技术与方法

四种鳞翅目害虫幼虫期和蛹期雌雄区分的方法*

徐婷婷[1**] 郜军艺[2] 陈德慧[2] 罗贞宝[2] 臧连生[1***]

（1. 贵州大学绿色农药全国重点实验室，贵阳 550025；2. 贵州省烟草公司毕节市公司，毕节 551700）

摘 要 **【目的】** 鳞翅目害虫幼期区分性别的研究报道较少，本文以 4 种重要鳞翅目害虫草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 和二化螟 *Chilo suppressalis* 为对象，探究了其幼虫期和蛹期雌雄区分的方法。**【方法】** 通过解剖学和形态学观察，对 4 种害虫幼虫期的睾丸和卵巢，以及雌雄蛹的形态特征进行比较分析。**【结果】** 4 种害虫幼虫期的睾丸和卵巢都处于第 2 腹足到第 3 腹足近背面位置，睾丸左右并列呈肾形结构，卵巢左右并列为椭圆形结构，可以以睾丸的有无来判断其幼虫的雌雄；4 种害虫雌蛹的产卵孔和生殖孔连接成一条短裂缝，而雄蛹在生殖孔内有 2 个半圆形的瘤状突起。**【结论】** 通过解剖睾丸的有无可判断 4 种害虫幼虫的雌雄，观察蛹尾部生殖孔附近有无一对半圆形的瘤状突起可区分蛹的雌雄。研究结果对指导害虫预测预报以及后续科学研究的顺利进行具有指导意义。

关键词 鳞翅目；幼虫；蛹；性别；鉴别

Identifying the sex of the larvae and pupae of four key lepidopteran pests

XU Ting-Ting[1**] GAO Jun-Yi[2] CHEN De-Hui[2] LUO Zhen-Bao[2] ZANG Lian-Sheng[1***]

(1. State Key Laboratory of Green Pesticides, Guizhou University, Guiyang 550025, China;
2. Bijie Tobacco Company of Guizhou Province, Bijie 551700, China)

Abstract **[Aim]** To investigate methods of identifying the sex of the larvae and pupae of four key lepidopteran pests, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera litura*, *Ostrinia furnacalis* and *Chilo suppressalis*. **[Methods]** Morphological characteristics of the testes and ovaries of the larvae of the four pest species, as well as male and female pupae, were compared. **[Results]** The testes and ovaries of the larval stages of all four pests were located near the dorsal surface in the second to third abdominal segment. The testes are juxtaposed in a kidney-shaped structure and the ovaries are juxtaposed in an elliptical structure during the larval stage. **[Conclusion]** The presence or absence of testes was sufficient to determine the sex of larvae. Female pupae had an ovipositor orifice and gonopore connected into a short slit, whereas male pupae had two semicircular tumor-like projections on the gonopore. Therefore, male and female larvae of all four pest species could be distinguished by dissection to determine the presence or absence of testes, and male and female pupae could be distinguished by observing the presence, or absence, of a pair of semicircular tubercle-like projections near the caudal gonopore. Identifying the sex of larvae and pupae is useful for prediction and forecasting, and for laboratory research.

Key words Lepidoptera; larva; pupa; sex; identification

鳞翅目 Lepidoptera 包括许多世界性重要害虫，其幼虫取食方式可分为两大类：一类为内部（隐蔽）的幼虫取食，如潜叶、瘿伤、钻孔、地下取食等；另一类为外部（暴露）的幼虫取食

*资助项目 Supported projects：国家重点研发计划项目（2023YFE0104800）；黔科合平台 CXPTXM（2025）023；黔科合中引地〔2024〕007

