L'allevamento degli insetti per mangimi e Novel Food

Dr. Ferdinando Baldacchino, PhD - Entomologo

ferdinando.baldacchino@enea.it

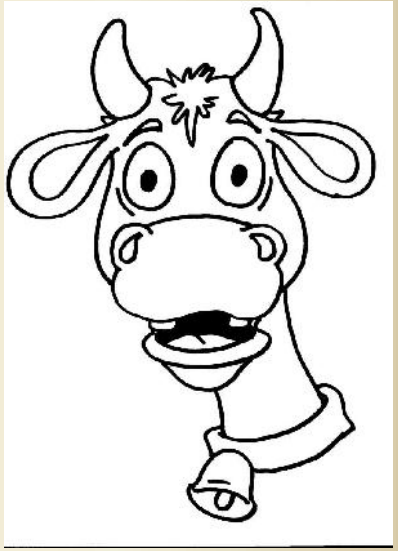
Premessa

privato
Solo uso

Insetti e animali sono uguali dal punto di vista normativo

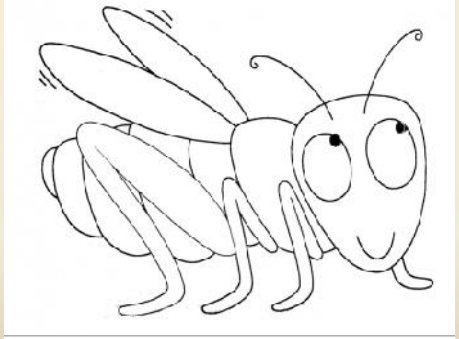
… entrambi appartengono al Regno Animalia ma ….

… sono profondamente diversi per alcune caratteristiche biologiche fondamentali per il loro allevamento.



- non sono animali a sangue caldo

- hanno diversi stadi sviluppo



Conosciamoli meglio

privato solo uso

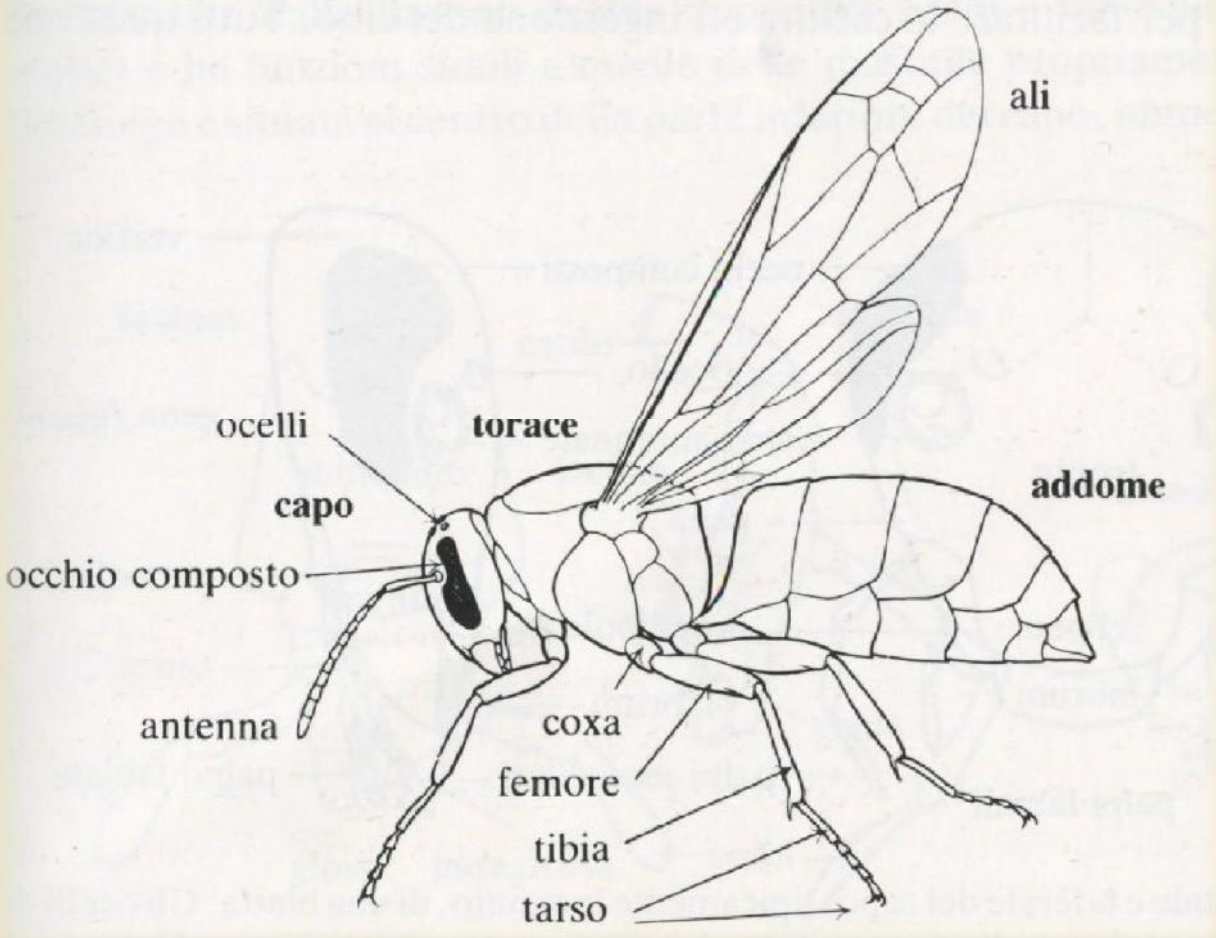
Le specie d'interesse

Ortotteri	Ditteri	Coleotteri
House Cricket (*Acheta domesticus*)	**Black Soldier Fly** (*Hermetia illucens*. L)	**Yellow mealworm** (*Tenebrio molitor* L)
Banded Cricket (*Gryllodes sigillatus*)	**Common House Fly** (*Musca domestica*)	**Lesser mealworm** (*Alphitobius diaperinus*)
Field Cricket (*Gryllus assimilis*)	**Regolamento(EC) N. 2017/*893*** **7 specie**	

