correlatore

Prof. Davide Scaccini

Laureando

Jacopo Fontana

Matricola n.

1201697

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Indice

| | |
|---|----|
| Riassunto | 5 |
| Abstract | 5 |
| 1. Introduzione | 7 |
| 1.1 Morfologia, ciclo e sviluppo | 8 |
| 2. Obiettivi..... | 11 |
| 3. Materiali e metodi | 13 |
| 3.1 Allevamento di <i>Ectomyelois ceratoniae</i> | 13 |
| 3.2 Preparazione delle larve per la fase di sperimentazione | 16 |
| 3.3 Esposizione a temperature estreme | 16 |
| 3.4 Analisi statistiche | 18 |
| 4. Risultati | 19 |
| 5. Discussione e conclusioni | 23 |
| Bibliografia e sitografia | 25 |

Riassunto

Ectomyelois ceratoniae, la tignola del carrubo, è un Lepidottero appartenente alla famiglia Pyralidae la cui larva è in grado di danneggiare il noce coltivato attaccandone i frutti. La sperimentazione ha avuto lo scopo di valutare gli effetti di differenti temperature letali sui parametri biologici di larve allevate in condizioni controllate di laboratorio. I parametri biologici considerati sono stati: mortalità delle larve e probabilità di sopravvivenza, durata di sviluppo da larva a pupa, durata dello stadio di pupa, tempo totale di sviluppo pre-immaginale. I risultati indicano come le temperature estreme causino il decesso delle larve o influiscano negativamente sullo sviluppo degli insetti trattati.

Abstract

The carob moth, *Ectomyelois ceratoniae*, is a Lepidoptera belonging to the Pyralidae family, whose larvae can cause damage to cultivated walnut trees by attacking their fruits. Experiment aimed to assess the effect of different lethal temperatures on the biological parameters of larvae reared under controlled laboratory conditions, i.e., larval mortality and survival probability, duration from larva to pupa, pupal stage duration, and pre-imaginal development time. The results indicate that extreme temperatures can have both lethal effects on treated larvae and negatively influence their development.

1. Introduzione

Ectomyelois ceratoniae (Zeller, 1839) (Lepidoptera: Pyralidae), anche conosciuta come tignola del carrubo, è un insetto fitofago ossia un insetto che si nutre di piante, noto per recare danno a numerose specie vegetali come il carrubo, gli agrumi, il melograno, e nella conservazione di frutta secca, come nocciole e mandorle e altre sementi (Cox, 1976), ma anche pistacchio, fico, noci e altre piante spontanee (Norouzi et al., 2008). Negli ultimi anni, in nord Italia, questo lepidottero è stato osservato colpire anche il noce da frutto (*Juglans regia*). In particolare, il suo bersaglio è il frutto del noce, e l'attacco dell'insetto fitofago in questione può causare dei problemi nella fase antecedente alla raccolta e nella fase di conservazione in magazzino. La larva di *E. ceratoniae* penetra nel frutto in fase di sviluppo e si stanza al suo interno per nutrirsi della polpa, e oltre al danno meccanico causato dall'insetto, può avvenire una contaminazione da parte di funghi che possono causare la caduta precoce del frutto. In fase di stoccaggio i sintomi sono visibili sul prodotto nella presenza di seta ed escrementi che la larva produce mentre si nutre del frutto (Duenas-López, 2022).

E. ceratoniae è molto diffusa in tutti i continenti dove si coltivano le piante delle quali si nutrono: essa si trova in Asia centrale e meridionale, Australia, Sud America, Stati Uniti (in particolare in California), in Nord e Sud Africa e in numerose regioni del Mediterraneo e dell'Europa (Duenas-López, 2022). Nelle regioni del Mediterraneo è largamente diffusa, ad esempio in Algeria, Tunisia e Israele, ma anche nel sud della Russia, ed in altre zone dell'America e dell'Africa (Cox, 1976). L'origine della sua diffusione è probabilmente legata alla presenza dell'ospite originario, il melograno (*Punica granatum*), presente in origine in Iran e nel Nord dell'India (Abedi et al., 2019) (Figura 1.3).

Questa specie causa notevoli danni economici nelle coltivazioni e nei magazzini di stoccaggio nelle regioni con condizioni climatiche adatte al suo sviluppo. I danni vengono realizzati dall'insetto nel suo stadio larvale, in cui si caratterizza come carpofago, quindi si insedia all'interno del frutto nutrendosi di esso e scavando gallerie, questo può causare contaminazione da funghi, decolorazione dei frutti e caduta precoce, inoltre può esserci presenza di bave sericee e deiezioni, segni di infestazione durante lo stoccaggio (cabidigitallibrary 25/08/2023).

Questo comportamento limita l'efficacia di molti insetticidi. Per il monitoraggio e il controllo in fase di campo sono stati sviluppati sistemi con trappole a feromoni femminili (Duenas-López, 2022).

