

草地螟幼虫和蛹的形态特征及雌雄鉴别方法

胡 敏^{1,2}, 程云霞², 张 蕾², 罗礼智², 季 荣^{1*}, 江幸福^{2*}

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 中亚区域跨境有害生物联合控制国际研究中心, 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 乌鲁木齐 830054; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 草地螟雌、雄成虫的形态特征及鉴别方法在室内研究及种群测报中已经广泛应用, 但幼虫及蛹的形态特征及雌雄的鉴别方法目前尚没有报道。本文借助超景深三维显微系统, 观察不同龄期草地螟幼虫的形态特征、5龄幼虫性别特征以及雌、雄蛹的区别, 以期对草地螟幼虫和蛹的形态识别和性别鉴定提供科学分类依据。研究表明: 1) 初孵幼虫体色为淡黄色, 随着龄期增大, 体色逐渐加深, 至末龄为灰黑色或黑色, 3龄出现白斑和体侧纵带, 5龄体背出现2条鲜黄色或黄白色背线; 2) 雄幼虫第5腹节背管两侧有一对精巢, 呈白色半透明橘瓣状, 3片精小囊隔膜将精巢分为4个小腔室, 预蛹期2个精巢逐渐靠拢、融合并发生扭转, 蛹期完全融合成为一个不可剥离的圆球体, 直至生命结束; 雌幼虫卵巢没有明显分化; 3) 雌蛹腹部8~10节分节不明显, 第8腹节中央的生殖孔和第9腹节的产卵孔连接组成一纵裂缝, 裂缝两侧平坦, 裂缝下端与排泄孔上端距离较远, 为 (0.48 ± 0.005) mm, 腹部末端钝圆; 雄蛹腹部8~10节分节明显, 第8腹节无纵裂缝, 第9腹节的生殖孔呈一纵裂缝与第10腹节相连, 裂缝两侧各有一个半圆形瘤状突起, 裂缝下端与排泄孔上端距离较近, 为 (0.24 ± 0.005) mm, 腹部末端较尖。

关键词 草地螟; 幼虫; 蛹; 形态特征; 性别鉴定

中图分类号: S433.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019450

Methods for identification of the morphological character and sex of *Loxostege sticticalis* larvae and pupae (Lepidoptera: Crambidae)

HU Min^{1,2}, CHENG Yunxia², ZHANG Lei², LUO Lizhi², JI Rong^{1*}, JIANG Xingfu^{2*}

(1. College of Life Sciences, Xinjiang Normal University, International Research Center of Cross-Border Pest Management in Central Asia, Key Laboratory of Conservation and Management of Species Diversity in Xinjiang, Urumqi 830054, China; 2. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract Morphological characteristics and identification methods of *Loxostege sticticalis* male and female adults have been widely used in laboratory studies and population measurement, while the morphological characteristics and identification methods of larvae and pupae have not been reported yet. In this study, to provide scientific classification basis for the morphological identification of larvae and sex identification of pupae, super-high magnification lens zoom 3D microscope was used to observe the morphological and sexual characteristics of different instars of *Loxostege sticticalis* larvae, as well as the differences between male and female pupae. The results showed that 1st instar larvae body color is light yellow, as age increases, body color deepens gradually, at 5th instar, the color is grayish black or black. White spots and bands appears at 3rd instar, two bright yellow or yellowish-white lines appear on the back at 5th instar. There is a pair of white, kidney-shaped testicular on both sides of the dorsal tube of the 5th abdominal segment of male larvae, and 3 follicle lamina divide testis into 4 follicle. There is no obvious differentiation of ovary in female larvae. In female pupae, the two seams of the 8th to the 10th segments are not obvious, a longitudinal crack from gonopore in the middle of the 8th abdominal segment to oviposition hole in 9th abdominal segment. Both sides of the crack are flat. The distance from the margin of the oviposition hole to the anus is (0.48 ± 0.005) mm. In male pupae, the two seams of the 8th to the 10th segments are obvious, there is no

收稿日期: 2019-08-30

修订日期: 2019-10-22

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0201700); 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-22); 国家自然科学基金(31260103, 31672019, 31871951)

* 通信作者 E-mail: 季荣 jirong@xjnu.edu.cn; 江幸福 xfjiang@ippcaas.cn

crack on the 8th abdominal segment but a longitudinal gonopore crack from the middle of 9th abdominal segment to the 10th abdominal segment. There are 2 visible lumps on both sides of the crack, respectively. The distance from the margin of the gonopore hole to the anus is (0.24 ± 0.005) mm.