Conosciamoli meglio

privato
solo uso

Cenni di morfologia e sviluppo



Conosciamoli meglio

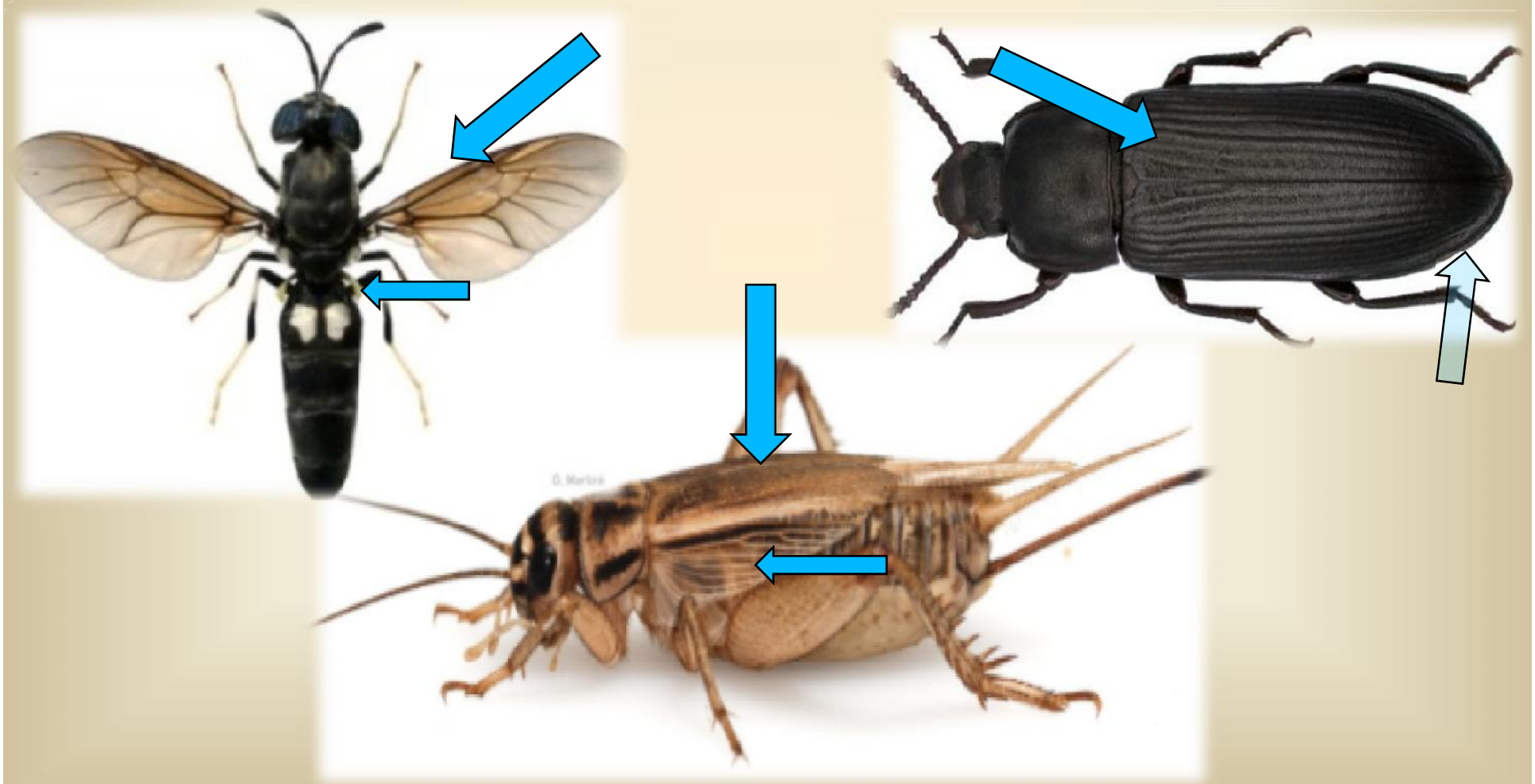
privato
Solo uso

Capo e apparati boccali

Conosciamoli meglio

privato
Solo uso

Ali e loro varianti



Conosciamoli meglio

privato
Solo uso

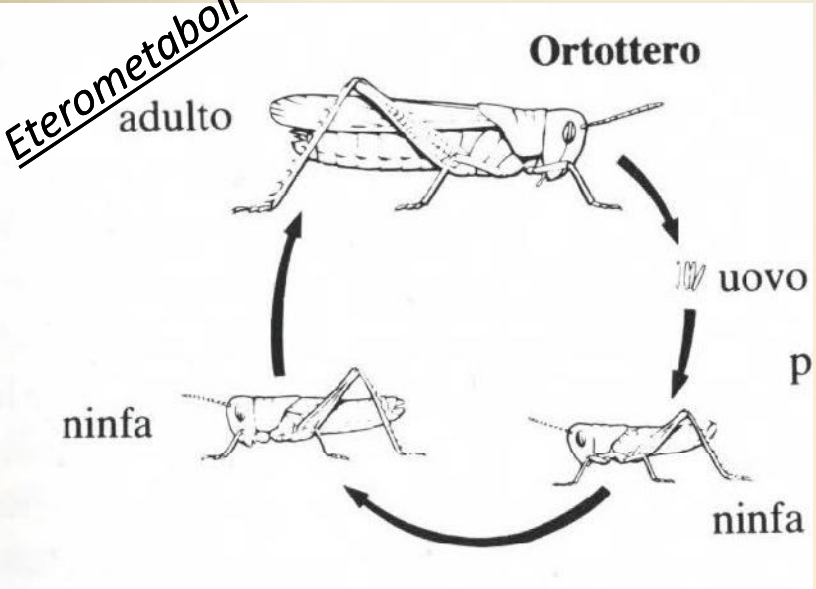
Addome e strutture riproduttive

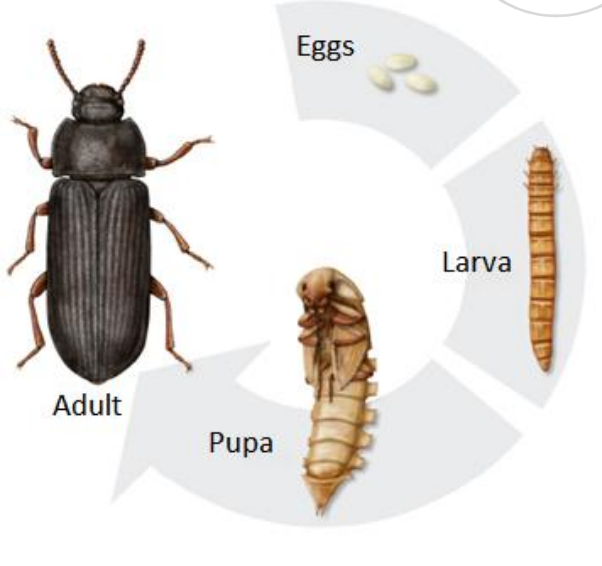
Conosciamoli meglio

Lo sviluppo

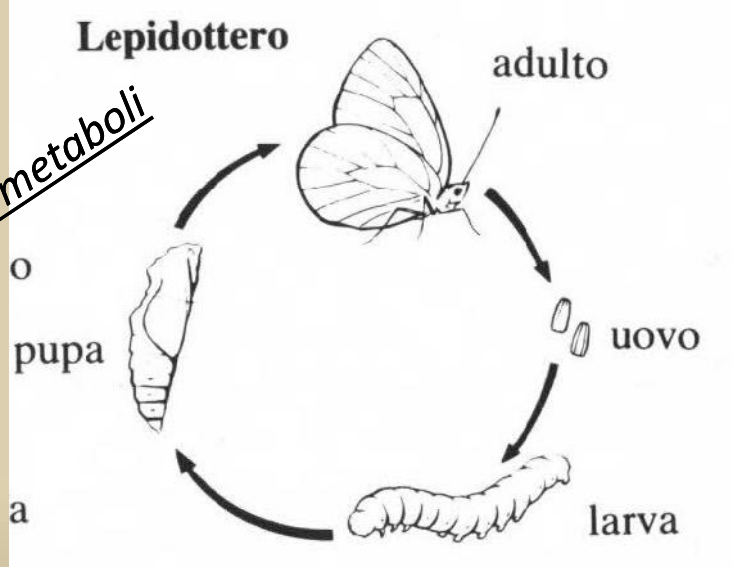
privato
Solo uso

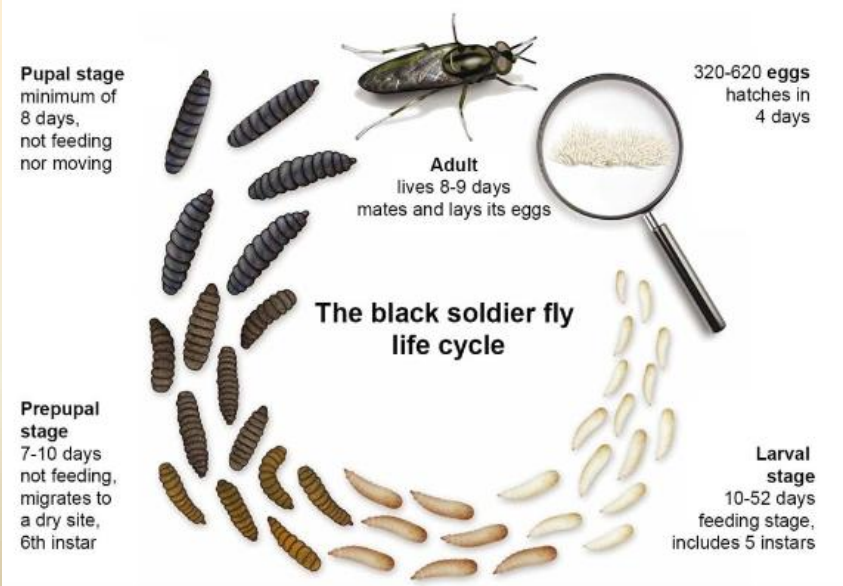
Eterometaboli





Olometaboli





souce: Larouche et al., 2019 (:adapted http://uniquebiotechnology.com/)