1.1 Morfologia, ciclo e sviluppo

Ectomyelois. ceratoniae è un lepidottero olometabolo, ossia un insetto con sviluppo caratterizzato da metamorfosi completa. Gli adulti (Figura 1.1) si possono riconoscere per le ali anteriori di colore grigio con due bande trasversali scure a zig-zag, delle quali la più evidente è quella prossimale; la larva matura (Figura 1.2) ha dimensioni di circa 2 cm, è di colore biancastro alle volte roseo-rossastro con capo brunastro; infine, la crisalide ha dimensioni di circa 1 cm ed è di colore bruno-rossastra (Tremblay, 1993). Generalmente gli adulti vivono una decina di giorni, durante i quali le femmine possono deporre dalle 140 alle 200 uova. È stato osservato che gli adulti prediligono deporre le uova su substrati ruvidi e in presenza di una adeguata fonte di cibo per le larve che nasceranno.



Figura 1.1: Adulto di *Ectomyelois ceratoniae* (foto; Fontana J., 2023).



Figura 1.2: Larva di *Ectomyelois ceratoniae* (foto; Fontana J., 2023).

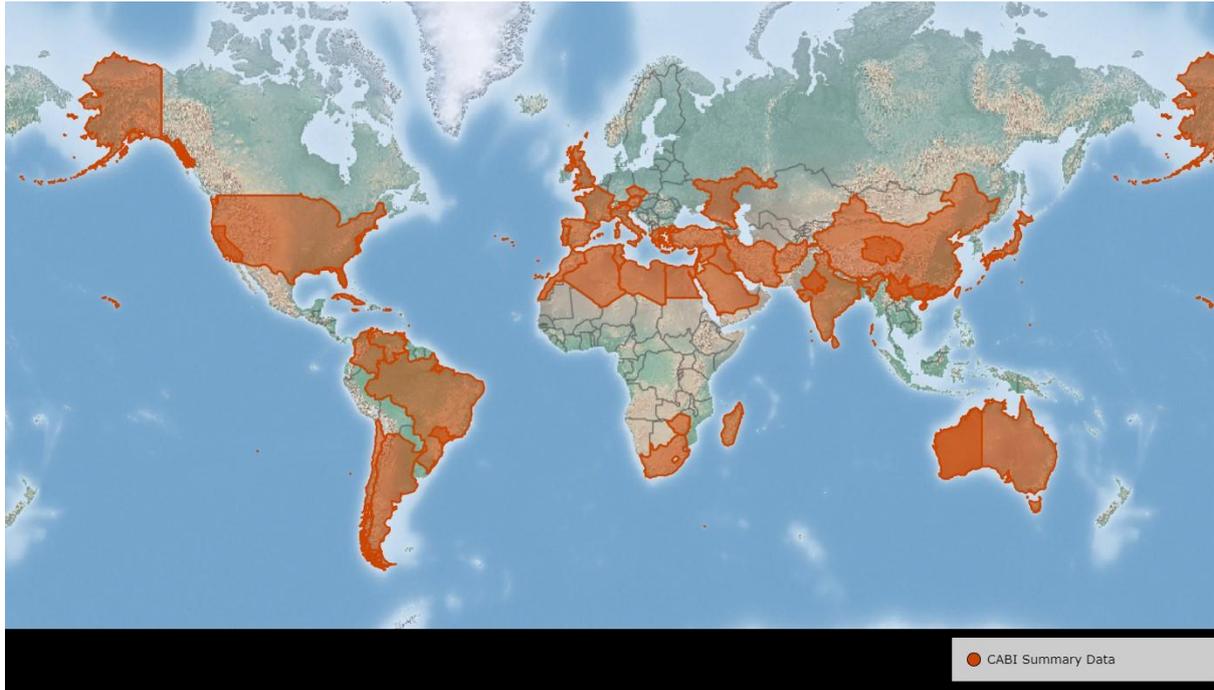


Figura 1.3: Mappa di distribuzione di *Ectomyelois ceratoniae* (cabidigitallibrary, 25/08/2023).

La durata del ciclo di sviluppo di *E. ceratoniae* dipende molto da fattori abiotici, quali le ore luce-buio, l'umidità relativa, la temperatura e la tipologia alimentare. Con fattori abiotici ideali che corrispondono a 30°C, 70% U.R. e fotoperiodo di 16 ore di luce e 8 ore di buio, il ciclo di sviluppo dall'uovo all'adulto dura circa 23 giorni; a variazioni di temperatura e umidità relativa si rilevano dei cambiamenti nella durata del ciclo (Cox, 1976). Questi dati sono in accordo con gli studi condotti da Gothilf (1968), che volle sostituire la tradizionale dieta a base di carrubo di *E. ceratoniae* con una dieta artificiale composta dal 43,5% di zucchero, dal 43,5% di farina di soia e il restante 13% da acqua, allo scopo di osservare se vi fossero differenze nei tempi di sviluppo dell'insetto. L'applicazione di questa dieta non causò sostanziali differenze nei tempi di sviluppo rispetto alle diete più tradizionali (a base di carrubo), che rispecchiano quelle che l'insetto ha a disposizione in condizioni di campo. Altri studi condotti sul confronto di diversi regimi alimentari come, ad esempio, melograno, pistacchio, fico e dattero, hanno dimostrato delle differenze nei parametri vitali e biologici dell'insetto quali i tempi di sviluppo, la fecondità e la mortalità delle larve. Tignole allevate su queste quattro diete mostrano differenze significative nel periodo di incubazione (da 3,00 a 3,05 giorni), mentre non si osservano differenze sostanziali nel periodo di vita. Per quanto riguarda le larve, le diete su melograno e pistacchio sembrano rispondere meglio alle esigenze nutrizionali rispetto a fico e dattero, probabilmente legata alla diversità in termini di umidità nelle varie diete (Norouzi *et al.*, 2008).

