

铃木氏果蝇未成熟期各虫态的形态学研究*

陈晓^{1,2**} 吴道慧^{1,2**} 张立敏^{1,2} 咎庆安^{1,2}
张峰^{3,4} 肖春^{1,2} 李正跃^{1,2***}

(1. 云南农业大学植物保护学院, 农业生物多样性与病虫害控制教育部重点实验室, 昆明 650201;

2. 云南省农业生物多样性利用与保护重点实验室, 昆明 650201; 3. 中国农业科学院植物保护研究所/农业部-CABI 生物安全联合实验室, 北京 100193; 4. CABI 东亚中心, 北京 100081)

摘要 【目的】通过完善铃木氏果蝇 *Drosophila suzukii* (Matsumura) 未成熟期的形态学研究, 为双翅目果蝇科未成熟期的形态学及铃木氏果蝇的生物学、生态学及田间综合防治研究提供理论基础。【方法】在解剖镜下详细观察了卵、幼虫、蛹 3 个虫态的发育变化过程, 使用解剖镜自带测量尺对该虫的卵粒长宽、不同龄期的幼虫体长宽及骨化结构长度、蛹粒长宽进行了测量。【结果】卵期观察到了 3 个标志阶段: 初产卵、预孵卵、破壳卵; 卵粒长 0.57~0.61 mm, 宽 0.18~0.21 mm, 且具有两条长于卵粒长度的呼吸丝。幼虫期通过 Crosby 生长法则验证幼虫的骨化结构长度指数均小于 0.1, 说明幼虫龄期划分为 3 龄是合理的; 1~3 龄的幼虫平均体长宽分别为 0.72 mm×0.23 mm、2.17 mm×0.51 mm、4.06 mm×0.94 mm, 相邻龄期的体长宽范围较为接近, 其中 1 龄与 2 龄幼虫的体宽范围有重复; 1~3 龄的口钩平均长度分别为 0.08、0.15、0.24 mm, 头咽骨平均长度分别为 0.04、0.08、0.16 mm, 相邻龄期的口钩、头咽骨长度范围无重复; 同时, 对比了不同龄期幼虫的形态差异。蛹期观察到了 2 个标志阶段: 预蛹、蛹; 蛹粒长为 3.1~4.1 mm, 宽为 0.9~1.3 mm, 且具有两个呼吸角。【结论】本文详述了铃木氏果蝇从卵至蛹羽化为成虫的全过程以及未成熟期各虫态的形态特征, 测量了幼虫骨化结构的长度作为龄期划分的精确依据, 提出了通过观察体长宽、体色、体形、骨化结构及后气门的形态差异对幼虫龄期进行快速粗划分的方法。

关键词 铃木氏果蝇, 卵, 幼虫, 蛹, 形态学, 龄期划分, Crosby 生长法则

Morphological study of immature stages of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae)

CHEN Xiao^{1,2**} WU Dao-Hui^{1,2**} ZHANG Li-Min^{1,2} ZAN Qing-An^{1,2}
ZHANG Feng^{3,4} XIAO Chun^{1,2} LI Zheng-Yue^{1,2***}

(1. Key Laboratory of Agro-Biodiversity and Pest Management of Education Ministry of China, College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Key Laboratory of Agro-Biodiversity and Conservation, Kunming 650201, China; 3. MoA-CABI Joint Laboratory for Bio-safety/Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 4. CABI East Asia, Beijing 100081, China)

Abstract 【Objectives】To provide further information on the morphology of the Drosophilidae and, in particular, improve understanding of the biology, ecology, and IPM, of the immature stages of *Drosophila suzukii*. 【Methods】The development of eggs, larvae and pupae was observed under an anatomical lens, and a measuring scale on the lens was used to measure the length and width of eggs, and the bodies and skeletons of different larval instars and pupae. 【Results】Three distinct phases: the primiparous, pre-hatching, and hatching phases, were observed during the egg stage. *D. suzukii* eggs are 0.57-0.61 mm long and 0.18-0.21 mm wide. The two respiratory filaments are longer than the egg. Larval instars could be divided into three

*资助项目 Supported projects: 欧盟第 7 框架项目-欧洲果树主要病虫害的高效实用创新型综合治理技术和策略研究 (Dropsa, 613678)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: ynau_chenxiao@126.com; 459687634@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: lizhengyue@ynau.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-07-20, 接受日期 Accepted: 2016-11-04