L'allevamento di insetti:un minimo di storia

Solo uso privato

L'uomo alleva da lungo tempo alcuni insetti per propria utilità (prodotti dell'alveare, impollinazione, seta , coloranti)

Allevamenti caratterizzati da stagionalità , piccole unità produttive, molta manodopera (spesso familiare)

Apicoltura

Bachicoltura

Cocciniglia *Dactylopius coccus*

L'allevamento di insetti

privato
solo uso

La lotta biologica ha dato notevole impulso alle conoscenze su allevamento di insetti :

- ***insetti utili (predatori e parassitoidi)***
- ***insetti ospiti di insetti utili (o ospiti di sostituzione)***
- ***insetti dannosi a supporto della tecnica del maschio sterile***

Nascita delle
BIOFABBRICHE

L'allevamento di insetti

privato
Solo uso

L'allevamento di insetti

privato
Solo uso

L'allevamento insetti per feed e food è recente

Recepisce conoscenze precedenti (… anche di appassionati)

Le adatta al nuovo scopo per un salto di scala.

Allevamenti "scala industriale"

- Scopo: produzione economica di biomassa larvale
- Investimenti alti (strutture, spazi, lavoro)

Problematiche di "scala" (Morales-Ramos, 2016)

- Fattori limitanti: dieta>sistema di allevamento>lavoro>spazio
- Obiettivi di miglioramento: nutrizione>utilizzo dieta>riduzione costi>biologia e progettazione>meccanizzazione e automatismo>progettazione struttura

L’allevamento di insetti

privato
solo uso

Aspetti da considerare per l’allevamento:

- **specie**
- **ambienti**
- **strutture**
- **dieta**

- ***benessere animale***
- ***lavoratori***
- ***automazione***
- ***manuale HACCP***

L'allevamento di insetti: la specie

privato
Solo uso

Aspetti da considerare per l'allevamento:

- **specie**

  - *Elevato tasso di riproduzione*
  - *Molte generazioni/anno*
  - *Assenza di diapausa*
  - *Buona sopravvivenza*
  - *Poco soggetti a malattie*
  - *Facilmente allevabile anche su diete economicamente povere*
  - *Adattabili alle alte densità*

… e considerando il loro destino …

- *Buon valore nutritivo*
- *Non contenere sostanze tossiche*
- *Appetibili*

L'allevamento di insetti: la specie

privato
Solo uso

Un'altra considerazione: si alleva la specie in base all'obiettivo imprenditoriale (mangime, bioconversione, Novel food, ecc.), al mercato di riferimento e ai vincoli legislativi.

Quindi la scelta si restringe alle 7 specie ammesse dalla legislazione.*

Ogni specie in allevamento, anche in situazioni normali, presenta criticità che si accentuano in alcune fasi di sviluppo e che richiedono accorgimenti per evitare perdite.

fasi critiche	Tenebrio	Hermetia	Ortotteri	Criticità
Accoppiamento	🙂	☹	🙂	Gabbie voluminose e luce dall'alto
Ovideposizione	🙂	🙂 ☹	🙂	Fornire supporti artificiali
Crescita larvale	🙂	🙂	🙂 ☹	Sensibilità a virus
Pupa	☹	🙂	🙂 ☹	Perdite per cannibalismo, disidratazione, ecc.

**Diverso nel caso di allevamento per altri usi (PET, insetti vivi)*

L'allevamento di insetti: l'insettario

privato
Solo uso

Ambienti = Insettario

Locali di allevamento (es. celle climatizzate) in grado di garantire le esigenze ambientali della specie allevata (temperature, umidità, illuminazione)

Locali di supporto:

- preparazione substrati
- per manipolazione insetti
- magazzino
- lavaggio attrezzature
- spogliatoi
- disimpegni
- laboratorio
- ufficio

L'allevamento di insetti: l'insettario

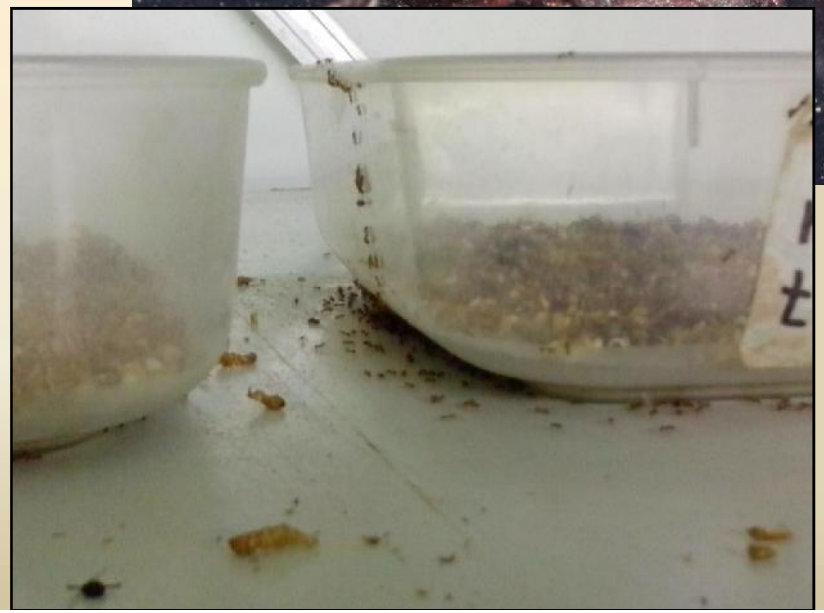
privato
Solo uso

- **Strutture:** gabbie, vasche, moduli, ecc.