2. Obiettivi

Negli ultimi anni *Ectomyelois ceratoniae* sta provocando diversi danni al frutto del noce (*Juglans regia*), causando problemi sia nella fase antecedente alla raccolta sia nella fase di conservazione in magazzino. Considerata la sua recente diffusione, sorge la necessità di capire l'effetto di alcuni fattori abiotici sul ciclo di sviluppo dell'insetto nocivo.

In merito a questo, lo scopo dello studio consiste nel valutare gli effetti dell'esposizione a varie temperature delle larve di *E. ceratoniae* alimentate con noce, osservando i parametri biologici relativi alla mortalità e ai tempi di sviluppo in condizioni controllate di laboratorio.

3. Materiali e metodi

3.1 Allevamento di *Ectomyelois ceratoniae*

Il processo di allevamento di *E. ceratoniae* è avvenuto in un fitotrone, un apposito apparecchio per la riproduzione di climi specifici, nel quale la temperatura era regolata a $26 \pm 1^\circ\text{C}$, l'umidità relativa era del $65 \pm 5\%$ e il fotoperiodo 16:8 (L:D). L'allevamento consta di vari passaggi, nei quali avviene lo spostamento degli individui in diverse ubicazioni, per sopperire ai bisogni fisiologici dati dalle varie fasi di crescita. Le uova di *E. ceratoniae* sono depositate in barattoli di vetro di circa 0,5 litri di volume, i quali vengono preventivamente riempiti per circa 1/3 del loro volume con la fonte alimentare. Questa può essere costituita interamente da noce oppure da una dieta apposita, costituita dai seguenti ingredienti mescolati e impastati sino ad ottenere un composto omogeneo:

- 1 kg di farina di mais;
- 0,5 kg di farina di frumento;
- una bustina di lievito secco (7 grammi circa);
- 3 manciate di muesli tritato (40 grammi circa);
- 2/3 manciate di crusca (30-40 grammi circa);
- 200 ml di glicerolo;
- 250 ml di miele;

Le uova sono deposte dalle femmine adulte su superfici ruvide, che sono state create utilizzando gusci di noce e strisce di feltro, successivamente posizionate all'interno del barattolo e sopra la matrice alimentare; infine, il barattolo viene chiuso con un coperchio in alluminio forato (Figura 3.1). I contenitori vengono posti nel fitotrone fino allo sfarfallamento degli adulti. A questo punto vengono prelevati manualmente con l'aiuto di pennelli a punta sottile e inseriti nelle gabbie di riproduzione (Figura 3.3), caratterizzate da un cubo di lato 25 cm con un'anima in plastica, ricoperto da una sottile rete bianco-trasparente a maglia fine.

L'accesso alla gabbia di riproduzione avviene tramite un'apertura posta su un lato di essa e chiusa con una pinza, da qui si procede all'inserimento degli adulti, aiutandosi con pennelli a punta fine e provette falcon da 50 mL, per il trasferimento dal barattolo alla gabbia. Nella gabbia vi sono inseriti una piastra Petri con un batuffolo di cotone imbevuto in una soluzione di 10% di acqua, per l'idratazione degli insetti, e una vaschetta in plastica (di dimensioni 10 x 12 x 2 cm) contenente la fonte alimentare, sopra la quale vengono posizionati i gusci di noce e

le strisce di feltro per l'ovideposizione (Figura 3.2). Sulla parte superiore della gabbia vengono aggiunte alcune gocce di miele.

Il trasferimento degli adulti e il cambio delle vaschette di ovideposizione avvengono tre volte a settimana, in modo tale da avere un numero costante di campioni. L'intero processo di trasferimento viene svolto sotto cappa biologica.

Una parte delle uova di *E. ceratoniae* sono state separate dal ciclo di allevamento e posizionate in contenitori simili a quelli usati per lo sfarfallamento degli adulti, ma con matrice alimentare costituita da sole noci frantumate, per allevare le larve che sono state poi sottoposte alla sperimentazione a temperature letali, oggetto di questo studio.



Figura 3.1: Barattolo di vetro chiuso con coperchio in alluminio forato contenenti matrice alimentare ed *Ectomyelois ceratoniae* nelle varie fasi di sviluppo.



Figura 3.2: Vaschetta di ovideposizione. Si possono notare I gusci di noce e la matrice alimentare sottostante per favorire il processo.



Figura 3.3: Gabbia di riproduzione.



Figura 3.4: Falcon da 50 mL con noce sbriciolata sul fondo.