**第一作者 First author，E-mail：tingtingxu2504@163.com

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：lszang@gzu.edu.cn

收稿日期 Received：2024-11-11；接受日期 Accepted：2025-04-13

（Menken *et al*., 2010; Mitter *et al*., 2017）。食叶性重大害虫如草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*，幼虫阶段可取食禾本科 Poaceae、菊科 Asteraceae 和豆科 Leguminosae 等 76 科 350 多种植物，偏好取食植物叶片和嫩芽（Montezano *et al*., 2018; He *et al*., 2020）。斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 是一种典型杂食并外部暴露取食害虫，可危害 300 多种植物，是一种间歇性暴发害虫（Xue *et al*., 2010）。而钻蛀性害虫，具有种类多、分布广、体积小、隐蔽性好、世代周期短、繁殖力强的特性，是害虫中最难防治的一类（曹天棋等, 2022；张秀英等, 2023），其中，亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 和二化螟 *Chilo suppressalis* 均属于鳞翅目草螟科 Crambidae 昆虫，是玉米 *Zea mays* 和水稻 *Oryza sativa* 重要的钻蛀性害虫，每年会对我国玉米和水稻的产量造成巨大损失（Nafus and Schreiner, 1991; Liu *et al*., 2017）。因此，有必要加强对这 4 种重大害虫的监测及预测预报，而准确快速鉴定出害虫幼期和蛹期的性别，提前掌握种群性比，有助于预测、预报其下一代的种群动态变化，为抓住化防适期及采取其它防治措施提供依据。此外，这 4 种害虫还是重要的实验材料，幼虫期性别的区分，有助于鳞翅目昆虫性别调控的相关分子生物学研究，蛹期的快速区分，有助于解决成虫羽化求偶、生殖行为的观察，处女雌蛾的获得、寄主植物挥发物及信息素研究等实验中对于单性昆虫的需求问题。

鳞翅目害虫雌雄成虫大多以性成熟后的生殖器形态，翅面形态特征作为分类特征（郭先婷等, 2022）。而有关鳞翅目害虫幼虫期和蛹期性别鉴定方法的报道相对较少且零散。如 MacLellan（1972）发现苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 可通过腹部背板的深色色素体（睾丸）来确定幼虫性别。Liu 和 Tabashnik（1997）发现小菜蛾 *Plutella xylostella* 可通过第 5 腹节体外的浅色睾丸来确定幼虫的性别。Pezenti 等（2021）描绘了大豆夜蛾 *Anticarsia gemmatalis* 的睾丸形态。徐博（2012）解剖了斜纹夜蛾幼虫期和蛹期的睾丸和卵巢。董前进等（2019）、张军等（2013）发现玉米螟和草地贪夜蛾可通过观察蛹尾部来判断蛹的雌雄。本研究以草地贪夜蛾、斜纹夜蛾、玉米螟和二化螟 4 种重要的鳞翅目害虫为对象，通过解剖学和形态学方法，提供并总结了其幼虫期和蛹期性别鉴定的更通用的方法，可适用于大多数的鳞翅目害虫，对后续害虫预测预报工作的开展以及科学研究的顺利进行都有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

斜纹夜蛾、玉米螟和二化螟的种群分别于 2021 年在吉林省长春市的白菜 *Brassica campestris*、玉米和水稻田中采集得到。草地贪夜蛾种群首次于 2022 年在贵州省安龙县的玉米叶片上采集得到。

1.2 试虫饲养方法

4 种害虫在温度（25±1）℃，相对湿度 40%±10%，光周期 14 L：10 D 的人工气候箱（MLR-352H-PC，普和希株式会社）内进行繁育。草地贪夜蛾和斜纹夜蛾的幼虫使用同一种人工饲料（姚梦霜, 2021）。为了避免草地贪夜蛾、斜纹夜蛾的高龄幼虫同类相食导致种群严重减少（He *et al*., 2022），所有幼虫 4 龄后被单独挑出，分开饲养在养虫盒中直到化蛹。收集羽化的成虫，放入内覆有白色 PP 无纺布（产卵布）的产卵笼中，提供 10%的蜂蜜水作为食物来源，每天更换新鲜蜂蜜水，并在成虫产卵后每天更换产卵布以收集新鲜的卵块。

玉米螟和二化螟的卵块放置在培养皿里，等有幼虫开始孵化后，向培养皿中添加整块的人工饲料和荠白 *Zizania latifolia*。玉米螟使用玉米螟幼虫专用的人工饲料（周旭, 2020），二化螟幼虫用新鲜的荠白喂养。玉米螟和二化螟幼虫采用集体饲养的方式直到化蛹。收集羽化后的玉米螟成虫，放入有产卵布的产卵笼中，每天更换蜂蜜水和产卵布，收集卵块。由于雌性二化螟成虫会将卵块产在新鲜的水稻叶片上，所以成虫会放入有新鲜水稻植株的产卵笼内，以便于收集卵块。