Key words *Loxostege sticticalis*; larvae; pupae; morphological character; sex identification

草地螟 *Loxostege sticticalis* L. (鳞翅目: 螟蛾科) 是一种世界性的重大农业迁飞害虫, 具有间歇暴发、集中迁移为害的特点。其发生来势凶猛、密度大、为害严重, 幼虫可为害 48 科 259 种植物, 在我国广泛分布于东北、华北和西北地区, 并且曾对这些地区的农牧业生产造成过巨大的经济损失^[1-4]。草地螟幼虫共有 5 个龄期, 低龄幼虫食量较小, 4~5 龄为暴食期, 取食量占整个幼虫期总食量的 80% 以上, 因此应在 2~3 龄的低龄幼虫期进行监测、防治^[5-6]。黄绍哲等^[7]根据太阳黑子的活动周期推测出草地螟在我国第 4 个大发生周期很有可能开始于 2017—2020 年之间; 刘杰等^[8]报道, 2018 年我国内蒙古、黑龙江、吉林三省交界处草地螟突发高密度种群, 导致年度发生面积和发生程度均为近 10 年以来最高; 全国农业技术推广服务中心田间监测数据显示, 截至 2019 年 6 月 17 日, 内蒙古草地螟越冬代成虫已发生 38 万 hm^2 , 山西越冬代成虫已发生 5.93 万 hm^2 , 辽宁、河北、黑龙江等省也陆续见虫^[9]。江幸福等^[10]通过综合分析认为目前我国草地螟第 4 个发生周期或将来临, 因此, 2019 年及以后几年应加强监测草地螟常发区的发生动向。

有关草地螟幼虫的形态特征描述已有报道^[11-15], 但现有描述均以文字呈现, 缺乏直观性和指导性, 草地螟幼虫性别特征、精巢融合现象和雌、雄蛹个体的鉴定方法还未见报道。本研究通过室内饲养观察, 借助超景深三维显微系统以文字和图片的形式, 直观且准确地记述了草地螟幼虫各龄期的形态特征、幼虫性别特征以及雌、雄蛹的识别方法, 为基层测报人员准确快速识别草地螟幼虫龄期和区分蛹期雌雄个体提供理论方法和科学依据, 为广大科研工作者利用精巢融合特性, 寻找新的雄性不育靶标分子进行草地螟防治提供新的思路, 对建立草地螟田间虫情监测、预测田间性比和种群动态, 开展科学的预测预报和应急防控具有重大意义。

1 材料与方法

1.1 供试虫源及饲养条件

草地螟虫源采自河北省康保县 (41.87°N , 114.63°E),

在实验室条件下繁殖 5 代后作为供试虫源。草地螟幼虫用新鲜藜 *Chenopodium album* 叶饲养于体积为 650 mL 的玻璃罐头瓶中, 每瓶 30 头, 每天及时清理排泄物并更换新鲜的藜叶, 待幼虫老熟后将其转入装有含水量约为 10% 的无菌砂土罐头瓶中做茧和化蛹。饲养条件为: 温度 (22 ± 1) $^\circ\text{C}$ 、光周期 L//D = 16 h//8 h、湿度 $70\% \pm 5\%$ 。

1.2 观察方法

1.2.1 幼虫不同龄期形态特征观察

采用超景深三维显微系统 (基恩士, VHX-2000) 分别对草地螟 1~5 龄幼虫进行观察、拍照并测量其体长和头壳宽度, 每个龄期测量幼虫 30 头, 共计 150 头。