3.2 Preparazione delle larve per la fase di sperimentazione

Le uova ottenute dall'allevamento, e separate per la sperimentazione, sono state lasciate maturare nei vasi all'interno del fitotrone. Una volta schiuse, le larve dovevano raggiungere una dimensione tale per cui la capsula della testa misurasse almeno 1,08 mm per poter essere usate nella sperimentazione, questo perché superata questa dimensione le larve vengono considerate mature. La misurazione della larghezza della capsula cefalica è avvenuta allo stereomicroscopio mediante l'utilizzo di un calibro digitale. Per la misurazione si procedeva manualmente, tenendo tra le dita la larva, ponendo attenzione a non fare troppa pressione, e misurandone la capsula. Di seguito si procedeva alla misurazione del peso mediante una bilancia di precisione, con un'accuratezza del centesimo di milligrammo.

Le provette falcon erano usate anche per una fase dell'allevamento, in quanto erano di una dimensione tale da permettere il controllo di una singola larva, in ognuna di queste, preparate in precedenza, doveva essere presente 1/3 del volume in noci grossolanamente sminuzzate e il tappo in plastica doveva essere forato, per permettere il passaggio di ossigeno (Figura 3.4). Ad ogni provetta falcon veniva assegnato un codice identificativo della larva, con la temperatura di trattamento e la data nella quale le uova erano state separate dal ciclo di allevamento (ossia quelle che erano appena state deposte in quella data) (Figura 3.4).

3.3 Esposizione a temperature estreme

Una volta misurati i campioni necessari per il trattamento (in questo caso 30 per trattamento), ponendo attenzione a prelevare uova della stessa data, si procedeva con il trattamento vero e proprio, utilizzando un bagno termostatico Alpha, RA 12 (LAUDA Dr. R. Wobser GMBH & Co. KG, Lauda-Königshofen, Germania) riempito di glicole etilenica, che permetteva di mantenere la temperatura del liquido costante. Le larve venivano inserite in provette in vetro tenute a galla da una griglia in polistirolo, e ogni provetta doveva essere tappata con della spugna per evitare che le larve potessero uscire. Quando la macchina raggiungeva la temperatura desiderata, le griglie di polistirolo con le provette e le larve al loro interno venivano immerse al suo interno, facendo attenzione che tutte si posassero sul fondo, in modo tale da rendere le condizioni di sperimentazione omogenee per tutti i campioni. I campioni rimanevano nel bagnetto termico 120 minuti, al termine dei quali la macchina veniva spenta, si estraeva la griglia con le provette e, stappate quest'ultime, si riposizionava la larva all'interno della provetta falcon d'origine. Le temperature alle quali abbiamo eseguito la sperimentazione in bagno termico sono riportate nella Tabella 3.1.

| Temperature elevate (°C) | Temperature basse (°C) |
|--------------------------|------------------------|
| 40 | -2.5 |
| 42.5 | -5 |
| 45 | -7.5 |
| 47.5 | -10 |
| 50 | -12.5 |

Tabella 3.1: Temperature letali elevate e basse alle quali è stata condotta la sperimentazione con larve di *E. ceratoniae*

Le falcon post trattamento erano mantenute nei fitotroni in condizioni ottimali e si procedeva così al controllo dopo 24 h. Inoltre, veniva annotata qualsiasi anomalia rilevata nei controlli, come malformazioni o la presenza di stadi non completi. Dopo 72 h, venivano controllate di nuovo, con l'aggiunta della misurazione del peso della larva per tenere sotto controllo eventuali cambiamenti di interesse. Dopo 7 giorni, avveniva l'ultimo controllo, anch'esso con relativa misurazione del peso, eseguita sempre nel solo caso di larva viva e non impupata.

Nelle provette falcon con le larve post trattamento, erano mantenute delle condizioni di umidità e alimentazione adeguate alla crescita ottimale della larva (temperatura regolata a $26 \pm 1^\circ\text{C}$, l'umidità relativa del $65 \pm 5\%$ e il fotoperiodo 16:8 (L:D)). Le noci sbriciolate venivano eliminate solo nel momento in cui la larva si impupava, si cambiava il tappo forato con uno al quale era stata rimossa la parte superiore e sostituita con una retina a maglia fina, sulla quale veniva posizionata una goccia di miele per l'alimentazione del futuro adulto. Infine, si aggiungeva un cartoncino piegato a "fisarmonica" per facilitare l'accesso dell'adulto alla goccia di miele posta sulla retina.

Nella sperimentazione a temperature basse, il processo più delicato era quello dell'accertamento della morte della larva: spesso, infatti, le larve erano in uno stato di "morte apparente" nel quale restavano ferme immobili, bisognava quindi stimolarle con un pennello sottile e osservare attraverso lo stereoscopio se ci fossero degli impercettibili movimenti delle mandibole o delle zampe.

Una volta effettuato il controllo del settimo giorno, si verificava giornalmente lo stato dell'insetto fino al momento della morte dell'adulto, riportando sulla scheda l'eventuale data di morte, di impupamento, e di sfarfallamento dell'adulto, così da avere un quadro completo del ciclo di sviluppo.