L’allevamento di insetti: gli intrusi

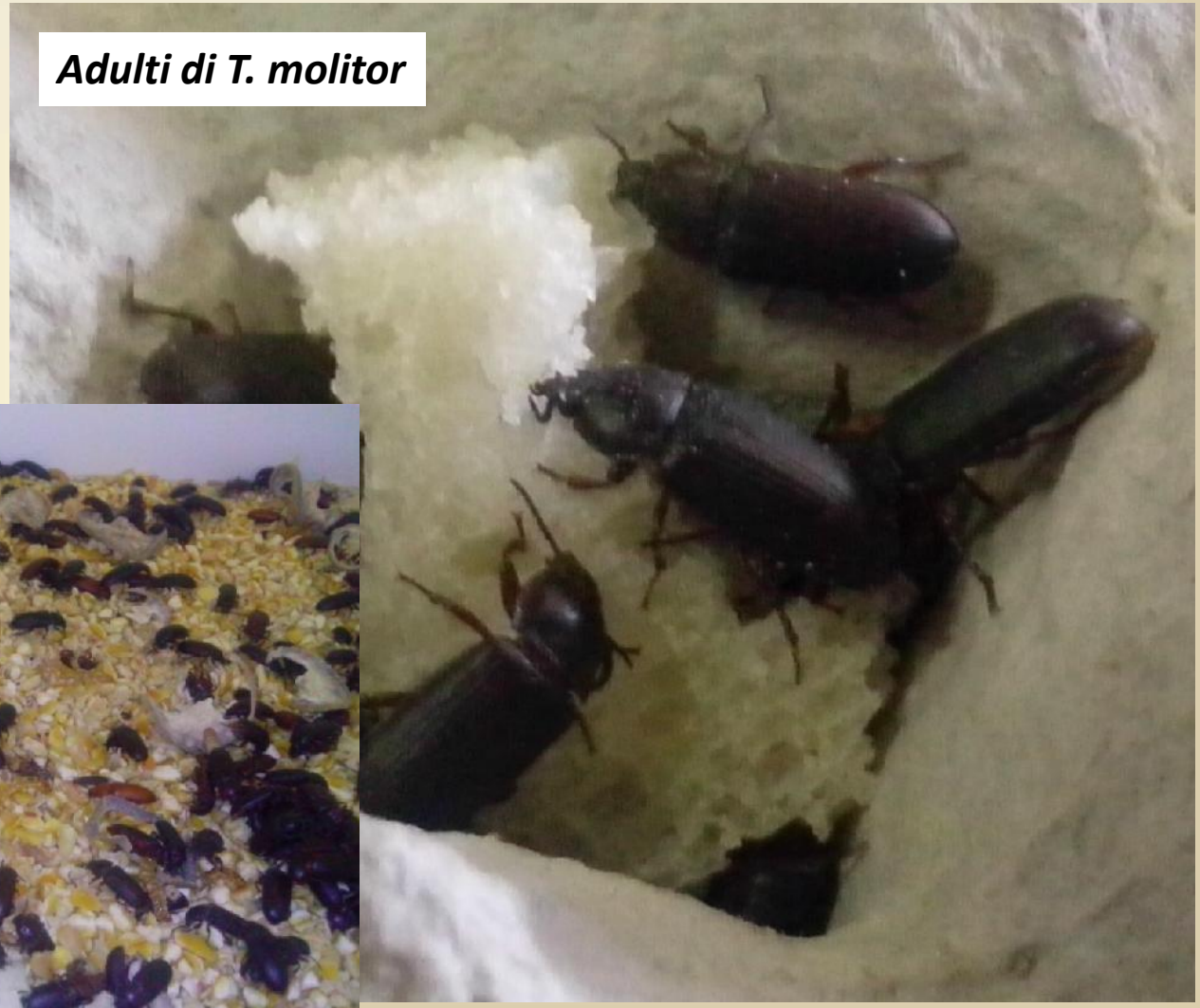
privato
solo uso

L’insettario non è solo strutture, ma l’organizzazione del lavoro e la prevenzione sono componenti basilari per evitare “brutte sorprese”

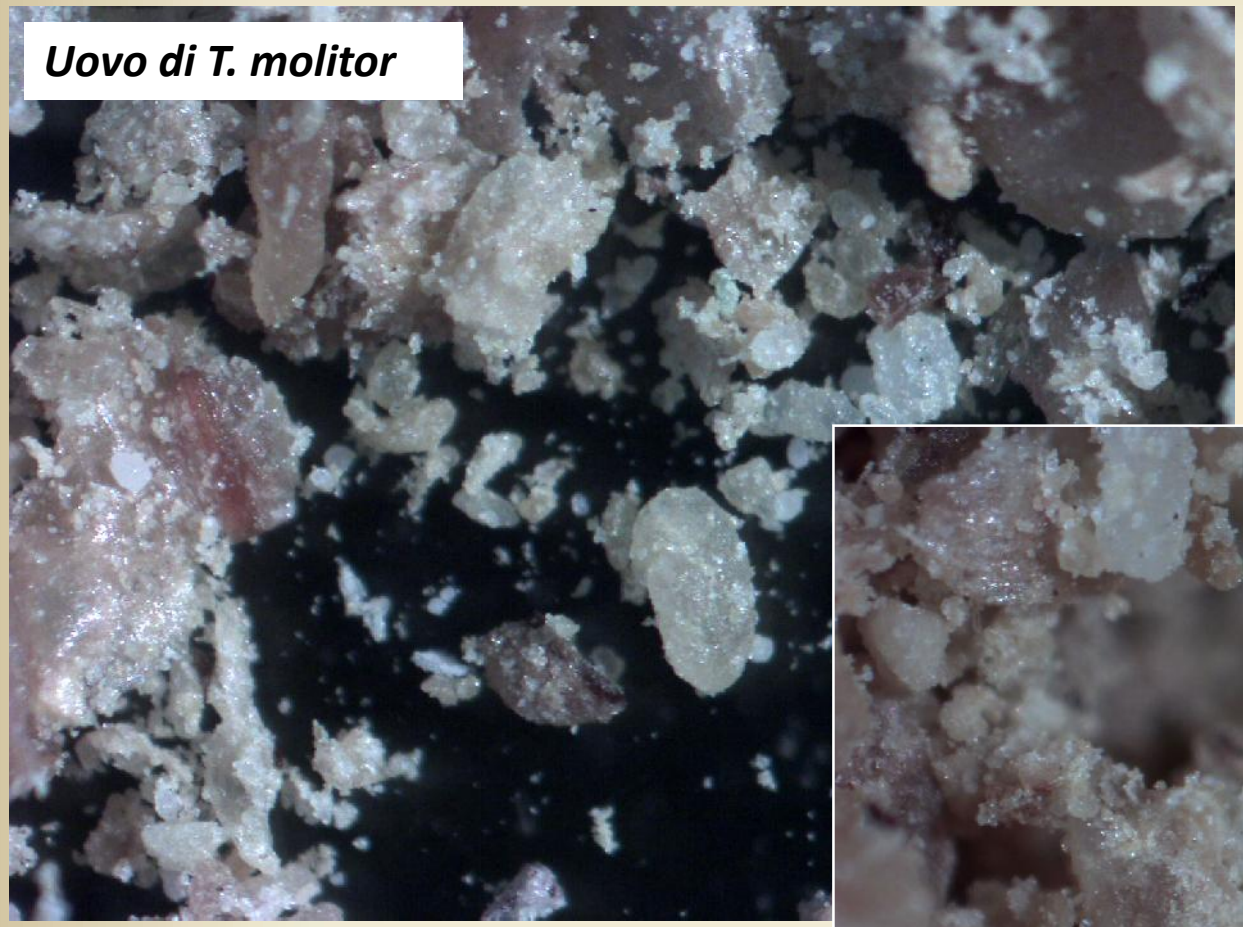


L'allevamento di insetti: Tenebrio molitor

Tenebrio molitor (Linnaeus, 1758)
Ordine Coleoptera
Famiglia Tenebrionidae



privato
solo uso



privato
solo uso

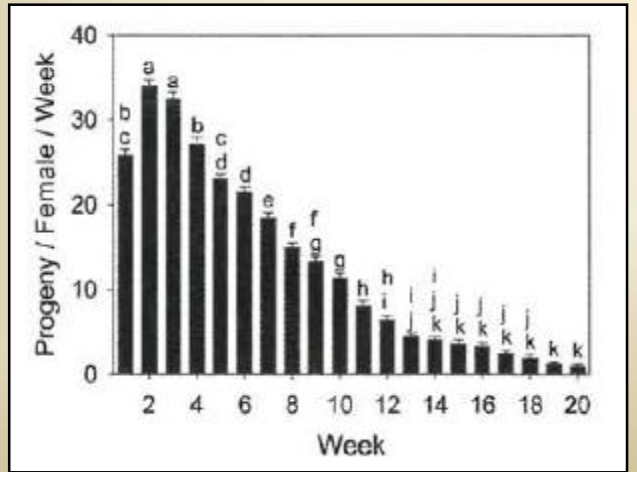
privato
solo uso

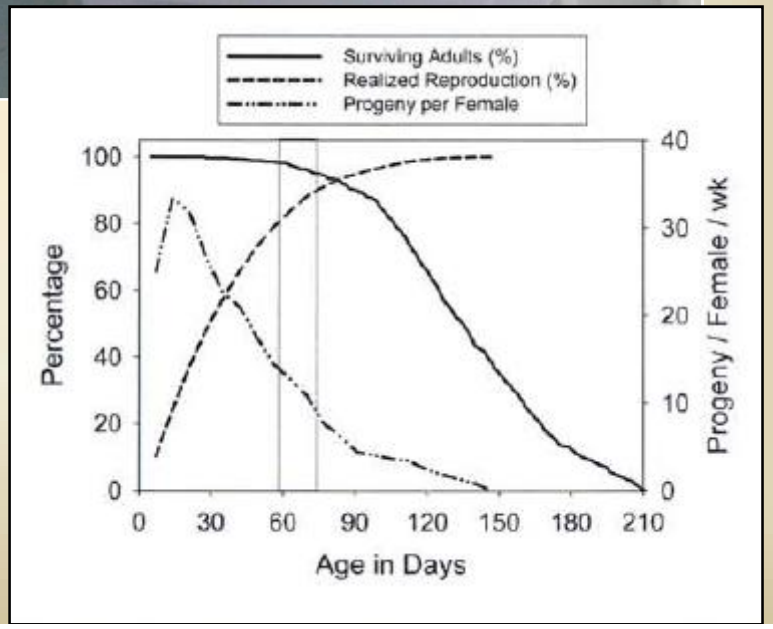
Impact of Adult Weight, Density, and Age on Reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)[1]