stages on the basis of mouth hook and cephalopharyngeal skeleton length. "Crosby Rules" verified that the Crosby ratios of these measurements were less than 0.1, so it was reasonable to divide larvae into three different instars on this basis. The average length and width of the bodies of the different larval instars were 0.72 mm×0.23 mm, 2.17 mm×0.51 mm and 4.06 mm × 0.94 mm, respectively. The ranges of body length and width measurements among the different larval instars was close; those of the 1st and 2nd larval instars were overlapping. The average length of the mouth hooks of the different larval instars was 0.08, 0.15 and 0.24 mm, respectively. The average length of cephalopharyngeal skeleton of the different larval instars was 0.04, 0.08 and 0.16 mm, respectively. The ranges of mouth hook and cephalopharyngeal skeleton length measurements differed between larval instars. Two marked phases were observed in pupae: namely the prepupal, and pupal stages. *D. suzukii* pupae are 3.1-4.1 mm long and 0.9-1.3 mm wide. Pupae have two respiratory horns on the top. **[Conclusion]** The entire developmental process of *Drosophila suzukii*, from egg to eclosion, and the morphological characteristics of different immature life stages, were described in detail. Accurate criteria for classifying larval instars were established, although a rapid and approximate classification can be achieved on the basis of body length and width, color, shape, and skeleton and spiracle structure.

Key words *Drosophila suzukii*, egg, larva, pupa, morphology, larval instars dividing, Crosby rules

铃木氏果蝇 *Drosophila suzukii* Matsumura 属于全变态类昆虫, 一生包括卵、幼虫、蛹和成虫四个阶段。成虫优先选择成熟的水果进行产卵 (Kanzawa, 1939), 幼虫孵化后直接在寄主内进行蛀食直至老熟化蛹, 致使水果内布满取食隧道和代谢粪便, 对水果的食用和经济价值造成严重损失。已有研究表明利用幼虫或蛹寄生蜂可有效控制黑腹果蝇的危害 (Kraaijeveld and Godfray, 1997, 2003), 但是幼虫龄期的不同会导致寄生蜂寄生率产生差异 (Petitt and Wietlisbach, 1993), 蛹个体大小和日龄的不同均会影响寄生蜂寄生率及后代个体大小、性比等 (段毕升等, 2012; 周和锋等, 2014)。因此, 铃木氏果蝇作为黑腹果蝇的复合广布种之一 (钱远槐等, 2006), 其未成熟期的形态学研究对生防策略的制定及改进尤为重要。

目前对铃木氏果蝇的形态描述多集中于成虫上, 而对卵、幼虫和蛹的描述不够全面。主要因为成虫的形态特征明显, 可鉴定到种且在田间容易诱捕获得, 而未成熟期需要在水果内完成生长发育, 具有较强隐蔽性; 对个体极小的卵、幼虫、蛹的描述仅局限于某个时间点, 并未根据其生长发育过程进行详细的研究。其中, 幼虫龄期的划分作为未成熟期研究中的重点, 以体长宽量化或通过是否有蜕皮进行幼虫龄期划分存在缺陷, 因为虫体的活动、取食量或食物营养成分的不同均会影响幼虫体长宽的实际测量, 虫体过小

且蜕下的皮呈半透明状不易找到。

本研究针对以上研究中的不足, 对铃木氏果蝇未成熟期各虫态生长发育过程中的形态变化进行了详细观察记录, 并结合 Petitt (1990) 提出的通过骨化结构长度划分潜蝇幼虫龄期的方法, 对铃木氏果蝇幼虫口钩、头咽骨长度进行了测量, 虽然两者同属双翅目环裂亚目, 但铃木氏果蝇幼虫的骨化结构与潜蝇幼虫不同, 因此, 本研究针对铃木氏果蝇幼虫的骨化结构制定出新的测量方法作为果蝇幼虫龄期划分的精确依据。本文还对比了不同龄期幼虫的形态特征, 提出了通过观察体长宽、体色、体形、骨化结构及后气门的形态差异对幼虫龄期进行快速粗划分的方法。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及饲养

2014—2015 年, 每年 5—8 月, 分别在云南省红河州石屏县杨梅园、昆明市云南农业大学后山、曲靖市郊区蓝莓园通过使用糖醋酒液诱集果蝇成虫, 将鉴定为铃木氏果蝇的雌雄成虫统一放入有机玻璃箱 (规格: 38 cm×38 cm×38 cm), 在人工气候箱中饲养 [温度 (25±0.5) °C, 湿度 75%±5%, 光暗比 14L: 10D, 箱内安装白炽灯 1 个], 以香蕉为供给食物和产卵场所, 每天更换新鲜香蕉。

1.2 卵的取样和孵化过程观察

每天取出的香蕉立即在解剖镜下观察是否有卵, 并做好标记, 在解剖镜下进行检查, 每隔 2 h 观察一次, 待卵粒透明度增加出现皱褶, 直至被标记的卵粒孵化, 观察卵数至少为 30 粒。2~3 d 内在香蕉里面会出现若干幼虫, 若香蕉未变质可继续饲养幼虫, 若香蕉有霉变现象, 则及时将幼虫转移到新鲜的香蕉上。饲养条件同 1.1。