3.4 Analisi statistiche

I dati sulla mortalità delle larve trattate ad alte temperature sono stati analizzati utilizzando regressioni probit tramite la procedura PROBIT di SAS ver. 9.4 (SAS Institute, 2016), interpolando i dati osservati con le curve di mortalità degli insetti esposte alle alte e alle basse temperature per i diversi controlli (a 24 ore, 3 o 7 giorni). L'analisi è stata effettuata sul numero di larve decedute per ogni livello di temperatura sul tempo sul totale delle larve trattate. Nella costruzione delle curve, il valore di mortalità delle larve nella temperatura di controllo (la più bassa nel caso delle alte, la più alta nel caso dell'esposizione alle basse temperature) è stato considerato allo 0% per tutte le sperimentazioni, mentre al 5% nel caso del controllo a 7 giorni delle esposizioni a basse temperature, in base a quanto osservato durante la sperimentazione. Eventuali larve fuggite dalle provette falcon durante la sperimentazione sono state escluse dall'analisi. Inoltre, dalle curve ottenute mediante l'analisi probit sono state stimate le temperature letali in grado di causare la mortalità del 50% (LT50) and 99% (LT99) delle larve trattate, come riportato in recenti studi su altri insetti dannosi in agricoltura (e.g., Scaccini *et al.*, 2019;2020).

4. Risultati

Dall'analisi dei dati, i modelli di regressione probit sono risultati significativi (test della bontà di adattamento con $\chi^2 > 0.05$) a 7 giorni per le esposizioni ad alte temperature ($\chi^2 = 12.49$, $df = 1$, $p = 0.0004$; Figura 4.1) e dei controlli a 3 e 7 giorni per le esposizioni alle basse (rispettivamente, $\chi^2 = 38.75$, $df = 1$, $p < 0.0001$; $\chi^2 = 27.56$, $df = 1$, $p < 0.0001$; Figura 4.2 e Figura 4.3).

Dalla Figura 4.1 che rappresenta la curva di regressione probit in funzione dell'esposizione alle alte temperature con controllo a 7 giorni, si possono notare gli effetti della crescita della temperatura sulle larve esposte ai vari trattamenti. In particolare, si può osservare come la morte del 50% degli individui si ha a 7 giorni dopo un'esposizione a 44.05°C, mentre a 47.09°C si registra la morte del 99% dei campioni testati.