1.3 幼虫期睾丸和卵巢的解剖方法

由于低龄幼虫不易解剖，本试验只取 4 种害虫的 4-6 龄幼虫进行了研究，针对每种害虫，各

龄期共解剖 40 头幼虫）。在平皿上，使用解剖剪从幼虫的第 1 腹足处将虫体剪断，并丢弃头胸部。随后，将腹部置于滴有 PBS 缓冲液的载玻片上。在荧光体视显微镜（Carl Zeiss Microscopy GmbH Carl-Zeiss-Promenade）下，移动腹部使虫腹面朝上，然后使用镊子逐步撕开腹部体壁，直至露出中肠。小心使用镊子清除并丢弃中肠，注意避免划破中肠，以防止内部消化物流出。接着，继续清除腹部过多的脂肪组织和残留的体壁，直至露出睾丸。夹断睾丸与支气管的连接，并小心剥离缠绕在睾丸周围的微气管。最后，将睾丸分离出来，置于新鲜的 PBS 缓冲液中漂洗 2 次。卵巢的解剖方法同睾丸的解剖方法一致。在荧光体视显微镜下拍摄睾丸和卵巢的形态结构。

1.4　蛹期雌雄的区分

当昆虫成功化蛹时，将蛹收集到培养皿内，并且放置荧光体视显微镜下，观察和拍摄 4 种害虫蛹尾部第 7-9 腹节上的生殖孔和产卵孔，每种害虫共计观察 40 头蛹。

2　结果与分析

2.1　4 种害虫幼虫睾丸的形态结构

4 种害虫 3 龄期后幼虫的睾丸均处于腹部第 2-3 腹足近背面位置，左右并列呈肾形结构。草地贪夜蛾（图 1：A-C）和斜纹夜蛾（图 1：D-F）幼虫期的睾丸外被一层黄色睾丸膜，低龄期时睾丸膜颜色为半透明，随着龄期增长睾丸膜变黄且

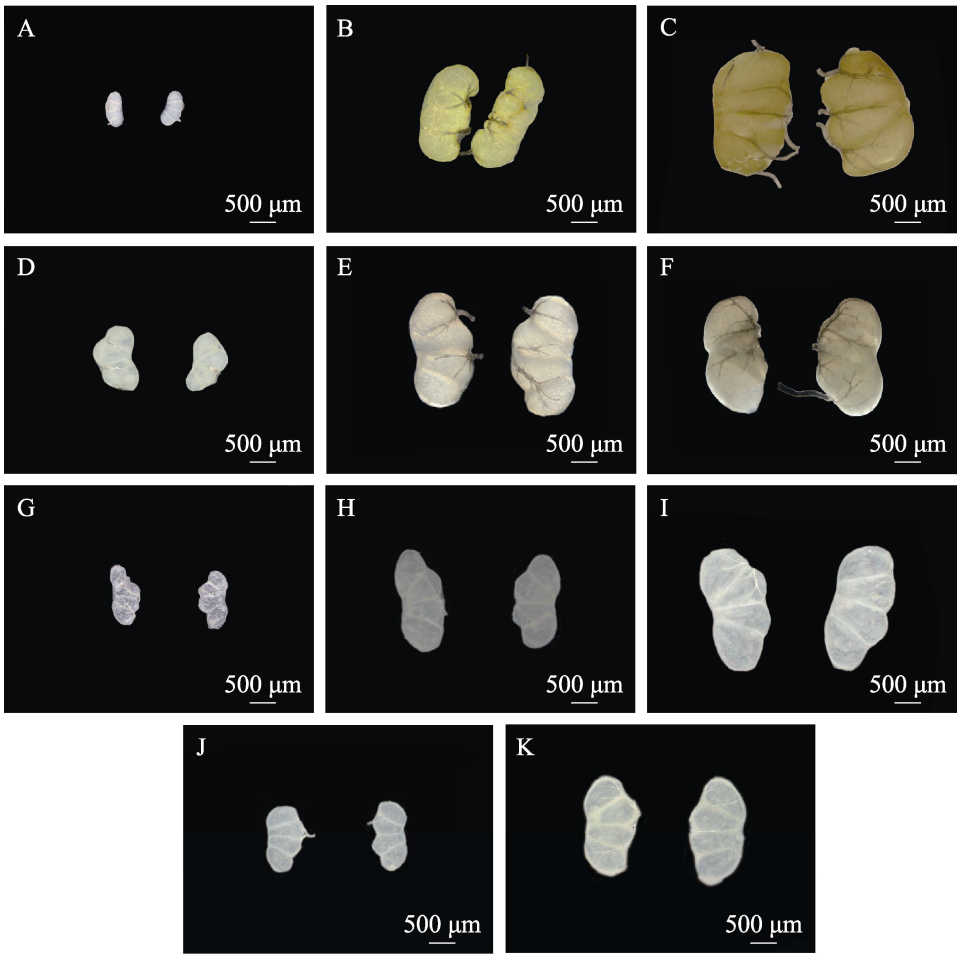

图 1　4 种害虫 4-6 龄期幼虫的睾丸

Fig. 1　The testes of four pest larvae at 4th, 5th and 6th instars

A-C. 草地贪夜蛾；D-F. 斜纹夜蛾；G-I. 二化螟；J, K. 玉米螟。

A-C. *Spodoptera frugiperda*; D-F. *Spodoptera litura*; G-I. *Chilo suppressalis*; J, K. *Ostrinia furnacalis*.