1.3 幼虫指标测量

在培养皿(直径 3 cm)中称取 3 g 香蕉后, 用尖头镊将初孵幼虫置于香蕉上, 每皿 1 头, 再将培养皿置于玻璃烧杯(规格 100 mL)中, 用 Parafilm 封口膜封烧杯口并扎孔, 烧杯上分别标记编号。每天按照编号顺序, 1 龄、2 龄幼虫蜕下的骨化结构可在解剖镜下收集, 而 3 龄幼虫的骨化结构则需要处死幼虫后收集。将观察记录过的幼虫再次放入对应编号的烧杯中, 直到老熟化蛹。在目镜型号为 WF20X/12 mm、物镜为 4 倍的解剖镜下用自带测量尺测量口钩、头咽骨的长度; 在物镜为 0.8 倍的解剖镜下测量幼虫体长宽。不同龄期下的幼虫各项指标测量样本数均为 50 头。

1.4 蛹的取样和羽化过程观察

老熟幼虫预备化蛹时, 每 2 h 拍照观察一次, 待预蛹完毕后则是每天 22:00 定时拍照观察, 直至羽化, 至少观察 30 粒蛹。

1.5 数据统计与分析

Brooks' (Dyar's) 法则指出, 昆虫幼虫骨化结构长度的对数值与龄期之间存在线性关系 (Crosby, 1973), 根据 Crosby 生长法则的经验公式用于对幼虫龄数划分进行验证, Crosby 指数大于 0.1 则表示龄期划分不合理 (Craig, 1975)。

$$\text{实际测量值} = \frac{\text{目镜观测值}}{1.4 \times \text{物镜倍数}}。$$

所测幼虫的口钩、头咽骨长度数据通过如下

公式进行计算分析:

$$\text{Brooks} = \frac{x_n}{x_{n-1}} \quad (x_n \text{ 和 } x_{n-1} \text{ 分别表示第 } n \text{ 和第 } n-1 \text{ 龄幼虫各测量指标的平均值}),$$

$$\text{Crosby} = \frac{b_n - b_{n-1}}{b_{n-1}} \quad (b_n \text{ 和 } b_{n-1} \text{ 分别表示第 } n \text{ 和第 } n-1 \text{ 个 Brooks 指数})。$$

应用 SPSS 22.0 对数据进行统计, 并用 Duncan's 新复极差法对各项指标进行显著性差异分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 铃木氏果蝇卵及其孵化过程

铃木氏果蝇的卵分为 3 个标志阶段: 初产卵、预孵卵、破壳卵。在 25℃ 下, 从初产卵发育至预孵卵约 0.5 d, 从预孵卵再发育至初孵幼虫约 0.3 d。卵长 0.57~0.61 mm, 宽 0.18~0.21 mm, 顶端有 2 条丝状物为呼吸管。初产卵表面光滑具光泽, 呈乳白色、长椭圆形 (图 1:A); 预孵卵表面出现皱褶, 透明度增加, 可观察到低龄幼虫虫体雏形及骨化结构 (图 1:B); 卵即将孵化时, 幼虫虫体开始伸缩, 初孵幼虫从卵粒顶端钻出 (图 1:C), 最后留下空卵壳 (图 1:D)。

2.2 铃木氏果蝇幼虫龄期划分及其特征变化

2.2.1 铃木氏果蝇幼虫龄期划分 在 20×4 倍的解剖镜下对铃木氏果蝇幼虫不同龄期的骨化结构长度进行测量 (图 2)。在 25℃ 下, 铃木氏果蝇幼虫各龄期骨化结构长度均随着龄期的增长而增长, 1 至 3 龄幼虫的口钩平均长度分别为 0.08、0.15、0.24 mm, 头咽骨平均长度分别为 0.04、0.08、0.16 mm, 相邻龄期的幼虫口钩与头咽骨的长度范围无重复。将上述相关数据进行统计分析并整理为表 1, 结果表明骨化结构的 Crosby 指数均小于 0.1, 说明幼虫龄期划分为 3 龄是合理的。口钩、头咽骨平均长度的对数值与龄期可拟合成直线关系 (图 3), 由此可知, 幼虫的骨化结构长度作为果蝇龄期划分的指标是准确的。