1.2.2 幼虫性特征观察

将草地螟幼虫用 75% 乙醇杀死后置于体视显微镜 (Leica, MZ75) 下沿腹中线剖开, 观察其内部生殖系统并在超景深三维显微系统下拍照。

1.2.3 雌雄蛹特征观察

将草地螟蛹从茧中剥出, 在超景深三维显微系统下进行观察、测量并拍照。单粒单管放置并用棉塞封口后进行标记, 羽化后根据成虫形态特征进行性别确认。

1.3 数据统计与分析

采用 SPSS 22.0 软件对试验数据进行分析; 不同龄期幼虫体长和头壳宽度的差异显著性采用 Duncan 氏新复极差法在 $\alpha = 0.05$ 的水平下进行差异显著性检验分析; 雌、雄蛹生殖裂缝与肛门的距离差异性采用独立样本 *t*-test 进行分析。

2 结果与分析

2.1 幼虫不同龄期形态特征

草地螟幼虫共分 5 个龄期, 初孵幼虫体长 1.16~3.82 mm, 头壳黑褐色, 体躯淡黄色, 体表刚毛较发达, 第 2、3 胸节背部各有一对黑斑, 腹节背部每节各有 2 对黑斑 (图 1a); 2 龄幼虫初蜕皮时为淡黄色, 啃食叶片后体色逐渐变为黄绿色, 期末为灰绿色, 胸盾黑色, 各体节两侧具黑色刚毛瘤 (图 1b); 3 龄幼虫有

明显白斑,刚蜕皮时头壳为灰白色,体躯浅灰绿色,几分钟后头壳变为黑色,体躯墨绿色,体侧有 2 条淡黄色纵带(图 1c);4 龄幼虫头壳黑色,体躯黑绿色,两侧纵带较明显,臀板有刚毛 8 根(图 1d);5 龄幼虫,白斑增多,头部有白色 Y 字形纹,体背有两条亮黄色或黄白色线条,背线两侧每节有 6 个暗黑色肉瘤

呈三角形排列,肉瘤中央生有 1 根刚毛,刚毛根部为白色,肉瘤周围有同心白环,体躯为灰黑色或黑色,两侧各有 2 条纵带,靠近背部一条为黄色,靠近腹部一条为白色(图 1e)。草地螟幼虫各龄期体长差异均显著,头壳宽度除 3、4 龄外,其余各龄期差异均显著(表 1)。



图 1 草地螟 1~5 龄幼虫
Fig. 1 1—5 instars larvae of *Loxostege sticticalis*

表 1 草地螟各龄期幼虫头壳宽度和体长¹⁾

Table 1 Head capsule width and body length of different instar larvae of *Loxostege sticticalis*

虫龄 Instar	头壳宽度/mm Head capsule width	头壳宽度范围/mm Width range	平均体长/mm Body length	体长范围/mm Length range
1	(0.30±0.02)d	0.24~0.72	(1.61±0.10)e	1.16~3.82
2	(0.61±0.01)c	0.53~0.68	(7.59±0.17)d	5.02~8.80
3	(1.00±0.01)b	0.88~1.15	(10.12±0.39)c	8.52~12.71
4	(0.95±0.02)b	0.82~1.14	(13.42±0.22)b	10.17~15.54
5	(1.65±0.03)a	1.36~1.86	(16.48±0.59)a	11.99~22.24

1) 表中数据为平均值±标准误,同一列数据后标有不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著(Duncan 氏新复极差分析)。
Data in the table are mean±SE, data with different letters in the same column mean significant difference ($P<0.05$, Duncan's new multiple range test).