颜色加深，为深黄色；而玉米螟（图 1：G-I）和二化螟（图 1：J-K）的睾丸体积较小，为乳白色，随着龄期的增加，颜色没有明显的变化（玉米螟只有 5 个龄期，无 6 龄幼虫）。昆虫睾丸的大小和昆虫的体型成正比。

2.2 4 种害虫幼虫卵巢的形态结构

草地贪夜蛾（图 2：A-C）和斜纹夜蛾（图 2：D-F）3 龄期后幼虫的卵巢也处于第 2-3 腹足近背面位置，左右并列呈椭圆形结构，为半透明乳白色，外覆一层透明薄膜，两个卵巢各有支气管连接供氧，随着龄期增长卵巢也不断增长。由于玉米螟和二化螟的体积比草地贪夜蛾和斜纹夜蛾的体积小，现有的仪器设备无法解剖出这 2 种害虫的卵巢。

幼虫期卵巢的体积比睾丸体积小很多，左右并列呈椭圆形结构。睾丸左右并列，呈肾形结构，且睾丸比卵巢更易分辨，因此，可以通过解剖睾丸的有无来判断幼虫的雌雄。

2.3 4 种害虫蛹期雌雄的区分

4 种害虫的雌蛹，在靠近蛹尾部臀刺上端的第 8 腹节，产卵孔和生殖孔连成一条短裂缝，不凸起，生殖孔与第 7 腹节后缘相连。而雄蛹在臀刺上端的第 9 腹节，生殖孔内有 2 个半圆形的瘤状突起（图 3：A-D），由此可区分蛹的雌雄。

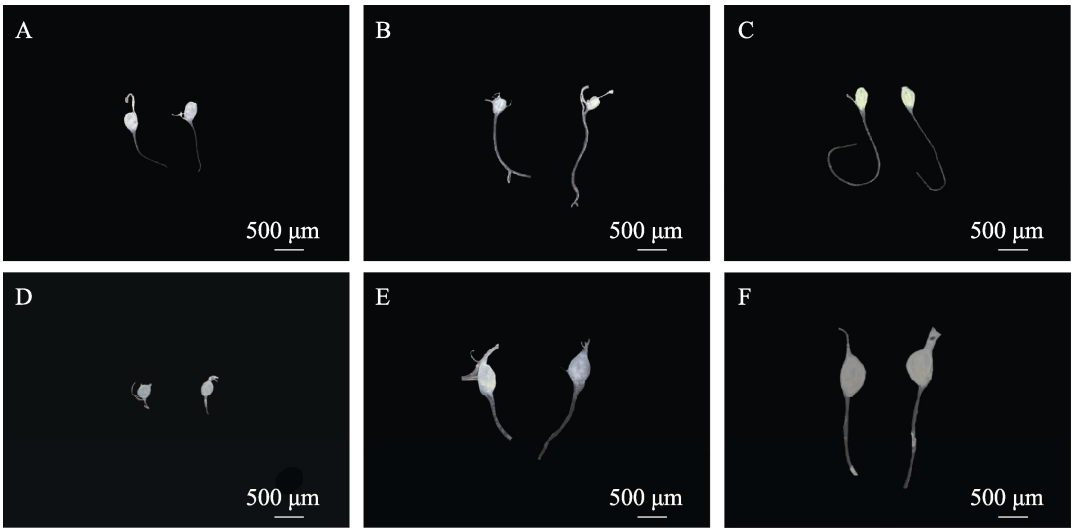

图 2 草地贪夜蛾和斜纹夜蛾 4-6 龄期幼虫的卵巢

Fig. 2 The ovaries of *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera litura* larvae at 4th, 5th and 6th instars

A-C. 草地贪夜蛾；D-F. 斜纹夜蛾。A-C. *Spodoptera frugiperda*; D-F. *Spodoptera litura*.