2.2.2 铃木氏果蝇幼虫各龄期特征 在 25℃

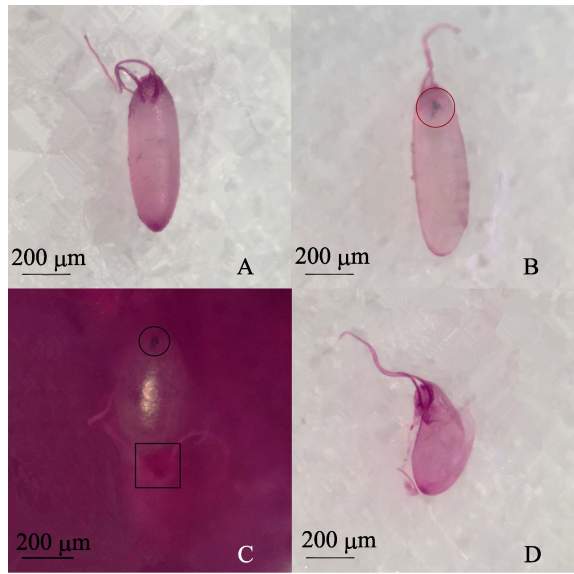


图 1 铃木氏果蝇卵及其孵化过程

Fig. 1 Hatching stages of *Drosophila suzukii* egg

- A. 初产卵（经染色处理）；B. 预孵卵（圆圈处为口钩）；
C. 破壳卵（圆圈处为口钩；正方形处为卵粒顶端）；
D. 孵化后的卵壳（经染色处理）。
- A. Primiparous egg (after dyeing treatment); B. Prehatch egg (the circle where is mouth hook); C. Shell-breaking egg (the circle where is mouth hook; the square where is the top of egg); D. The empty shell after hatching (after dyeing treatment).

下，铃木氏果蝇 1 龄幼虫的历期约 1 d，2 龄幼虫的历期约 2 d，3 龄幼虫的历期约 4 d。上述 2.2.1 中通过幼虫的骨化结构长度确定了幼虫 3

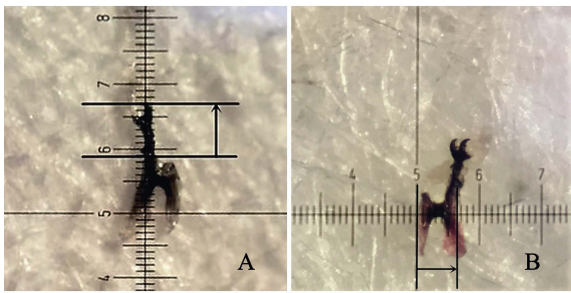


图 2 铃木氏果蝇幼虫口钩、头咽骨的测量

Fig. 2 Measurement of mouth hook and cephalopharyngeal skeletons of *Drosophila suzukii* larva

- A. 口钩长度的测量；B. 头咽骨长度的测量。
- A. Measurement of mouth hook of *D. suzukii* larva; B. Measurement of cephalopharyngeal skeletons of *D. suzukii* larva.

个龄期的划分，同时发现不同龄期间存在着较大的形态差异，因此可根据幼虫的体长宽、体色、体形、骨化结构及后气门的形态差异，对幼虫的不同龄期进行快速粗划分。其中，幼虫的体长宽及其相关数据整理为表 2，结果表明，体长宽随着幼虫龄期的增长而增长，平均体长宽分别为 0.72 mm×0.23 mm、2.17 mm×0.51 mm、4.06 mm×0.94 mm，相邻幼虫龄期的体长宽范围较为接近，其中 1 龄与 2 龄幼虫的体宽范围有重复；不同龄期的幼虫具体形态特征详见表 3。

表 1 铃木氏果蝇幼虫各龄期的口钩、头咽骨长度及统计分析结果

Table 1 Statistics of mouth hook and cephalopharyngeal skeletons length of different larval instars of *Drosophila suzukii*

各测量指标 Different measurement index	样本数 <i>n</i>	幼虫龄期 Instars	均值 (μm) Mean±SE	范围 (μm) Range	Brooks 指数 Brooks' ratio	Crosby 指数 Crosby's ration	拟合结果 Fitting result
口钩长 Mouth hook length	50	1 st	79.29±1.46c	71.43 - 107.14			$Y_1=0.239X+1.666$
		2 nd	145.00±2.02b	125.00 - 178.57	1.83		$R^2=0.997$
		3 rd	239.29±2.70a	214.29 - 267.86	1.65	- 0.10	$P < 0.05$
头咽骨长 Cephalopharyngeal skeletons length	50	1 st	38.20±1.91c	17.86 - 53.57			$Y_2=0.305X+1.289$
		2 nd	84.60±1.83b	71.43 - 107.14	2.21		$R^2=0.994$
		3 rd	156.10±3.71a	125.00 - 196.43	1.84	- 0.17	$P < 0.05$

X：龄期；Y₁：口钩长度的对数值；Y₂：头咽骨长度的对数值。表中数据为平均数±标准误。同列数据后标有不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。表 2 同。

X: Larval instars; Y₁: Logarithm of average length of mouth hook; Y₂: Logarithm of average length of cephalopharyngeal skeletons.

Data in the table are mean±SE, and followed by different lowercase letters in the same column indicate significant difference at the 0.05 level by Duncan's new multiple range test. The same as Table 2.