2.2 幼虫期雌雄鉴别

草地螟 5 龄雄幼虫第 5 腹节背血管两侧有一对白色半透明橘瓣状精巢,凹面向内,外有围巢膜包裹,3 片精小囊隔膜将精巢分为 4 个椭圆形小腔室,小腔室即为精小囊,囊内富含精囊液(图 2a)。精巢长约 1.4 mm,直径约为 1.1 mm,随着幼虫的生长发育,两个原本分离的精巢逐渐靠拢,预蛹期围巢膜外膜粘连后内膜进一步融合并发生扭转,精小囊隔膜隐约可见,两个精巢仍可剥离为单独个体(图 2b),到达蛹期两个精巢完全融合成一个不可剥离的圆球体(图 2c),此形态直至生命结束;雌性幼虫卵巢没有明

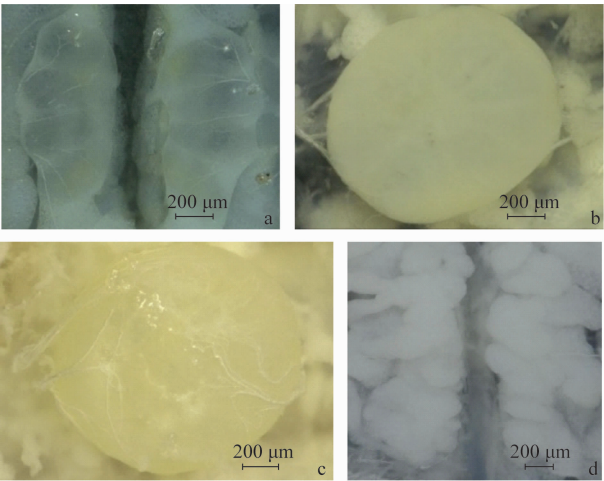
显分化(图 2d)。

2.3 蛹期雌雄鉴别

2.3.1 蛹的形态特征

草地螟蛹长约 1.2 cm,初蛹为乳黄色,后逐渐变为黄色,近羽化时颜色变为灰黑色。在体视显微镜的观察下,草地螟雌、雄蛹形态特征差别明显(图 3)。

雌蛹:第 8 腹节腹面有一纵裂缝,连接第 9 腹节,此裂缝为第 8 腹节腹面中央的生殖孔与第 9 腹节上的产卵孔连接而成,裂缝两侧平坦,无凸起,裂缝下端与排泄孔上端的距离较远,为(0.48±0.005)mm,腹部末端钝圆,第 8~10 节分节不明显(图 3A)。

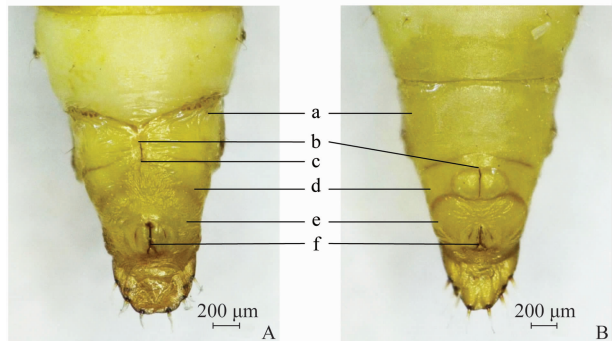


a: 5龄第3天(雄); b: 预蛹期(雄); c: 蛹期第3天(雄); d: 雌幼虫卵巢对应位置
a: The 3rd day of 5 instar (male); b: Prepupa period (male); c: The 3rd day of pupa period (male); d: The correspond position of the ovary of female larva

图 2 草地螟雄幼虫精巢融合过程及雌幼虫卵巢对应位置
Fig. 2 The process of testicular fusion of male larva and the corresponding position of the ovary of female larva in *Loxostege sticticalis*

雄蛹:第8腹节无裂缝,第9腹节的生殖孔呈一纵裂缝与第10腹节相连,裂缝两侧各有一半圆形瘤状突起,裂缝下端与排泄孔上端的距离较近,为(0.24±

0.005)mm,腹部末端较尖,第8~10节分节较明显(图3B)。



A: 雌; B: 雄。a: 第8腹节; b: 生殖孔; c: 产卵孔; d: 第9腹节; e: 第10腹节; f: 肛门
A: Female; B: Male. a: The 8th abdominal segment; b: Gonopore; c: Oviposition hole; d: The 9th abdominal segment; e: The 10th abdominal segment; f: Anus