Juan A. Morales-Ramos[2], M. Guadalupe Rojas, Sasha Kay[3], David I. Shapiro-Ilan[4], and W. Louis Tedders[3]

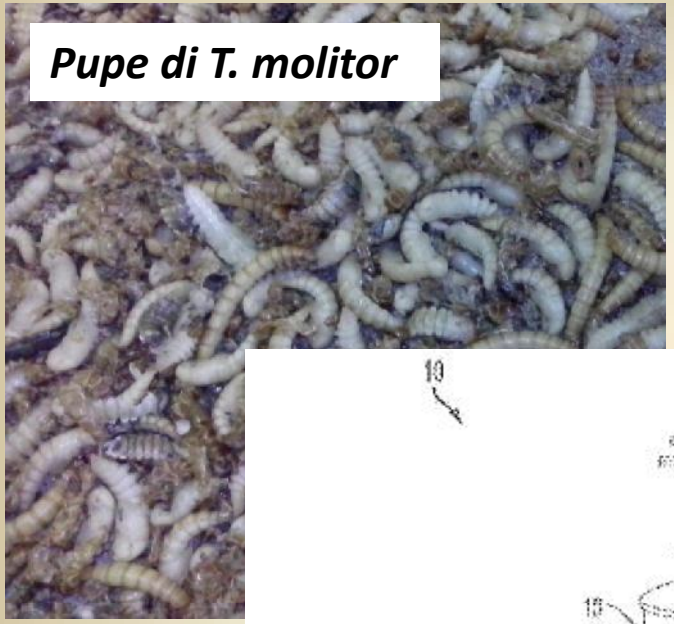
USDA-ARS NBCL, Biological Control of Pests Research Unit, Stoneville, Mississippi 38776 USA

J. Entomol. Sci. 47(3): 208-220 (July 2012)

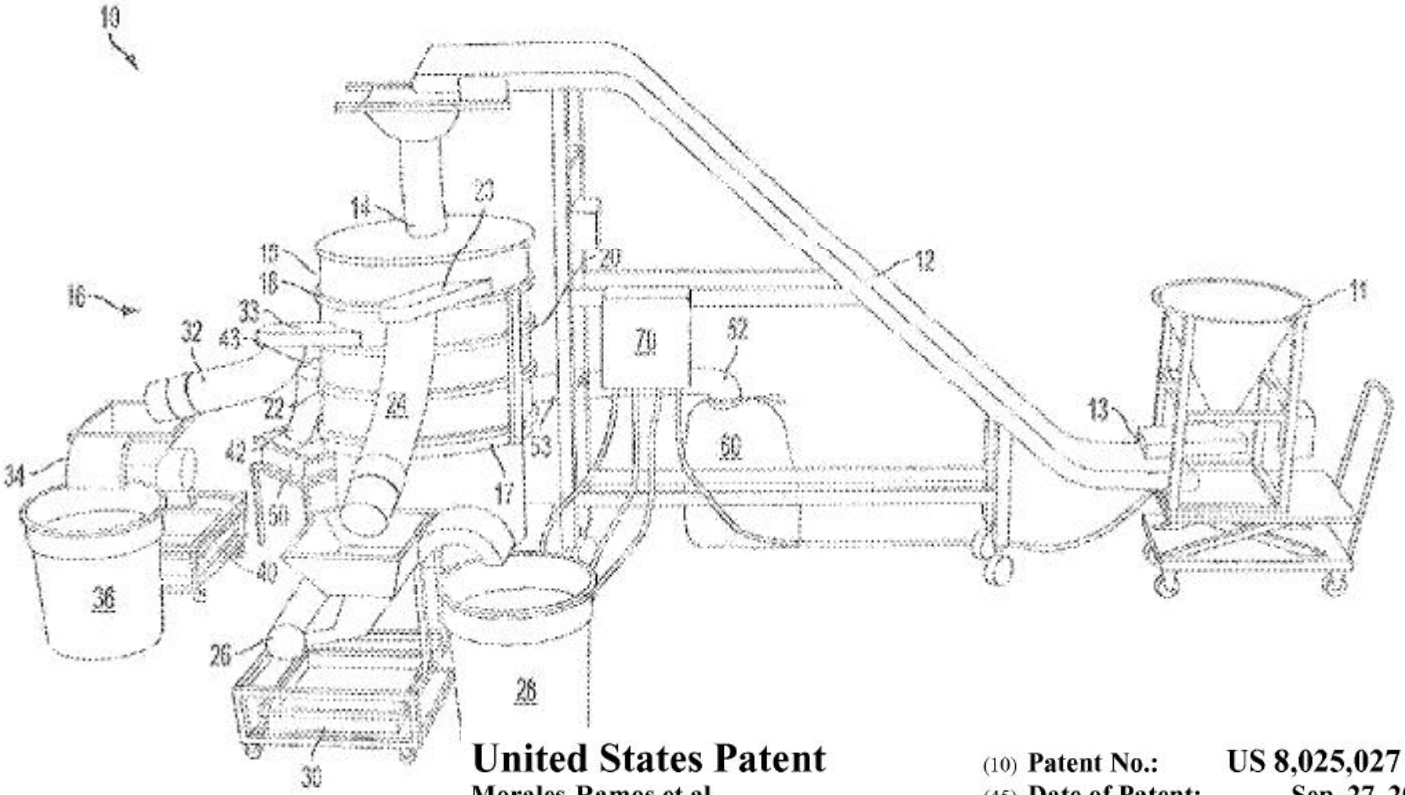




privato
solo uso



privato
solo uso



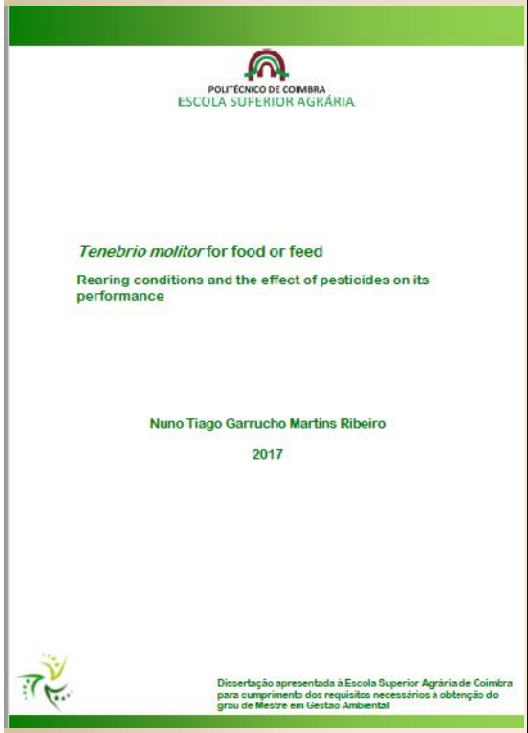
United States Patent
Morales-Ramos et al.