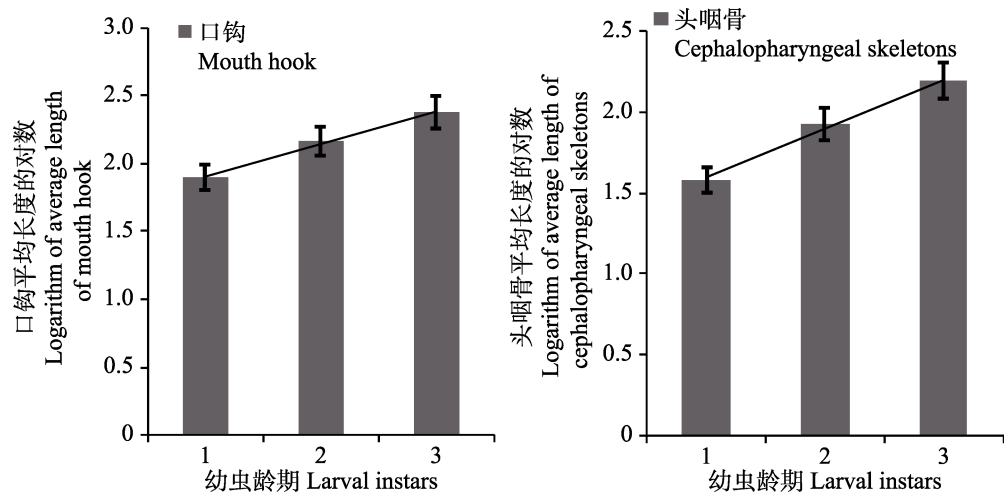


图 3 铃木氏果蝇幼虫口钩及头咽骨平均长度的对数与龄期之间的关系图

Fig. 3 Linear regression between the logarithm of average length of mouth hooks and cephalopharyngeal skeletons and different larval instars of *Drosophila suzukii*

表 2 铃木氏果蝇幼虫各龄期的体长和体宽及统计分析结果

Table 2 Statistics of larva body length and width of different larval instars of *Drosophila suzukii*

各测量指标	样本数	幼虫龄期	均值 (μm)	范围 (μm)	F	P
Different measurement index	n	Instars	Mean±SE	Range		
体长 Larva body length	50	1 st	721.43±26.12c	446.43 - 1 071.43	1 184.55	< 0.05
		2 nd	2 166.07±67.48b	1 160.71 - 3 035.71		
		3 rd	4 064.29±43.39a	3 392.86 - 4 642.86		
体宽 Larva body width	50	1 st	228.57±9.07c	178.57 - 357.14	900.96	< 0.05
		2 nd	510.71±15.42b	357.14 - 714.29		
		3 rd	944.64±10.64a	803.57 - 1 071.43		

表 3 铃木氏果蝇幼虫不同龄期的形态差异

Table 3 Morphological characteristics of different larval instars of *Drosophila suzukii*

幼虫龄期	体色	体形	骨化结构	后气门
Instars	Body color	Body shape	Skeletons structure	Spiracle
1 龄 1 st instar	半透明 Almost translucent	形似卵粒, 近椭圆形 (图 4) Almost oval (Fig. 4)	口钩比头咽骨颜色深, 两者较为薄弱, 可连同幼虫皮蜕下 (图 5) The color of mouth hook is darker than cephalopharyngeal skeletons, both are weakness and with ecdysis (Fig. 5)	不易观察到 Difficult to observe
2 龄 2 nd instar	近乳白色 Almost milk white	近梭形 (图 4) Almost fusiform (Fig. 4)	口钩与头咽骨颜色接近, 可连同幼虫皮蜕下 (图 5) The color of mouth hook is close to cephalopharyngeal skeletons, both could be with ecdysis (Fig. 5)	不易观察到 Difficult to observe
3 龄 3 rd instar	乳白色偏淡黄 Milk white but a little yellow	梭形 (图 4) Fusiform (Fig. 4)	口钩与头咽骨颜色一致, 连同虫体一起或在羽化后的蛹壳中可观察到 (图 5) The color of mouth hook is the same as cephalopharyngeal skeletons, both could be observed with larvae bodies or in the puparium after eclosion (Fig. 5)	呈浅棕色, 有多个小开口 (图 6) It could be easily observed, and there are much pale brown opened (Fig. 6).

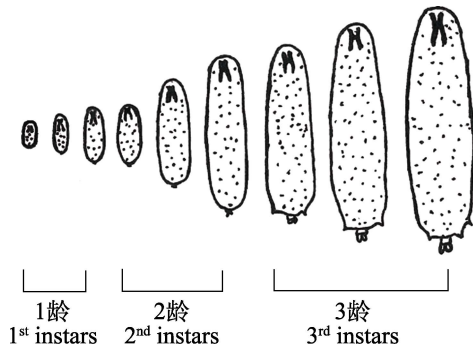


图 4 铃木氏果蝇不同龄期幼虫体形
Fig. 4 The shape of different larval instars of *Drosophila suzukii*

2.3 铃木氏果蝇化蛹及其羽化的过程

铃木氏果蝇的蛹分为 2 个标志阶段：预蛹、

蛹。在 25℃ 下，从老熟幼虫发育至预蛹约 0.3 d，发育至复眼出现约 3 d，发育至翅膀出现约 4 d；而从蛹发育至成虫羽化约 5 d。蛹长为 3.1~4.1 mm，宽为 0.9~1.3 mm。初期呈乳白色，中期颜色逐渐变黄，末期转变为黄褐色或红褐色，一般蛹体发黑均是已死亡。