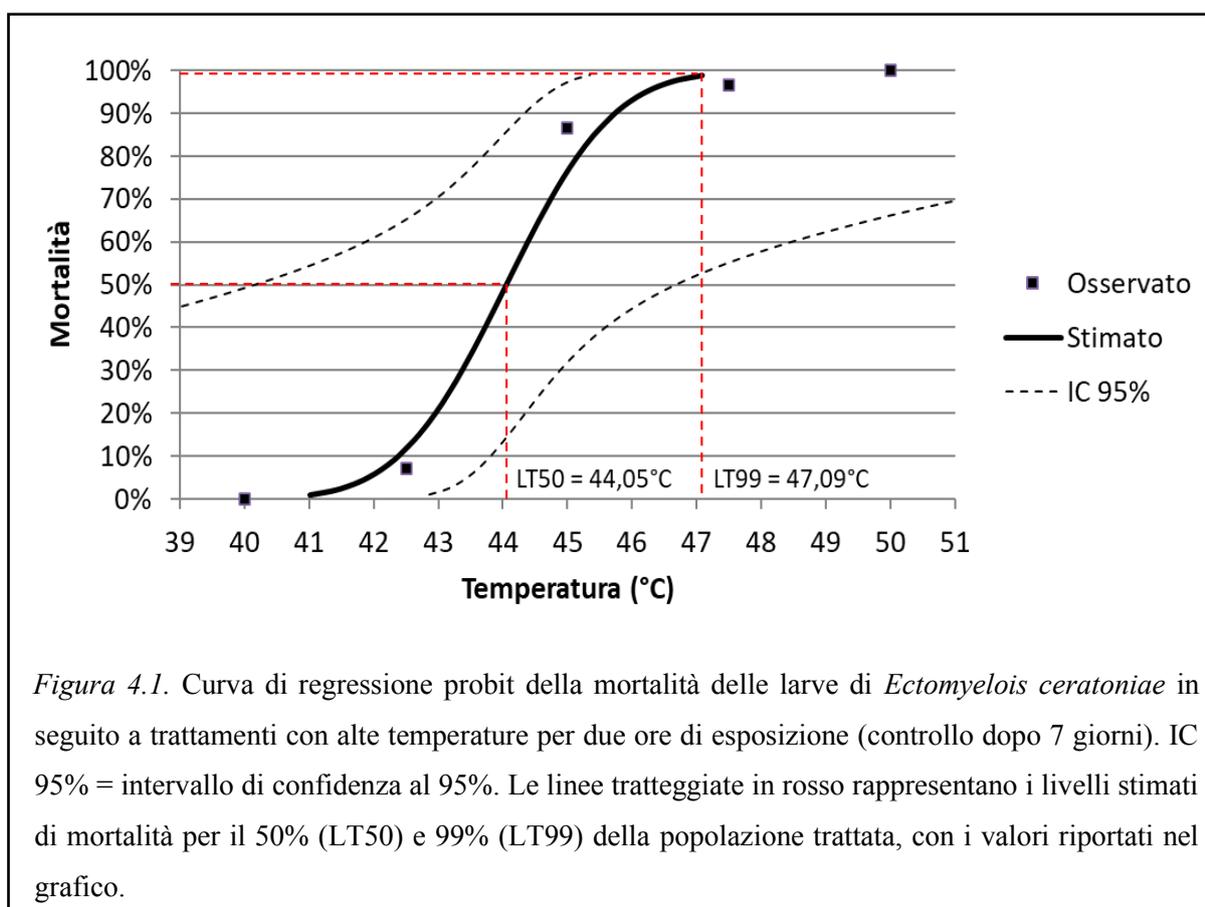
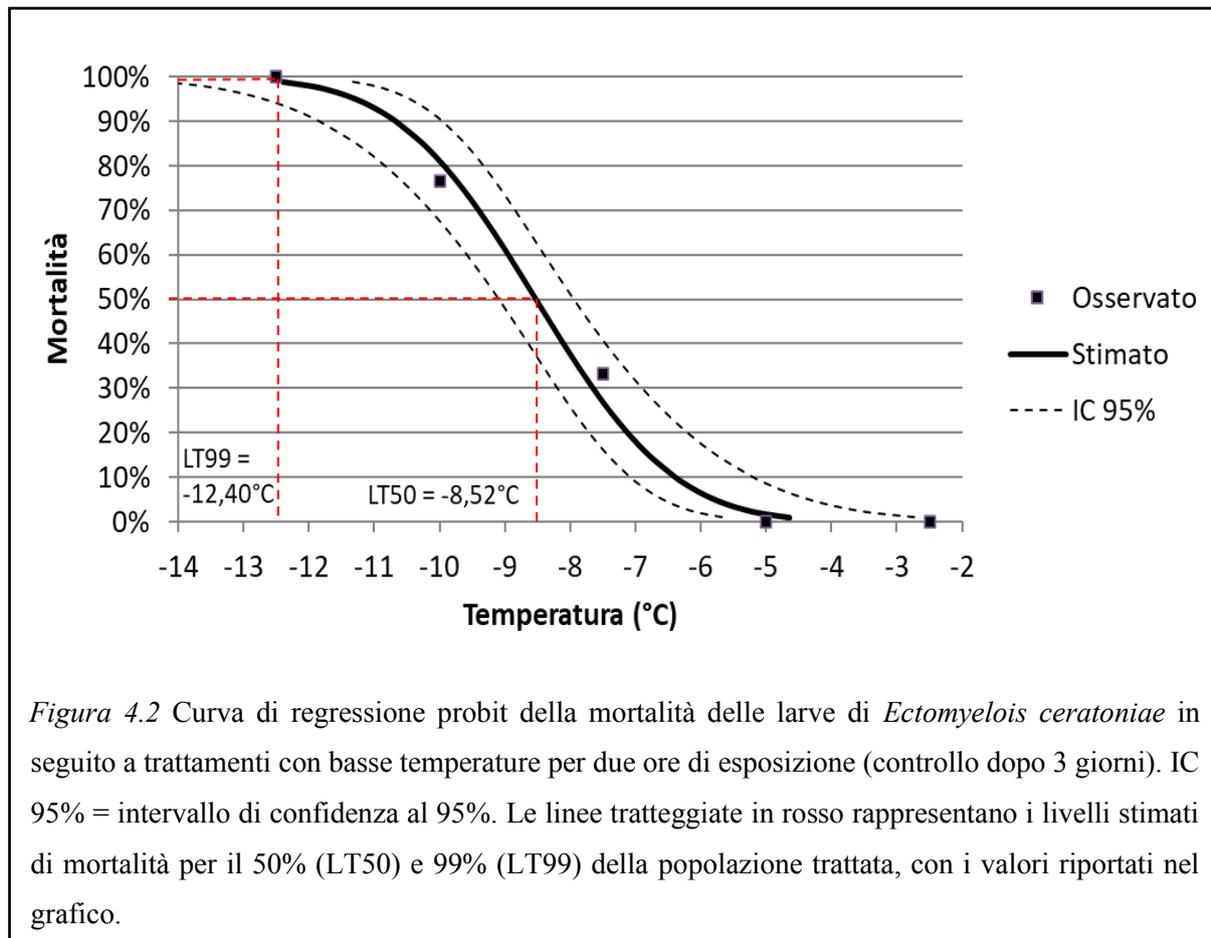