(10) Patent No.: US 8,025,027 B1
(45) Date of Patent: Sep. 27, 2011

AUTOMATED INSECT SEPARATION SYSTEM

(56) References Cited

Parametri biologici (*Tenebrio molitor*)



A Review of the Scientific Literature for Optimal Conditions for Mass Rearing *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)[1]

Nuno Ribeiro[2], Manuela Abelho[3], and Rui Costa[2]

Polytechnic Institute of Coimbra, Coimbra College of Agriculture, Bencanta, 3045-601, Coimbra, Portugal

J. Entomol. Sci. 53(4): 434–454 (October 2018)

Table 1 -Biological and lifecycle parameters of *Tenebrio molitor*

		Minimum	Average	Maximum
Number of eggs		77 (Cotton, 1927) 250 (Ghaly et al., 2009)	250 (Spencer and Spencer, 2006) 276 (Cotton, 1927) 280 (Hardouin and Mahoux, 2003) 414 (Manojlovic, 1987) 400-500 (Ghaly et al., 2009)	500 (Hill, 2002) 576 (Cotton, 1927) 1000 (Ghaly et al., 2009)
Length (mm)	Larvae	20 (Ghaly et al., 2009) 28 (Hardouin and Mahoux, 2003)	16 (Barker et al., 1998) 28 (Hill, 2002)	25 (Ghaly et al., 2009) 31.6 (Park et al., 2014) 32 (Hardouin and Mahoux, 2003)
	Adult	12 (Hill, 2002) 15.5 (Kim et al., 2015)	-	16 (Hill, 2002; Kim et al., 2015)
Body mass (mg)	Larvae	75 (Martin et al., 1976) 130 (Makkar et al., 2014) 140 (Tschinkel and Willson, 1971)	111 (Martin et al., 1976) 120 (Connat et al., 1991) 126 (Finke, 2002) 191 220 (Kim et al., 2016)	134 (Ramos Elorduy et al., 2002) 145 (Martin et al., 1976) 160 (Makkar et al., 2014) 182.7 (Ghaly et al., 2009) 190 (Tschinkel and Willson, 1971) 220 (Kim et al., 2016)
	Adult	-	136 (Finke, 2002)	-
Duration (days)	Lifespan (complete cycle)	75 (Spencer and Spencer, 2006) 90 (Hardouin and Mahoux, 2003) 181 (Urs and Hopkins, 1973) 280 (Hill, 2002)	80-83.7(Park et al., 2012) 189 (Urs and Hopkins, 1973) 294 (Miryam et al., 2000)	90 (Spencer and Spencer, 2006) 120 (Hardouin and Mahoux, 2003) 196 (Urs and Hopkins, 1973) 630 (Hill, 2002)
	Egg stage	4 at 26-31 °C (Cotton, 1927) 4-6 (Siemianowska et al., 2013) 5 at 35 °C (Kim et al., 2015) 7 (Miryam et al., 2000) 10 (Hill, 2002)	7 (L. Li et al., 2016)(Hardouin and Mahoux, 2003) 7.55 at 25 °C (Manojlovic, 1987) 7-8 (Park et al., 2014) 9.2 (Miryam et al., 2000) 12.6 at 20 °C (Manojlovic, 1987) 15 (Ghaly et al., 2009)	10 (Spencer and Spencer, 2006) 12 (Hill, 2002) 15 (Miryam et al., 2000) 19 at 18-21 °C (Cotton, 1927) 34 at 15 °C (Kim et al., 2015)
	Larval stage	57 (Weaver and McFarlane, 1990) 87.7 (Urs and Hopkins, 1973) 110.8 at 30 °C (Koo et al., 2013)	112 (Martin et al., 1976) 120 at 25 °C (Ludwig, 1956) 151.15 (Urs and Hopkins, 1973)	202.5 (Urs and Hopkins, 1973) 216 (Kim et al., 2015; Morales-Ramos et al., 20 240 (Ghaly et al., 2009)
	Larval stage	120 (Hill, 2002) 127 (Kim et al., 2015) 129 (Morales-Ramos et al., 2015a) 143 (Morales-Ramos et al., 2010) 180 (Ghaly et al., 2009) 280 in nature , (Cotton, 1927)	173 at 30 °C (Ludwig, 1956) 180 (Cotton, 1927) 203.3 (Miryam et al., 2000) 241.9 (Park et al., 2014)	244 at 17 °C (Koo et al., 2013) 540 (Hill, 2002) 629 in nature (Cotton, 1927)
	Pupal stage	6 at 27 °C (Cotton, 1927) 6 at 28 °C (Ghaly e Alkoaik, 2009) 6.51 at 27.5 °C (Kim et al., 2015) 7.7 (Urs and Hopkins, 1973)	5-6 (Siemianowska et al., 2013) 7 (Hardouin and Mahoux, 2003) 7.3 (Morales-Ramos et al., 2010) 7.6 (Miryam et al., 2000) 8.9 (Urs and Hopkins, 1973) 9 (Hill, 2002)	10.1 (Urs and Hopkins, 1973) 18 at 18 °C (Cotton, 1927; Ghaly et al., 2009) 20 (Hill, 2002; Kim et al., 2015)
	Adult	16 (Miryam et al., 2000) 25 (Urs and Hopkins, 1973) 30 (Hill, 2002) 37 (Ghaly et al., 2009) 38 (Cotton, 1927)	31.8 (Urs and Hopkins, 1973) 61.5 (Cotton, 1927) 62.05 (Miryam et al., 2000)	60 (Hill, 2002) 94 (Cotton, 1927) 96 (Ghaly et al., 2009) 105 (Urs and Hopkins, 1973) 173 (Miryam et al., 2000)
			11 (Miryam et al., 2000)	

privato

Parametri biologici (*Tenebrio molitor*)

privato
Solo uso

Temperatura

- ✓ minima 10°C
- ✓ ottimale 25-28°C
- ✓ massima 35°C

Umidità relativa

- ✓ ottimale tra 60% e 75%

Dieta

- ✓ carboidrati
- ✓ proteine
- ✓ grassi
- ✓ vitamine
- ✓ acqua

Luce

- ✓ fototropico negativo
- ✓ crescita veloce con 14L: 10D

Densità di popolazione (sovraffollamento)

- ✓ cannibalismo
- ✓ riduzione efficienza e conversione cibo
- ✓ riduzione numero stadi larvali (minore peso larvale)
- ✓ incremento temperatura da metabolismo larvale
- ✓ minore progenie/femmina

Parametri biologici (*Tenebrio molitor*)

privato
Solo uso

Temperatura

- ✓ minima 10°C
- ✓ ottimale 25-28°C
- ✓ massima 35°C

- ➢ Range per uno sviluppo normale: 17 °C e 30 °C
- ➢ Temperature letali (per 24 ore) sono 7-8 °C e 40-44 °C
- ➢ No ovideposizione a < 14° C

Research article

EFFECTS OF LONG-LASTING COLD STORAGE ON *TENEBRIO MOLITOR* LARVAE (COLEOPTERA: TENEBRIONIDAE)

S. ERRICO[1], S. DIMATTEO[1], S. MOLITERNI[1], F. BALDACCHINO[1]

[1]ENEA TRISAIA RESEARCH CENTRE, SS JONICA 106, KM419+500 – 75020 – ROTONDELLA (MT), ITALY.

Risparmio energetico!

Parametri biologici (*Tenebrio molitor*)

privato
Solo uso

Umidità relativa
✓ottimale tra 60% e 75%

- > 75% incrementa il rapporto di crescita (*ma sviluppo di muffe*)
- 30% lenta crescita
- < 20% ovideposizione ridotta
- 13% crescita procede difficilmente
- 12% disseccamento uova

Quando l'ambiente è estremamente secco la larva smette di assumere cibo fino a quando l'umidità ritorna favorevole.

Ps. Apporto di una fonte alimentare umida nella dieta

Parametri biologici (*Tenebrio molitor*)

privato
Solo uso

Luce

✓ fototropico negativo

✓ crescita veloce con 14L: 10D

Risparmio energetico!

- Fototropico negativo con larve grandi e adulti che vengono in superficie al buio.
- Studi recenti hanno dimostrato che lo sviluppo larvale era ottimale in condizioni di lunga giornata, con tempi di sviluppo più bassi raggiunti in condizioni di 14L: 10D (Kim et al., 2015).
- Il tasso di sfarfallamento dipende anche dal fotoperiodo, con il 45,5% a 14L: 10D contro il 24,2% a 10L: 14D.