2.3.1 老熟幼虫形态特征 老熟幼虫口钩两侧呈现蛹呼吸管的雏形(图 7:A)，虫体较为强壮，肉眼可观察，体色近乳白色(图 7:B)，喜好在果肉内进行钻蛀取食。幼虫老熟预备化蛹时，停止进食，呼吸管和后气门逐渐伸出体外(图 7:C)。老熟幼虫一般从果肉中爬出后掉落或者一半虫体嵌入果肉中进行化蛹。

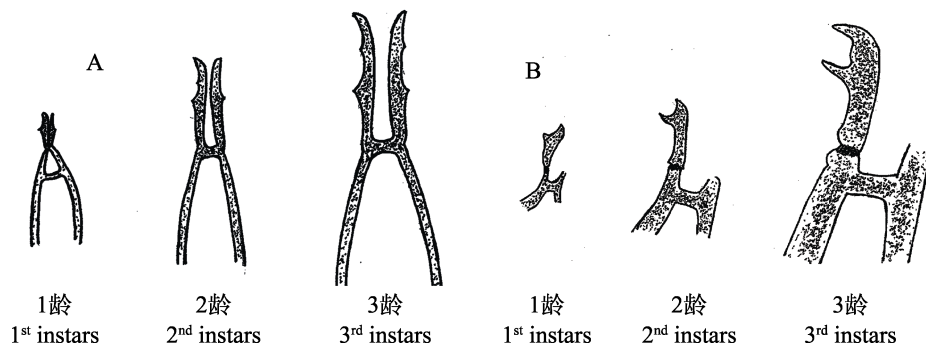


图 5 铃木氏果蝇不同龄期幼虫的口钩及头咽骨
Fig. 5 Mouth hooks and cephalopharyngeal skeletons of different larval instars of *Drosophila suzukii*

A. 1 龄、2 龄、3 龄幼虫口钩正视图；B. 1 龄、2 龄、3 龄幼虫口钩侧视图。
A. Front view of mouth hooks and cephalopharyngeal skeletons of different larval instars of *D. suzukii*;
B. Side view of mouth hooks and cephalopharyngeal skeletons of different larval instars of *D. suzukii*.

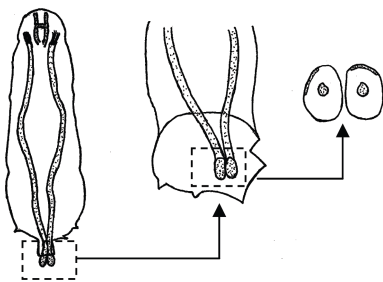


图 6 铃木氏果蝇 3 龄幼虫后气门示意图
Fig. 6 Spiracle of 3rd instars larva of *Drosophila suzukii*

2.3.2 预蛹期形态特征 虫体皱缩并活动减少，体节之间出现明显的凹陷，口钩完全收缩至体内，伸出体外的呼吸管逐渐打开(图 7:D)，体色呈现小面积淡黄色，老熟幼虫虫体的蜕皮逐渐

硬化为初期蛹壳(图 7:E)。

2.3.3 蛹期形态特征 虫体收缩呈梭形，顶端呼吸管完全打开，尾端后气门完全伸出且呈 V 字状，随着时间的推移，蛹壳颜色加深呈浅棕黄色，可肉眼观察到复眼的形成(图 7:F)；随后复眼的颜色变至为深红色，形状凸起，体色变深且体两侧出现翅(图 7:G)，羽化前口钩完全脱离幼虫虫体并紧紧粘附在蛹壳里，蛹内表皮与虫体完全分开。

2.3.4 羽化 蛹壳前部裂开为羽化孔，即成虫羽化通道(图 7:H)；虫体顶开羽化孔，爬出蛹壳，刚羽化的成虫体型纤长，翅未完全展开，依靠爬行进行活动(图 7:I)。