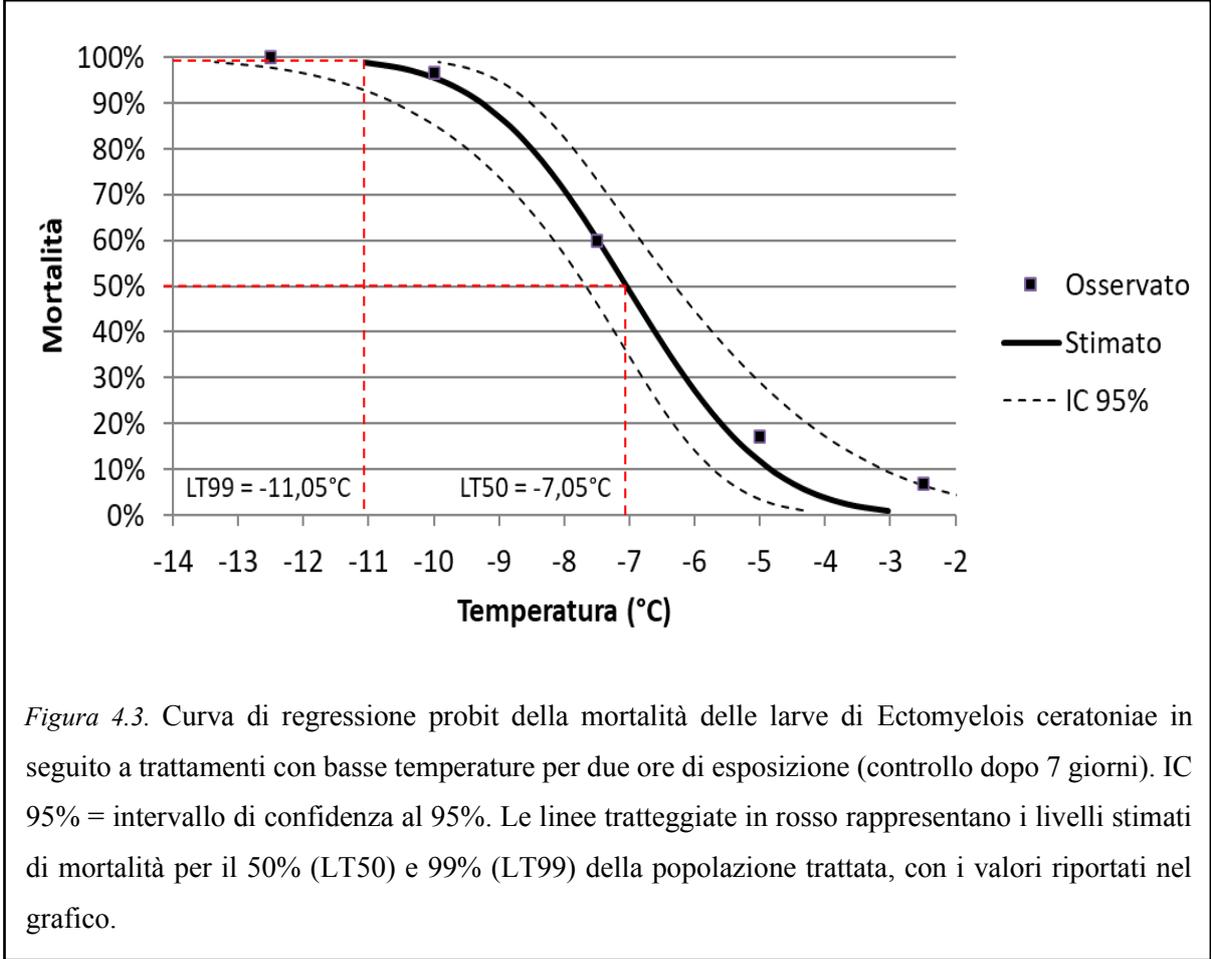
Figura 4.1. Curva di regressione probit della mortalità delle larve di *Ectomyelois ceratoniae* in seguito a trattamenti con alte temperature per due ore di esposizione (controllo dopo 7 giorni). IC 95% = intervallo di confidenza al 95%. Le linee tratteggiate in rosso rappresentano i livelli stimati di mortalità per il 50% (LT50) e 99% (LT99) della popolazione trattata, con i valori riportati nel grafico.

La Figura 4.2 rappresenta la curva di regressione probit in funzione dell'esposizione alle basse temperature dopo 3 giorni, dove si possono notare gli effetti dell'abbassamento della

temperatura sulle larve esposte ai vari trattamenti. Dal grafico si osserva che la morte del 50% degli individui avviene dopo l'esposizione a -8.52°C , mentre a -12.40°C si registra la morte del 99% degli individui. In questo caso l'intervallo di confidenza è molto vicino ai valori misurati, e ciò rappresenta una conferma a favore del fatto che l'esposizione alle basse temperature ha un effetto più lineare rispetto all'esposizione alle alte temperature.



La Figura 4.3 rappresenta la curva di regressione probit in funzione all'esposizione alle basse temperature con controllo a 7 giorni, e si può notare come la curva abbia una configurazione molto simile a quella rappresentata in Figura 4.2. Si osserva che la morte del 50% degli individui avviene dopo un'esposizione a -7.05°C , mentre a -11.05°C si registra la morte del 99% delle larve. Questi dati, messi a confronto con la Figura 4.2, indicano che le larve già a 3 giorni hanno risentito del trattamento, ma l'effetto letale si manifesta dopo un maggior numero di giorni di controllo. A conferma di questo, si può affermare che all'osservazione visiva durante la fase sperimentale, le larve esposte a temperature basse manifestavano dei segnali di attività più tenui rispetto al campione esposto alle alte temperature, corroborando l'ipotesi dell'efficacia del trattamento.