La risposta al fotoperiodo tende a scomparire in condizioni costanti e *T. molitor* diventa aritmico (Cloudsley-Thompson, 1953).

privato
solo uso

Densità di popolazione (sovraffollamento)

- ✓ cannibalismo
- ✓ riduzione efficienza e conversione cibo
- ✓ riduzione numero stadi larvali (minore peso larvale)
- ✓ incremento temperatura da metabolismo larvale
- ✓ minore progenie/femmina

***Esempio pratico di Densità di popolazione adulta**: vasca 60x40 cm contengono 250 g di adulti (250g/100mg adulto = 2500 adulti); densità pari a 0.96 adulti/cm²*

***Densità larvale:** 1.18 larve/cm2 è considerata lamiglore densità per larve commerciali (Wu, 2009)*

Table 5 - Population density used on the rearing of mealworms

Population density (larvae/cm²)	Tray dimensions (cm)	Area (cm²)	Volume (cm³)	References
0.84				(Morales-Ramos et al., 2012)*
0.5-1.5	11×18×3	198	594	(Connat et al., 1991)*
0.8 -1.45	16×21.5×7	344	2408	(Park et al., 2012)
0.48	48×49.5×10.5	2376	24948	(Park et al., 2014)
0.02	30×15	450		(Spang, 2013)
0.3	17.5×9.3×6.3	163	1025	(Oonincx et al., 2015)
0.3	40×30×25	1200	30000	(Alves et al., 2016)
0.4-0.6	40×17×11	680	7480	(Rho and Lee, 2016)
0.3	10 (diameter) ×28	79	2199	(DICK, 2008)
0.03	60×45×15	2700	40500	(Ghaly et al., 2009)
3.75 – 7.5		600		(Martin et al., 1976)
0.01 – 0.2	10 (diameter)	79		(Tschinkel and Willson, 1971)

privato
Solo uso

Dieta

- ✓ carboidrati
- ✓ proteine
- ✓ grassi
- ✓ vitamine
- ✓ acqua

Fonte di carboidrati:

- Sottoprodotti dell'industria cerealicola (es. crusca)
- Pane

- Il range ottimale per la crescita è 80-85% di carboidrati nella dieta;

- L'ingestione di cibo con solo il 20% di carboidrati si traduce in crescita molto lenta

(*Ref: Fraenkel, 1950*)

Dieta

- ✓ carboidrati
- ✓ **proteine**
- ✓ grassi
- ✓ vitami
- ✓ acqua

Fonte di proteine:

- pannelli proteici
- Lievito

Concentrazione ottimale? (16-20%?)

privato
Solo uso

- Concentrazione e composizione aminoacidica influenzano il ciclo di vita, con benefici diretti sul tempo di sviluppo larvale, sopravvivenza e aumento di peso *(Morales- Ramos et al., 2013; Oonincx et al., 2015; van Broekhoven et al., 2015*).
- Diete che variano di 2-3 volte nella proteina grezza danno luogo a una composizione corporea chimica simile per quanto riguarda le proteine (*van Broekhoven et al., 2015*).
- Treonina e triptofano sono considerati amminoacidi limitanti (*John et al., 1979*).
- Carnitina necessaria per lo sviluppo appropriato di T. molitor (*Hardouin e Mahoux, 2003).*

privato
Solo uso

Dieta

- ✓ carboidrati
- ✓ proteine
- ✓ **grassi**
- ✓ vitamine
- ✓ acq

Fonte di grassi:

- Biscotti
- Pane

- ➢ Concentrazioni superiori all'1% non mostrano benefici su qualsiasi parametro del ciclo di vita *(Fraenkel, 1950).*
- ➢ Concentrazioni superiori al 3% sono un fattore di inibizione *(Martin e Hare, 1942)***.**
- ➢ Il colesterolo è un ingrediente dietetico necessario *(Fraenkel, 1950).*

n.b. Diete ricche di grassi tendono ad agglomerare il substrato e ne risulta una minore aerazione e movimento delle larve tale da interferire negativamente nella respirazione (Alves et al., 2016).

privato
Solo uso

Dieta

- ✓ carboidrati
- ✓ proteine
- ✓ grassi
- ✓ **vitamine**
- ✓

Fonte di vitamine:

- Frutta
- Ortaggi
- Lievito

➢ Vitamine del complesso B sono essenziali e la mancanza di queste vitamine non permettono la crescita *(Leclercq, 1948, Martin e Hare, 1942).*

➢ L'assenza di biotina o di acido pteroilglutammico permette una crescita lenta *(Leclercq, 1948, Martin e Hare, 1942).*

➢ L'aggiunta delle vitamine A, C, D, E, K non mostra alcun effetto benefico (Fraenkel, 1950; Martin and Hare, 1942).

n.b. Dopo che i vermi della farina raggiungono la metà o le dimensioni del corpo intero, non è necessario aggiungere vitamine per completare il ciclo delle larve e pupe (Leclercq, 1948).

Solo uso privato

Dieta

- ✓ carboidrati
- ✓ proteine
- ✓ grassi
- ✓ vitamine
- ✓ **acqua**

Fonte di acqua:

- vegetali
- apporto diretto
- gelificanti (Agar)

Influenza sul costo manodopera

- *T. molitor* può vivere per lunghi periodi in condizioni secche essendo capace di ricavare acqua dagli alimenti e dall'umidità atmosferica.
- La crescita larvale è più veloce su substrati secchi ma con una fonte di acqua a disposizione .

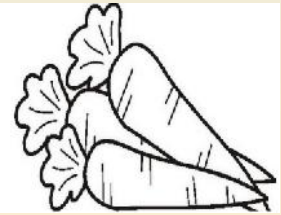
Valorizzazione di sottoprodotti nell'allevamento di Tenebrio molitor

privato
Solo uso

Substrato di allevamento

Componente secca

+



Componente fresca

Sottoprodotto agroindustriale: quali utilizzi alternativi?

Disponibilità:
- Quantità
- Tempi
- Luoghi

Gestibilità
- componente secca (necessaria essiccazione per utilizzo e conservazione)
- componente fresca (scarsa conservabilità)

= Sostenibilità economica

privato
Solo uso

Eterogeneità dei sottoprodotti
=
variabilità nella composizione nutrizionale

Aspetti nutrizionali

- Formulazione
- Appetibilità
- Contenuto proteico
- Proteine/carboidrati
- Contaminanti chimici/biologici
- Fattori antinutrizionali

Indice di conversione e velocità di accrescimento

= **Efficienza**

Aspetti nutrizionali

privato
Solo uso

Composizione nutrizionale di alcuni sottoprodotti testati

Sottoprodotto	Umidità (%)	Ceneri (g/s.s.)	Proteine (g/s.s.)	Grassi (g/s.s.)	Carboidrati (g/s.s.)
Pula di caffè	3,63	9,51	19,96	2,20	68,33
Pane secco	10,37	2,67	13,60	1,74	81,99
Lievito secco	3,76	4,95	42,14	4,82	48,09
Crusca	11,34	5,33	15,49	4,97	74,21
Trebbia secca	7,78	5,49	17,53	6,07	70,92

Valutazione di diete a base di sottoprodotti agroindustriali

Solo uso privato

Risultati su accrescimento larvale

Dieta	Proteine (%)	Growth rate
Crusca + Lievito	16,93	3.7909 a
Trebbia + Lievito	18,81	3.0021 b
Pane + Lievito	15,13	2.9497 b
Caffè + Lievito	21,06	0.9546 c

Risultati su accrescimento larvale

Dieta	Proteine (%)	Growth rate
Crusca + Pane (1:1) + Lievito	16,02	3.51604 a
Pane + Trebbia (1:1) + Lievito	16,99	3.42650 ab
Crusca + Trebbia (1:2) + Lievito	18,19	3.11221 c
Crusca + Caffè (1:1) + Lievito	19,08	2.80095 d
Pane + Caffè (1:1) + Lievito	18,20	2.75947 d
Trebbia + Caffè (2:1) + Lievito	19,59	2.60160 e

Influenza della dieta sulla qualità delle larve: risultati preliminari tramite NMR

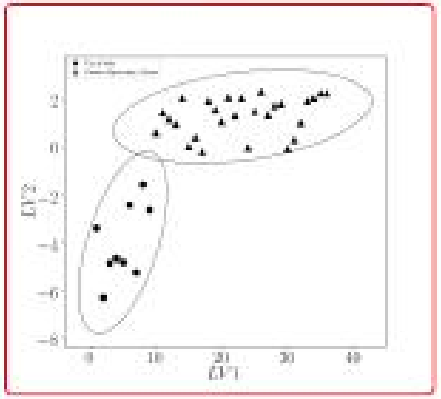
EntomoNMR: APPROCCIO PRELIMINARE ALLO STUDIO NMR DI NUOVI ALIMENTI A BASE DI INSETTI.