图 3 草地螟雌雄蛹腹部末端

Fig. 3 The end of abdomen of *Loxostege sticticalis* pupa

2.3.2 成虫鉴定结果验证

将镜检区分后的草地螟蛹(雌蛹112头,雄蛹108头)分开放置单头饲养,待羽化后对镜检结果进行鉴定。存活雌成虫102头,雄成虫100头,鉴定雌成虫102头,鉴定雄成虫100头,鉴别准确率均为100%(表2)。

表 2 草地螟雌雄蛹鉴别结果

Table 2 Identified results of male and female pupa

蛹的类型 The type of pupa	观察蛹数/头 The number of pupae	羽化成虫数/头 The number of emerging adults	鉴定成虫数/头 The number of adults identified	性别鉴别准确率/% Identification accuracy
雌蛹 The female pupa	112	102	102	100
雄蛹 The male pupa	108	100	100	100

3 讨论

草地螟3龄前幼虫虫体小、取食量小,不易被发现,一旦发现已处于4、5龄暴食期^[12],因此了解和掌握草地螟幼虫各龄期形态特征对于田间的快速识别及防治具有重要意义。研究发现,3龄幼虫和4龄幼虫体长差异显著,但头壳宽度差异不显著,这与刘光涛等^[12]和徐林波等^[5]的研究报道有所不同,所以对于这两个龄期的识别和判别需结合头壳和体长数据进行区分,其余各龄期头宽体长差异均极显著。

鳞翅目昆虫雄性幼虫性别特征在许多昆虫中已有报道,如螟蛾科的欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis* (Hübner)^[16]、三化螟 *Tryporyza incertulas*^[17]、夜蛾科的棉铃虫 *Helicoverpa armigera*^[18],斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*^[19]、黏虫 *Mythimna separata*^[20],

毒蛾科的舞毒蛾 *Lymantria dispar*^[21]等,这些昆虫在幼虫期精巢为左右对称的1对,随着虫体的发育,2个精巢逐渐靠拢,最后融为单个精巢。与上述昆虫类似,草地螟在幼虫期精巢也分为左右对称的2个,预蛹期两个精巢逐渐靠拢,最终在蛹期融合为1个不可分离的圆球状精巢。已报道的鳞翅目昆虫精巢多为黄色、橘黄色或紫褐色,若昆虫体色较淡,精巢发育形成的体表斑点或体壁下阴影部分就易于识别,可根据此形态特征在幼虫期分辨出其性别,如桐花树毛颚小卷蛾 *Lasiognatha cellifera*^[22]和松实小卷蛾 *Retinia cristata*^[23]雄幼虫第5腹节背部均有一块明显紫褐色肾形斑点;小菜蛾 *Plutella xylostella* 雄幼虫第5腹节背面呈浅黄色,与其相邻体节形成明显反差^[24];微红梢斑螟 *Dioryctria rubella* 雄幼虫第5腹节背部有一片紫褐色阴影^[25]、苹果蠹蛾

Cydia pomonella 老熟雄幼虫第 5 腹节背部有一对明显紫褐色肾形斑^[26]等。与这些鳞翅目昆虫不同的是,草地螟精巢在 5 龄成熟,颜色为白色半透明,此龄期草地螟体色较深,因此无法根据此性别特征在幼虫期分出雌雄,幼虫性别需解剖后才可知晓。