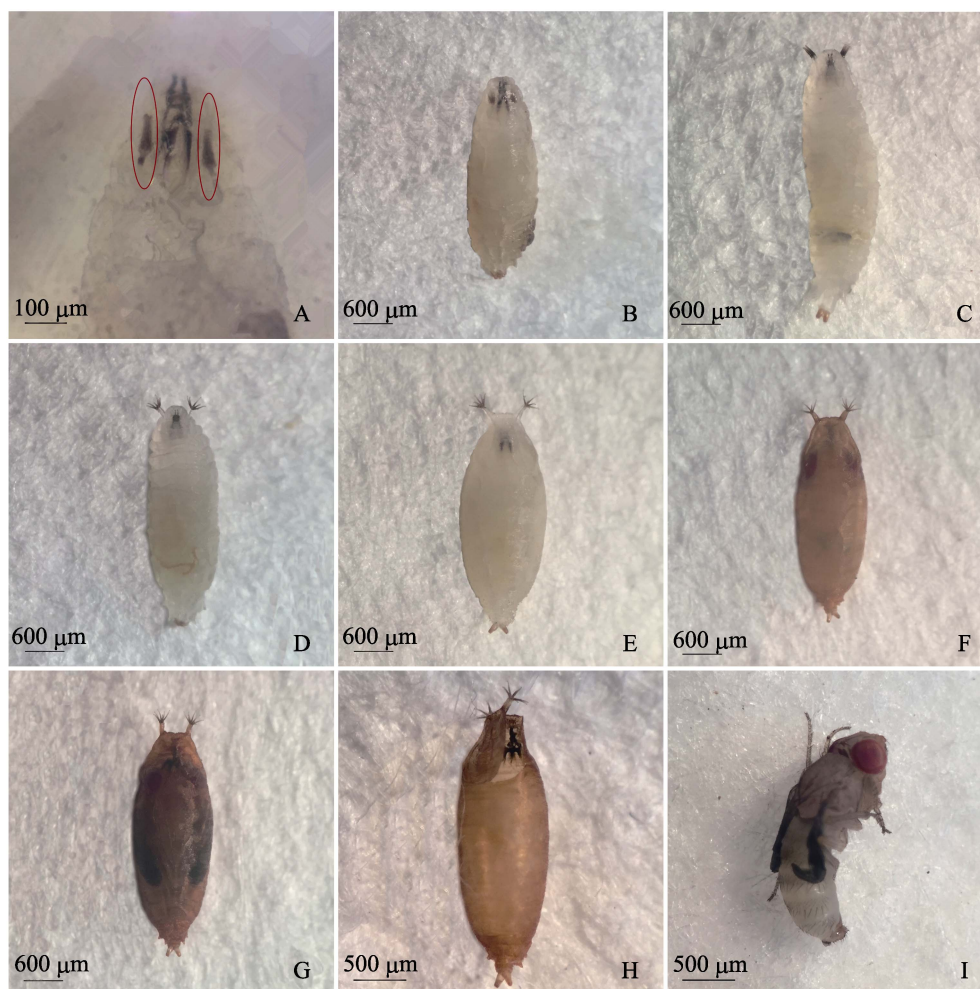


图 7 铃木氏果蝇老熟幼虫与蛹发育、羽化的标志阶段

Fig. 7 Development and eclosion of larva and pupa of *Drosophila sukuzii*

A. 呼吸管; B, C. 老熟幼虫; D, E. 预蛹; F, G. 蛹; H. 羽化后的蛹壳; I. 刚羽化成虫。

A. Breathing tube; B, C. Mature larva; D, E. Prepupa; F, G. Pupa; H. Empty pupa shell after eclosion; I. Adult after eclosion.

3 结论与讨论

目前,相关文献中对铃木氏果蝇未成熟期的描述较为简略。Kanzawa (1939) 描述铃木氏果蝇的卵呈长椭圆形,白色,平均长宽为 $0.62 \text{ mm} \times 0.18 \text{ mm}$,有 2 条细丝用于呼吸,平均长为 0.67 mm ,长度均长于其卵粒长;Okada (1968) 补充描述了黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 也有 2 条呼吸丝,但长度均短于其卵粒长,其他果蝇一般有 4 条或更多的呼吸丝。上述形态观察与本研究所描述基本一致,但未提及卵粒的孵化过程及形态变化,本研究则在 20×4 倍的解剖镜下拍照观察了卵粒孵化过程中的 3 个标志阶段:初

产卵、预孵卵、破壳卵。

Kanzawa (1939) 描述铃木氏果蝇的幼虫呈乳白色,分为 3 个龄期,每个龄期的平均体长宽依次为 $0.67 \text{ mm} \times 0.17 \text{ mm}$ 、 $2.13 \text{ mm} \times 0.40 \text{ mm}$ 、 $3.94 \text{ mm} \times 0.88 \text{ mm}$,是以幼虫体长宽的变化来表现幼虫龄期的不同。若选用活虫测量,因为果蝇幼虫为钻蛀型,受虫体的伸缩动作影响,体长测量误差较大,而对体宽影响较小;若选用处死后的幼虫,处死方式不当会造成幼虫做出应激反应,造成虫体不可逆收缩,对体长宽的测量均会造成影响。本研究中测定的幼虫 3 个龄期体长和宽分别为 $0.72 \text{ mm} \times 0.23 \text{ mm}$ 、 $2.17 \text{ mm} \times 0.51 \text{ mm}$ 、 $4.06 \text{ mm} \times 0.94 \text{ mm}$,均大于 Kanzawa (1939) 报