R. Lamanna, F. Baldacchino, S. Dimatteo, S. Molitemi

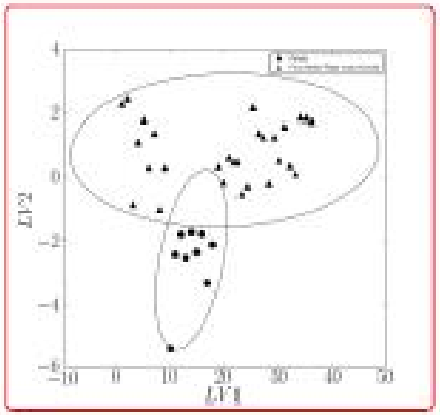
ENEA – Dip. Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali - C.R. Trisaia S.S. 106 Jonica, Km 419.5 Rotondella (MT) Email: raffaele.lamanna@enea.it

Fico d'India

δ	F	Ass
4.18	115.2	GPC
4.21	28.1	GPC
5.92	26.6	
6.08	19.9	
6.83	25.5	5' AMP
7.97	19.8	
8.09	26.6	

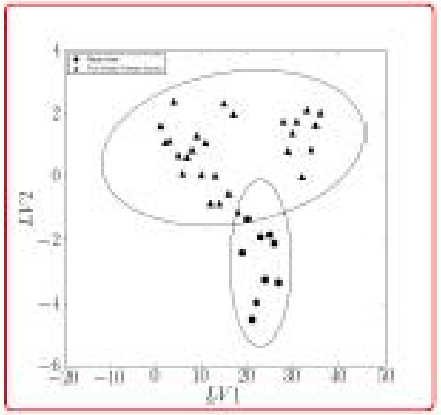


Pancia

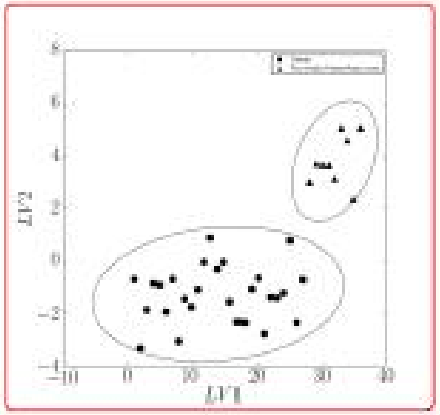


δ	F	Ass
2.71	12.3	Citrato
2.72	11.6	Citrato
2.75	18.0	DMA
3.28	10.8	
3.90	29.4	Betaine
7.28	20.8	Trp
7.75	28.3	Trp

δ	F	Ass
2.88	18.0	
2.31	23.4	Pro
4.22	27.64	
7.25	23.1	Trp
7.98	25.28	



Rapa Rossa



Carota

δ	F	Ass
3.74	13.3	
4.21	17.7	
4.27	39.3	
4.38	36.9	
4.46	19.5	
4.54	12.5	
5.92	17.5	
6.75	12.5	

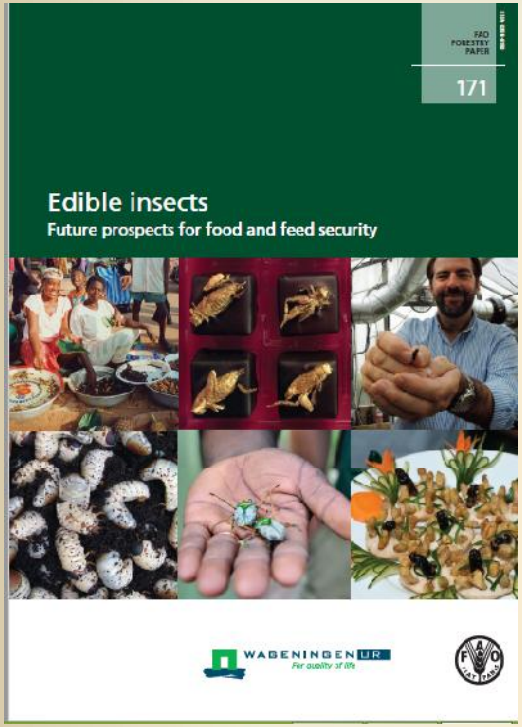
VI Workshop "Applicazioni della Risonanza Magnetica nella Scienza degli Alimenti"

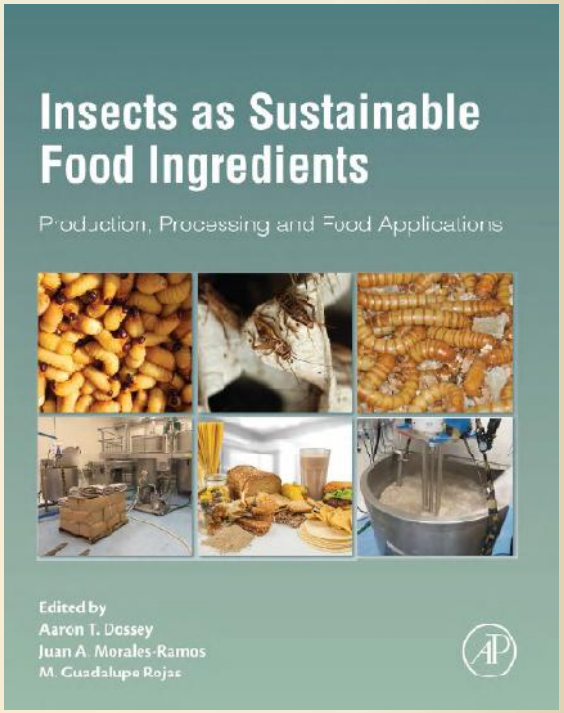
Sapienza Università di Roma, 21-22 Giugno 2018

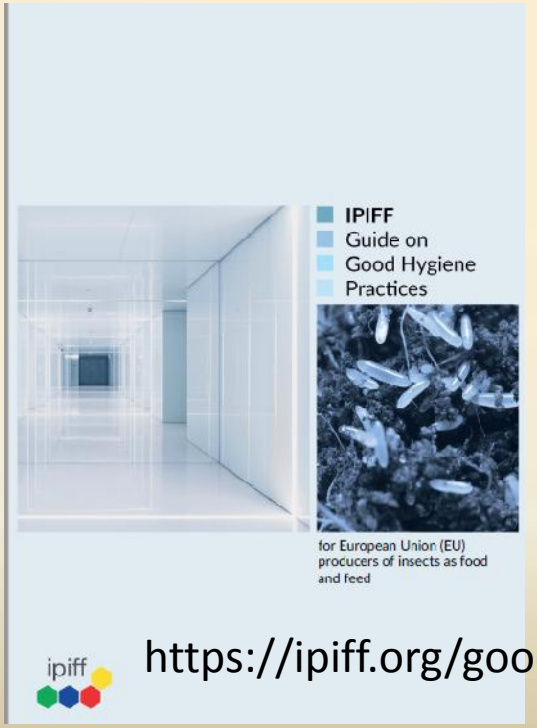
uso privato

L'allevamento di insetti: approfondimenti bibliografici

privato
uso
solo







https://ipiff.org/good-hygiene-practices/