草地螟雌、雄蛹个体的主要鉴别特征为雌蛹第 8 腹节有一纵裂缝,裂缝下端与排泄孔上端距离较远且两侧平坦,雄蛹第 9 腹节上有一纵裂缝,裂缝下端与排泄孔上端距离较近且两侧各有一半圆形瘤状突起,以上区分特征与近年报道的螟蛾科昆虫黄翅绢野螟 *Diaphania caesalis*^[27]、微红梢斑螟 *D. rubella*^[25]、香梨优斑螟 *Euzophera pyriella*^[28]、稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis*^[29]和亚洲玉米螟 *O. furnacalis* (Guenée)^[30]等极其类似。与上述螟蛾科昆虫不同的是:1)黄翅绢野螟、稻纵卷叶螟和亚洲玉米螟雌蛹第 8 腹节纵裂缝与第 7 腹节后缘相连,草地螟和微红梢斑螟雌蛹第 8 腹节纵裂缝连接第 9 腹节,香梨优斑螟的纵裂缝仅在第 8 腹节;2)草地螟、微红梢斑螟和稻纵卷叶螟雌蛹第 7 腹节与第 9 腹节节间缝均凸向第 8 腹节,而其他 3 种螟蛾腹节节间缝平直;3)黄翅绢野螟雌蛹腹部末端 8~10 节分节明显,雄蛹腹部末端 8~10 节分节不明显,而其他 5 种螟蛾则与之相反,为雌蛹腹部末端分节不明显,雄蛹腹部末端分节明显;4)草地螟雌蛹腹部末端钝圆,雄蛹腹部末端较尖,这一形态特征在其他 5 种螟蛾中未见报道。目前,关于草地螟雌、雄蛹的鉴定方法未见详细报道,本文所述草地螟雌、雄蛹鉴别方法简单易行,准确率达 100%。通过区分草地螟蛹的性别,不但可以简易地获得单性成虫,简化为了避免自然交配而单头单管饲养的繁琐操作,还可以准确预知田间种群性比,从而对当代及下一代的种群数量和种群动态进行预测预报,为适期防控提供科学理论依据。

参考文献

- [1] FROLOV A N, MALYSH Y M, TOKAREV Y S. Biological features and population density forecasts of the beet webworm *Pyrausta sticticalis* L. (Lepidoptera, Pyraustidae) in the period of low population density of the pest in Krasnodar Territory [J]. Entomological Review, 2008, 88(6): 666–675.
- [2] 罗礼智. 我国 2004 年一代草地螟将暴发成灾[J]. 植物保护, 2004, 30(3): 86–88.
- [3] 罗礼智, 黄绍哲, 江幸福, 等. 我国 2008 年草地螟大发生特征及成因分析[J]. 植物保护, 2009, 35(1): 27–33.
- [4] 姜玉英, 康爱国, 王春荣, 等. 草地螟产卵和取食寄主种类初报[J]. 中国农学通报, 2011, 27(7): 266–278.
- [5] 徐林波, 刘爱萍, 王慧. 草地螟的生物学特性及室内毒力测定研究[J]. 草业科学, 2007, 24(9): 83–85.
- [6] 张李香, 范锦胜, 王贵强. 中国国内草地螟研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(1): 215–218.
- [7] 黄绍哲, 江幸福, 雷朝亮, 等. 草地螟 (*Loxostege sticticalis*) 周期性大发生与太阳黑子活动相关性[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4823–4829.