3 结论与讨论

鳞翅目害虫睾丸的发育起始于幼虫阶段，且在蛹期时，一对睾丸逐渐融合成一个性器官（Bilha *et al*., 2012; Bebas *et al*., 2018; Mari *et al*., 2018）。本研究通过解剖发现 4 种鳞翅目害虫 3 龄期后的幼虫，于第 2 腹足到第 3 腹足近背面位置存在一对肾形睾丸，此型态结构与大豆夜蛾（Pezenti *et al*., 2021）、小菜蛾（何璠, 2010）、苹果蠹蛾（魏子涵，2022）、梨小食心虫 *Grapholitha molesta*（Matos de Morais *et al*., 2011）、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*（陈大福等, 2004）和麝凤蝶 *Atrophaneura alcinous*（Kubo-Irie *et al*., 1998）中观察到的睾丸结构一致。

斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的卵巢呈现为半透明乳白色椭圆形结构，这与朱弘复（1979）所绘制的鳞翅目害虫幼虫期卵巢形态结构相符。并且，观察发现幼虫期卵巢体积远小于睾丸体积，因而常用睾丸的有无作为雌雄幼虫区分的性别特征（Ramya *et al*., 2020）。由于玉米螟和二化螟的体积较小，现有的仪器设备无法解剖出 2 种害虫的卵巢，有待后续进一步完善。

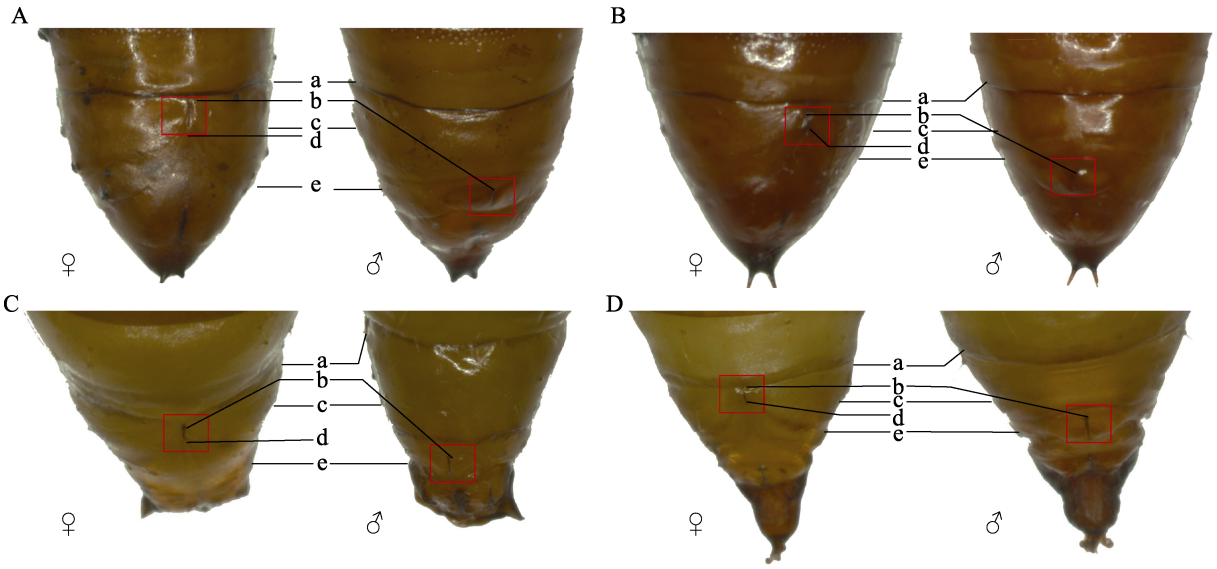

图 3　4 种害虫蛹期雌雄的区分

Fig. 3　Distinction between male and female pupal stages of four pests

A. 草地贪夜蛾；B. 斜纹夜蛾；C. 二化螟；D. 玉米螟。a：第 7 腹节后缘；b：生殖孔；c：第 8 腹节；d：产卵孔；e：第 9 腹节。

A. *Spodoptera frugiperda*; B. *Spodoptera litura*; C. *Chilo suppressalis*; D. *Ostrinia furnacalis*; a: The posterior margin of 7th abdominal segment; b: Gonopore; c: The 8th abdominal segment; d: Oviposition holes; e: The 9th abdominal segment.