道的测量值,导致这种结果的原因可能是因为饲喂的食物中营养成分不同而造成。

因为骨化结构几乎不会受到外界环境的影响,组成物质和结构也很稳定,所以根据骨化结构的长度能够对果蝇科幼虫的龄期进行十分准确地划分。本研究中测定的铃木氏果蝇口钩和头咽骨的 Crosby 指数均小于 0.1,符合 Crosby 生长法则,即铃木氏果蝇幼虫龄期划分为 3 个是准确的。虽然不同龄期之间的口钩长度范围及头咽骨长度范围均无重复,但是以谨慎的角度出发,同时测量口钩和头咽骨长度可避免龄期划分有误。采用 Crosby 法则虽能够准确划分幼虫龄期但需要收集蜕皮或处死幼虫后进行,蜕皮呈半透明不易获得,处死方法则需要筛选,以尽可能避免破坏骨化结构原本的形状对测量造成误差;通过幼虫在体色、体形、骨化结构、后气门的形态差异可进行龄期的快速粗划分,这种方法则不需要对幼虫进行处死。因此,在关于铃木氏果蝇幼虫的后续深入研究中,可根据实际情况灵活选用龄期划分方法。

Kanzawa (1939) 描述铃木氏果蝇的蛹呈棕色,平均长宽分别为 3 mm×1 mm,具有两个角状呼吸管,且每个呼吸管分为 7~8 个小分支。上述观察与本研究所描述基本一致,但未描述从老熟幼虫直至羽化的整个循序渐进的发育过程,本研究则描述了铃木氏果蝇蛹期的 2 个标志阶段:预蛹、蛹。在双翅目昆虫的蛹期均存在多种寄生蜂,对蛹期的形态发育及生物特性等深入研究可为寻找寄生蜂有效控制其危害奠定基础。铃木氏果蝇是黑腹果蝇的复合广布种之一,以黑腹果蝇为例,蝇蛹金小蜂是其蛹期寄生蜂,在对杨梅园等果园的黑腹果蝇防治上具有重要的应用前景(段毕升等,2012)。

本研究通过测量幼虫骨化结构的长度作为龄期划分的精确依据,同时,对未成熟期各虫态的形态发育做出详细描述,为铃木氏果蝇生物学特性以及研究该虫与天敌之间的互作机理奠定基础。除此之外,双翅目不同昆虫的未成熟阶段的形态具有一定的差异,本研究结果对补充双翅目果蝇科昆虫变态发育的过程具有重要意

义,后续研究可以在此基础上进行更为系统的深入。

参考文献 (References)

- Craig DA, 1975. The larvae of Tahitian Simuliidae (Diptera: Nematocera). *Journal of Medical Entomology*, 12(4): 463–476.
- Crosby TK, 1973. Dyar's rule predated by Brooks' rule. *New Zealand Entomologist*, 5(2): 175–176.
- Duan BS, Zheng JT, Fang L, Hu HY, Zhang TX, Zhou HF, Lu T, 2012. Parasitic behavior of *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani to fruit fly pupae. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 33(6): 1111–1115. [段毕升, 郑金土, 方磊, 胡好远, 张同心, 周和锋, 陆艇, 2012. 蝇蛹金小蜂对黑腹果蝇蛹的寄生习性. 热带作物学报, 33(6): 1111–1115.]
- Kanzawa T, 1939. Studies on *Drosophila suzukii* Mats. Kofu: Yamanashi Agriculture Export Station. 49.
- Kraaijeveld AR, Godfray HC, 1997. Trade-off between parasitoid resistance and larval competitive ability in *Drosophila melanogaster*. *Nature*, 389(6648): 278–280.
- Kraaijeveld AR, Godfray HC, 2003. Potential life-history costs of parasitoid avoidance in *Drosophila melanogaster*. *Evolutionary Ecology Research*, 5(8): 1251–1261.
- Okada T, 1968. Systematic Study of the Early Stages of Drosophilidae. Tokyo: Bunka Zugsisha Co. 188.
- Petitt FL, 1990. Distinguishing larval instars of the vegetable leafminer, *Liriomyza sativae* (Diptera: Agromyzidae). *Florida Entomologist*, 73(2): 280–286.
- Petitt FL, Wietlisbach DO, 1993. Effects of host instar and size on parasitization efficiency and life history parameters of *Opius dissitus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 66(3): 227–236.
- Qian YH, Liu YL, Li ST, Yang Y, Zeng QT, 2006. Compact and distribution of the *Drosophila melanogaster* species group from China. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 28(4): 397–402. [钱远槐, 刘艳玲, 李守涛, 杨勇, 曾庆韬, 2006. 中国黑腹果蝇种组的组成与分布. 湖北大学学报(自然科学版), 28(4): 397–402.]
- Zhou HF, Zheng JT, Zhang TX, Xu YJ, Chen ZM, Duan BS, Hu HY, 2014. Comparative studies on parasitism of *Pachycrepoideus vindemmiae* (Rondani) reared on housefly and fruit fly pupae. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(1): 194–199. [周和锋, 郑金土, 张同心, 徐永江, 陈忠梅, 段毕升, 胡好远, 2014. 家蝇蛹和果蝇蛹繁育的蝇蛹金小蜂对果蝇蛹的寄生比较. 应用昆虫学报, 51(1): 194–199.]