- [8] 刘杰, 姜玉英, 曾娟, 等. 2018 年我国东北局部草地螟重发[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(5): 36–41.
- [9] 全国农业技术推广服务中心. 草地螟出现越冬代成虫高峰, 警惕一代幼虫危害[R]. 植物病虫情报, 2019 年第 22 期. (2019–06–17). <https://www.natesc.org.cn/html/2019-06-18/28092-151760-2019-06-18458933.html>.
- [10] 江幸福, 张蕾, 程云霞, 等. 草地螟第 4 个发生周期或将来临[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 79–81.
- [11] 李景如, 魏倩, 崔万里, 等. 草地螟成虫生物学特性观察[J]. 黑龙江农业科学, 1982(5): 38–40.
- [12] 刘光涛, 郭向东, 张金, 等. 草地螟的生物学特性及其发生与条件环境的关系[J]. 病虫测报, 1987(S1): 59–64.
- [13] 崔万里. 草地螟生物学特性的观察[J]. 昆虫知识, 1992, 29(5): 289–292.
- [14] 张希林. 草地螟的生物学特性及防治研究[J]. 甘肃农业科技, 1999(1): 33–35.
- [15] 王显胜, 曾桂荣. 草地螟生物学特性及防治技术初探[J]. 中小企业管理与科技(上旬刊), 2010(5): 204–205.
- [16] GELMAN D B, WOODS C W, LOEB M J, et al. Ecdysteroid synthesis by testes of 5th instars and pupae of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hübner) [J]. Invertebrate Reproduction & Development, 1989, 15(3): 177–184.
- [17] 宋慧英, 周玲茜, 游兰韶. 三化螟 *Tryporyza incertulas* (Walker) 内部生殖系统的初步研究[J]. 昆虫学报, 1965(3): 285–296.
- [18] 陈大福, 牛宝龙, 翁宏飏, 等. 棉铃虫 (*Helicoverpa armigera*) 幼虫性特征和精子的发生[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(6): 354–357.
- [19] 刘琳, 冯启理. 鳞翅目昆虫精巢融合的研究[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2014, 46(5): 1–7.
- [20] 吴秋雁, 郭鄂. 粘虫生殖的研究Ⅲ. 生殖系统的发育[J]. 昆虫学报, 1964, 13(6): 795–802.
- [21] SALAMA H S. Spermatogenesis and testicular development in the gypsy moth *Porthetria dispar* L. [J]. Zeitschrift für Angewandte Entomologie, 1976, 81: 102–110.
- [22] 李德伟, 吴耀军, 蒋学建, 等. 鉴别棉花树毛蛾小卷蛾幼虫、蛹及成虫雌雄的方法[J]. 昆虫知识, 2008, 45(3): 489–491.
- [23] 宣家发, 万东, 何俊旭, 等. 松实小卷蛾幼虫和蛹的雌雄区分及蛹发育起点温度和产卵量的研究[J]. 森林病虫通讯, 1996(4): 29–30.