4 种害虫雌雄蛹的区分特征为：雄蛹在第 9 腹节处，生殖孔内有一对半圆形的瘤状突起；雌蛹在第 8 腹节，产卵孔和生殖孔连成一条纵裂缝，裂缝两侧平坦。该雌雄蛹区分方法可适用于大多数鳞翅目昆虫，如米缟螟 *Aglossa dimidiate*（饶永超等, 2024）、柑橘潜叶蛾 *Phyllocnistis citrella*（郭先婷等, 2022）、桉黄卷蛾 *Archips* sp.（陈文佳等, 2024）、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*（田卉和刘映红, 2012）、香梨优斑螟 *Euzophera pyriella*（张蒙等, 2014）、柑橘长卷蛾 *Homona coffearia*（李莉玲等, 2015）、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*（赵晓峰等, 2016）、苹果蠹蛾（冯丽凯等, 2019）、核桃举肢蛾 *Atrijuglans hetaohei*（王永平等, 2022）、茴香薄翅野螟 *Evergestis extimalis*（秦明岗和来有鹏, 2022）等。

本研究整合以往的鉴定手段，通过解剖睾丸的有无可判断 4 种鳞翅目害虫幼虫的雌雄，观察蛹尾部生殖孔附近有无一对半圆形的瘤状突起可区分蛹的雌雄，提供了一套可适用于大多数鳞翅目害虫的幼虫期和蛹期的性别鉴定方法，准确鉴定该 4 种重大害虫的幼期雌雄，能够提前知晓这 4 种害虫在田间种群中的性别分布状态，有利于开展预测预报工作，为害虫防治提供依据；此外，这 4 种害虫还是重要的实验材料，幼虫期和蛹期雌雄的区分，有利于后续开展性别调控相关的分子生物学研究以及一些对单性昆虫需求的实验。

参考文献 (References)

Bebas P, Cymborowski B, Kazek M, Polanska MA, 2018. Effects of larval diapause and the juvenile hormone analog, fenoxycarb, on testis development and spermatogenesis in the wax moth, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *European Journal of Entomology*, 115: 400–417.

Bilha JK, BrancalhÃ RMC, Conte H, 2012. Testicles fusion of *Diatraea saccharalis* F. (Lepidoptera; Crambidae) during post-embryonic development. *Journal of the Entomological Research Society*, 16(14): 1–7.

Cao TQ, Xu ZL, Cui K, Liu WJ, Li YJ, Guo P, Luo ZW, 2022. A survey of Lepidoptera insect diversity in Sifeng Mountain scenic area. *Biological Disaster Science*, 45(1): 43–47. [曹天棋, 徐宗玲, 崔凯, 刘文静, 李英娇, 郭鹏, 罗志文, 2022.

四丰山风景区鳞翅目昆虫多样性调查. 生物灾害科学, 45(1): 43–47.]

Chen DF, Niu BL, Weng HB, Meng ZQ, 2004. Study on larval sexual character and spermatogenesis of cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*). *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 16(6): 354–357. [陈大福, 牛宝龙, 翁宏飚, 孟智启, 2004. 棉铃虫 (*Helicoverpa armigera*) 幼虫性特征和精子的发生. 浙江农业学报, 16(6): 354–357.]

Chen WJ, Wei LY, Li JR, Wei HX, Lu Y, Guo MT, Yang ZD, 2024. Observations on the biological characteristics of the *Archips* sp. and sex identification. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University* (*Natural Science Edition*), 53(5): 1–10. [陈文佳, 韦刘宇, 黎金芮, 韦钦馨, 陆雅, 郭梦婷, 杨振德, 2024. 桉黄卷蛾生物学特性观察及雌雄鉴别. 福建农林大学学报(自然科学版), 53(5): 1–10.]

Dong QJ, Zhou JC, Zhu KH, Zhang ZT, Dong H, 2019. A simple method for identifying sexuality of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) pupae and adults. *Plant Protection*, 45(5): 96–98, 105. [董前进, 周金成, 朱凯辉, 张柱亭, 董辉, 2019. 一种快速鉴别草地贪夜蛾蛹及成虫雌雄的简易方法. 植物保护, 45(5): 96–98, 105.]

Feng LK, Liu Z, Li GF, Chen LS, Lin KJ, 2019. Morphological criteria for sexing different developmental stages of the codling moth, *Cydia pomonella* (L.). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(2): 354–360. [冯丽凯, 刘政, 李国富, 陈刘生, 林克剑, 2019. 苹果蠹蛾不同虫态体征及雌雄个体的快速鉴别方法. 应用昆虫学报, 56(2): 354–360.]