5. Discussione e conclusioni

I dati rilevati dalla sperimentazione condotta indicano che le esposizioni a temperature estreme possono avere un impatto significativo sui parametri biologici delle larve di *E. ceratoniae*. Infatti, oltre a causare la morte delle larve, le temperature estreme possono influenzare negativamente la loro sopravvivenza e modificare i tempi di sviluppo, impedendo il completo raggiungimento dello stadio di pupa. Dai risultati ottenuti emerge come sia l'esposizione alle alte temperature che quella alle basse temperature abbiano un impatto significativo sullo sviluppo e sulla sopravvivenza delle larve di *E. ceratoniae*. Le temperature estreme si sono rivelate letali per le larve, con livelli di mortalità che aumentano significativamente con l'aumento della temperatura per le esposizioni alle alte temperature o il decremento della stessa per quelle a basse temperature.

L'analisi delle curve di regressione probit ha evidenziato che temperature pari a 44.05 e basse pari a -8.52 causano la morte del 50% della popolazione. Le temperature estreme, soprattutto quelle oltre i 47.09°C e inferiori a -12.40°C, hanno dimostrato di essere particolarmente efficaci nel controllo del fitofago tramite metodi fisici, portando alla morte del 99% delle larve testate.

È stato notato che il range di temperature considerato letale per questa specie è abbastanza elevato, mostrando una buona resistenza delle larve *E. ceratoniae* a questi trattamenti. Rimane complessa e poco applicabile la pratica dell'esposizione alle alte temperature per il controllo della tignola del carrubo nei magazzini di stoccaggio delle noci, in quanto a temperature elevate il frutto del noce verrebbe danneggiato provocando perdite organolettiche e nutrizionali. Diverso è invece il caso delle esposizioni alle basse temperature, che potrebbero meritare ulteriori approfondimenti ma che evidenziano ancora importanti criticità nell'applicazione specialmente dovute a ragioni di natura tecnica e gestionale, così come per l'elevato costo della pratica di controllo fisico.

Un aspetto interessante emerso dai risultati è il diverso andamento delle curve di regressione probit tra le esposizioni a basse e alte temperature. Infatti, mentre l'effetto letale delle basse temperature sembra manifestarsi gradualmente e in modo più graduale rispetto alle alte temperature, queste ultime hanno causato un effetto letale più rapido e pronunciato. Tale differenza potrebbe avere implicazioni significative per lo sviluppo di strategie di controllo tramite mezzi fisici, vantaggiosi anche in un'ottica di sostenibilità in base alle nuove normative europee sempre più improntate ad un minor utilizzo di pesticidi chimici come metodo di lotta.

I dati raccolti potranno quindi essere utili per valutare strategie alternative di controllo e lotta basate sull'utilizzo di temperature estreme, metodi che possono rivelarsi funzionali, considerando che la gran parte degli insetti ha condizioni ideali di sviluppo tra i 25-33°C e 65-75% di UR. Nello specifico, le temperature basse rallentano il metabolismo degli artropodi diventando quindi un metodo di prevenzione e contenimento, da valutare poi rispetto alla resistenza dell'individuo. Le temperature alte, tuttavia, sono più efficienti per arrestare lo sviluppo della maggior parte degli infestanti, infatti, con un aumento di 5°C rispetto all'optimum dell'individuo, si notano già i primi risultati.

In conclusione, la ricerca ha fornito risultati interessanti per la comprensione dell'effetto delle temperature estreme sulla tignola del carrubo. Sulla base dei risultati ottenuti, si prospettano ulteriori ricerche su *E. ceratoniae*, al fine di comprendere al meglio la risposta biologica di questa specie a variazioni di ulteriori parametri abiotici esterni.

Bibliografia e sitografia

Cox, P. D. (1976). The influence of temperature and humidity on the life-cycle of *Ectomyelois ceratoniae* (Zeller)(Lepidoptera: Phycitidae). *Journal of Stored Products Research*, 12(2), 111-117.

Dueñas-López, M. A. (2022). *Ectomyelois ceratoniae* (carob moth). CABI Digital Library, <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.35348> (ultimo accesso: 6 settembre 2023)

Norouzi, A., Talebi, A. A., & Fathipour, Y. (2008). Development and demographic parameters of the carob moth *Apomyelois ceratoniae* on four diet regimes. *Bulletin of Insectology*, 61(2), 291-297.

SAS Institute, 2016. PROC User's Manual, 6th ed. SAS Institute, Cary, NC. URL: <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/indebug/68442/PDF/default/indebug.pdf> (accesso effettuato il 3 giugno 2023).

Scaccini, D., Duso, C., & Pozzebon, A. (2019). Lethal effects of high temperatures on brown marmorated stink bug adults before and after overwintering. *Insects*, 10(10), 355.

Scaccini, D., Vanishvili, L., Tirello, P., Walton, V. M., Duso, C., & Pozzebon, A. (2020). Lethal and sub-lethal effects of low-temperature exposures on *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) adults before and after overwintering. *Scientific Reports*, 10(1), 15231.

Tremblay, E. (1986). Entomologia applicata, vol. 2. *Liguori Editore, Napolis*, pp. 440

<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/cabicompendium.35348#REF-DDB-192051>