- [8] ZHAO Yan, WEI Wei, LEE I M, et al. Construction of an interactive online phytoplasma classification tool, iPhyClassifier, and its application in analysis of the peach X-disease phytoplasma group (16SrIII) [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2009, 59(Pt10): 2582–2593.
- [9] LEE I M, MARTINI M, MARCONE C, et al. Classification of phytoplasma strains in the elm yellows group (16Sr V) and proposal of ‘*Candidatus Phytoplasma ulmi*’ for the phytoplasma associated with elm yellows [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2004, 54: 337–347.
- [10] JUNG H Y, SAWAYANAGI T, KAKIZAWA S, et al. ‘*Candidatus Phytoplasma ziziphi*’, a novel phytoplasma taxon associated with jujube witches’-broom disease [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2003, 53(2): 1037–1041.
- [11] MARTINI M, MURAU E, MORI N, et al. Identification and epidemic distribution of two flavescence dorée-related phytoplasmas in Veneto (Italy) [J]. Plant Disease, 1999, 83(10): 925–930.
- [12] MALEMBIC-MAHER S, SALAR P, FILIPPIN L, et al. Genetic diversity of European phytoplasmas of the 16Sr V taxonomic group and proposal of ‘*Candidatus Phytoplasma rubi*’ [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2011, 61(9): 2129–2134.
- [13] WIN N K, LEE S Y, BERTACCINI A, et al. ‘*Candidatus Phytoplasma balanitae*’ associated with witches’ broom disease of *Balanites triflora* [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2013, 63(2): 636–640.
- [14] LAI Fan, SONG Chansheng, REN Zhengguang, et al. Molecular characterization of a new member of the 16Sr V group of phytoplasma associated with *Bischofia polycarpa* (Lavl.) Airy Shaw witches’ broom disease in China by a multiple gene-based analysis [J]. Australasian Plant Pathology, 2014, 43(5): 557–569.
- [15] FRANOVA J, DE SOUSA E, KOLONIUK I, et al. Multi-gene characterization of a new ‘*Candidatus Phytoplasma rubi*’-related strain associated with blackberry witches’ broom in Portugal [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2016, 66(3): 1438–1466.
- [16] JARAUSCH W, JARAUSCH B, FRITZ M, et al. Epidemiol-
- ogy of European stone fruit yellows in Germany: the role of wild *Prunus spinosa* [J]. European Journal of Plant Pathology, 2019, 154(2): 463–476.
- [17] HODGETTS J. Rapid sample preparation and LAMP for phytoplasma detection [J]. Methods in Molecular Biology, 2019, 1875: 187–201.
- [18] NAVRÁTIL M, VÁLOVÁ P, FIALOVÁ R, et al. Survey for stone fruit phytoplasmas in the Czech Republic [J]. Acta Horticulturae, 2001, 550(2): 377–382.
- [19] SERTKAYA G, MARTINI M, ERMACORA P, et al. Detection and characterization of phytoplasmas in diseased stone fruits and pear by PCR-RFLP analysis in Turkey [J]. Phytoparasitica, 2005, 33(4): 380–390.
- [20] OLIVIER T, KUMMERT J, STEYER S, et al. First detection of European stone fruit yellows phytoplasma (ESFY) in Belgium [J]. Acta Horticulturae, 2004, 124(657): 519–521.
- [21] VALASEVICH N, SCHNEIDER B. Detection, identification and molecular diversity of ‘*Candidatus Phytoplasma prunorum*’ in Belarus [J]. Journal of Plant Pathology, 2016, 98(3): 625–629.
- [22] ABOUJAWDAH Y, DAKHIL H, MOLINO LOVA M, et al. Preliminary survey of potential vectors of ‘*Candidatus Phytoplasma phoenicium*’ in Lebanon and probability of occurrence of apricot chlorotic leaf roll (ACLR) phytoplasma [J]. Bulletin of Insectology, 2011, 64(S): 123–124.
- [23] DICKINSON M B, BOONHAM N, HODGETTS J, et al. Phytoplasma phylogenetics based on analysis of *secA* and 23S rRNA gene sequences for improved resolution of candidate species of ‘*Candidatus Phytoplasma*’ [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2008, 58(8): 1826–1837.
- [24] RASOULPOUR R, SALEHI M, BERTACCINI A. Association of a ‘*Candidatus Phytoplasma aurantifolia*’-related strain with apricot showing European stone fruit yellows symptoms in Iran [J]. 3 Biotech, 2019, 9(3): 1–6.
- [25] SEEMÜLLER E, SCHNEIDER B. ‘*Candidatus phytoplasma mali*’, ‘*Candidatus Phytoplasma pyri*’ and ‘*Candidatus Phytoplasma prunorum*’, the causal agents of apple proliferation, pear decline and European stone fruit yellows, respectively [J]. International Journal of Systematic & Evolutionary Microbiology, 2004, 54(4): 1217–1226.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 185 页)

- [24] 陈艺欣, 田厚军, 魏辉, 等. 小菜蛾幼虫、蛹和成虫的雌雄形态识别 [J]. 福建农业学报, 2011, 26(4): 611–614.
- [25] 王丽平, 嵇保中, 刘曙雯, 等. 微红梢斑螟雌雄形态识别 [J]. 中国森林病虫, 2014, 33(5): 13–16.
- [26] 冯丽凯, 刘政, 李国富, 等. 苹果蠹蛾不同虫态体征及雌雄个体的快速鉴别方法 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(2): 354–360.
- [27] 王政, 孟倩倩, 谭乐和, 等. 黄翅绢野螟蛹和成虫雌雄形态的快

速鉴定 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(5): 1185–1190.

- [28] 张蒙, 马涛, 白雪姣, 等. 香梨优斑螟蛹和成虫的性别鉴定 [J]. 植物保护, 2014, 40(1): 119–121.
- [29] 田卉, 刘映红. 稻纵卷叶螟雌雄蛹的鉴别方法 [J]. 植物医生, 2012, 25(5): 10–11.
- [30] 张军, 杜茜, 王振营, 等. 一种快速鉴别亚洲玉米螟雌雄的方法 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(5): 1484–1488.

(责任编辑: 杨明丽)