Guo XT, Yao HF, Wang JW, Wu HM, Rao Q, 2022. A method for rapidly determining the sex of pupae and adults of *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Phyllocnistidae). *Chinese Journal of Applied Entomology*, 59(3): 697–702. [郭先婷, 姚海峰, 王洁威, 吴慧明, 饶琼. 一种快速鉴别柑橘潜叶蛾蛹及成虫雌雄的简易方法. 应用昆虫学报, 59(3): 697–702.]

He F, 2010. Studies on inhibition of spermatogenic cells of *Plutella xylostella* by two endoparasitoids. Master dissertation. Zhengzhou: Henan Agricultural University. [何璠, 2010. 二种寄生蜂抑制小菜蛾生精细胞发育的研究. 硕士学位论文. 郑州: 河南农业大学.]

He HL, Zhou AL, He L, Qiu L, Ding WB, Li YZ, 2022. The frequency of cannibalism by *Spodoptera frugiperda* larvae determines their probability of surviving food deprivation. *Journal of Pest Science*, 95(1): 145–157.

Kubo-Irie M, Irie M, Nakazawa T, Mohri H, 1998. Morphological changes in eupyrene and apyrene spermatozoa in the reproductive tract of the male butterfly *Atrophaneura alcinous* Klug. *Invertebrate Reproduction & Development*, 34(2/3): 259–268.

Li LL, Lu J, Liu Y, Zhang M, Wen XJ, Li YZ, Xu ZC, 2015. Distinguishing the pupae and adults of *Homona coffearia* Meyrick. *China Plant Protection*, 35(2): 82–85. [李莉玲, 卢进, 刘怡, 张蒙, 温秀军, 李奕震, 徐正春, 2015. 柑橘长卷蛾蛹和成虫鉴别. 中国植保导刊, 35(2): 82–85.]

Liu JL, Li ZH, Zhang HM, Du HT, Ding X, Zhou YD, Wu JC, Wong A, 2017. Comparative study of the sublethal effects of indoxacarb on juvenile hormone titer and juvenile hormone esterase mRNA expression of *Nilaparvata lugens* and *Chilo suppressalis* in rice. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(2): 441–448.

Liu YB, Tabashnik BE, 1997. Visual determination of sex of diamondback moth larvae. *The Canadian Entomologist*, 129(3): 585–586.

MacLellan CR, 1972. Sex ratio in three stages of field collected codling moth. *The Canadian Entomologist*, 104(10): 1661–1664.

Mari IP, Gigliolli AAS, Nanya S, Portela-Castro ALB, 2018. Histological and electron microscopy observations on the testis and spermatogenesis of the butterfly *Dione juno* (Cramer, 1779) and *Agraulis vanillae* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Nymphalidae). *Micron*, 109: 11–21.

Matos de Morais R, Rodrigues Redaelli L, Josué J, 2011. Anatomia comparada dos órgãos internos de reprodução de *Grapholita molesta* (Busck, 1916) (Lepidoptera: Tortricidae). *Biotemas*, 22(1): 59–67.

Menken SBJ, Boomsma JJ, van Nieukerken EJ, 2010. Large-scale evolutionary patterns of host plant associations in the Lepidoptera. *Evolution*, 64(4): 1098–1119.

Mitter C, Davis DR, Cummings MP, 2017. Phylogeny and evolution of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology*, 62: 265–283.

Montezano DG, Sosa-Gómez DR, Specht A, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Hunt TE, 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286–300.

Nafus DM, Schreiner IH, 1991. Review of the biology and control of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Lep: Pyralidae). *International Journal of Pest Management*, 37(1): 41–56.

Pezenti LF, Levy SM, de Souza RF, Sosa-Gómez DR, da Rosa R, 2021. Testes morphology and the identification of transcripts of the hormonal pathways of the velvet bean caterpillar

Anticarsia gemmatalis Hübner, (Lepidoptera: Erebidae). *Arthropod Structure & Development*, 65: 101111.

Qin MG, Lai YP, 2022. Sexsual identification of *Evergestis extimalis* Scopoli. *Journal of Qinghai Normal University* (*Natural Science Edition*), 38(1): 47–50. [秦明岗, 来有鹏, 2022. 茴香薄翅野螟雌雄性的鉴定. 青海师范大学学报(自然科学版), 38(1): 47–50.]

Ramya RS, Mohan M, Joshi S, 2020. A simple method for sexing live larvae of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Animal Biology*, 70(1): 97–100.

Rao YC, Luo LL, Wang JH, Huang ZX, Liu M, Yao SL, Yang MF, 2024. A rapid identification method for pupae and adult male and female individuals of *Aglossa dimidiata*. *Journal of Environmental Entomology*, 46(2): 524–529. [饶永超, 罗丽林, 王济红, 黄振兴, 刘曼, 姚松林, 杨茂发, 2024. 米缟螟蛹及成虫雌雄个体的快速鉴别方法. 环境昆虫学报, 46(2): 524–529.]

Tian H, Liu YH, 2012. A method for identifying sexuality of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenee pupae. *Plant Doctor*, 25(5): 10–11. [田卉, 刘映红, 2012. 稻纵卷叶螟雌雄蛹的鉴别方法. 植物医生, 25(5): 10–11.]

Wang YP, Li TF, Tang GH, 2022. Sex identification of larva, pupa and adult of *Atrijuglans hetaohei*. *Shaanxi Forest Science and Technology*, 50(2): 66–69. [王永平, 李天凤, 唐光辉, 2022. 核桃举肢蛾幼虫、蛹和成虫的雌雄形态识别. 陕西林业科技, 50(2): 66–69.]

Wei ZH, 2022. Functional analysis of TSSKs genes of *Cydia pomonella*. Master dissertation. Shenyang: Shenyang Agricultural University. [魏子涵, 2022. 苹果蠹蛾精巢特异性丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶基因(TSSKs)功能研究. 硕士学位论文. 沈阳: 沈阳农业大学.]

Xu B, 2012. Research on the morphological structure and development of *Spodoptera litura* prothoracic glands and gonads. Master dissertation. Zhongshan: Sun Yat-sen University. [徐博, 2012. 斜纹夜蛾前胸腺与性腺的形态结构和发育研究. 硕士学位论文. 广州: 中山大学.]

Xue M, Pang YH, Li QL, Liu TX, 2010. Effects of four host plants on susceptibility of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae to five insecticides and activities of detoxification esterases. *Pest Management Science*, 66(12): 1273–1279.

Yao MS, 2021. The joint synergism attracting effect tobacco volatiles and sex pheromone on *Spodoptera litura*. Master dissertation. Guiyang: Guizhou University. [姚梦霜, 2021. 烟草挥发物与性信息素引诱斜纹夜蛾的协同增效作用研究. 硕士学位论文. 贵阳: 贵州大学.]

Zhang J, Du Q, Wang ZY, Li QY, Wang YZ, 2013. A method for the rapid sex-determination of pupae of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(5): 1484–1488. [张军, 杜茜, 王振营, 李启云, 汪洋洲, 2013. 一种快速鉴别亚洲玉米螟蛹雌雄的方法. 应用昆虫学报, 50(5): 1484–1488.]

Zhang M, Ma T, Zhu XJ, Yang XC, Li YZ, Wen XJ, 2014. Sex identification of pupa and adult in *Euzophera pyriella* Yang. *Plant Protection*, 40(1): 119–121. [张蒙, 马涛, 朱雪姣, 杨兴翠, 李奕震, 温秀军, 2014. 香梨优斑螟蛹和成虫的性别鉴定. 植物保护, 40(1): 119–121.]

Zhang XY, Subinur·Eli, Li HH, 2023. Annual report of new taxa for Chinese Lepidoptera in 2022. *Biodiversity Science*, 31(10): 35–44. [张秀英, 苏比奴尔·艾力, 李后魂, 2023. 中国鳞翅目新物种 2022 年度报告. 生物多样性, 31(10): 35–44.]

Zhao XF, Yang AD, Zhang MX, 2016. A method for the rapid sex-determination of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) pupae and adults. *Journal of Environmental Entomology*, 38(5): 1066–1070. [赵晓峰, 杨安峁, 张茂新, 2016. 一种快速鉴别甜菜夜蛾蛹及成虫雌雄的简易方法. 环境昆虫学报, 38(5): 1066–1070.]

Zhu HF, 1979. Atlas of Moth Larvae. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House Press. 7–8. [朱弘复, 1979. 蛾类幼虫图册. 北京: 中国农业科学技术出版社. 7–8.]

Zhou X, 2020. Investigation on the resistance and its natural shelter of *Ostrinia furnacalis* (Guenée) to transgenic Bt corn. Master dissertation. Changchun: Jilin Agricultural University. [周旭, 2020. 亚洲玉米螟对转 Bt 基因玉米抗性和天然庇护所的调查. 硕士学位论文. 长春: 吉林农业大学.]