

基础知识

Basic Knowledge

灯下诱集的亚洲玉米螟成虫形态近似种的鉴别

王文强, 刘凯强, 张天涛, 白树雄, 何康来, 王振营*

(中国农业科学研究院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193)

摘要 尖双突野螟 [*Sitochroa verticalis* (Linnaeus)], 豆扇野螟 [*Pleuroptya ruralis* (Scopoli)], 横线镰翅野螟 [*Circobotys heterogenalis* (Bremer)] 与亚洲玉米螟 [*Ostrinia furnacalis* (Guenée)] 均为草螟科昆虫, 这几种昆虫的成虫在外部形态上极其相似, 在利用测报灯对亚洲玉米螟种群动态进行监测时, 常误将这 3 种草螟科的昆虫当做亚洲玉米螟, 从而影响亚洲玉米螟种群动态及预测预报的准确性。为此本文对以上 3 种草螟科昆虫及亚洲玉米螟成虫的形态进行描述, 并结合其线粒体 COI 基因序列进行了种类鉴定, 同时还利用稳定碳同位素技术对其寄主植物来源进行了分析。

关键词 尖双突野螟; 豆扇野螟; 横线镰翅野螟; 亚洲玉米螟

中图分类号: S 433 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.02.027

Identification of similar species with Asian corn borer in morphology captured under the lamp trap

Wang Wenqiang, Liu Kaiqiang, Zhang Tiantao, Bai Shuxiong, He Kanglai, Wang Zhenying

(State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract *Sitochroa verticalis* (Linnaeus), *Pleuroptya ruralis* (Scopoli), *Circobotys heterogenalis* (Bremer) are similar with Asian corn borer *Ostrinia furnacalis* (Guenée) in morphology, all of which belong to the family Crambidae. It is easy to make a mistake to recognize the three species listed above as *O. furnacalis* when monitoring the population dynamics by applying lamp trap for forecasting, which affects the accuracy of the population dynamics and forecast of *O. furnacalis*. Based on the morphology and the molecular markers mtDNA-COI, comparison and analysis were taken among the four species of male moths in the family Crambidae. Stable carbon isotope was applied to analyze their host plants.

Key words *Sitochroa verticalis*; *Pleuroptya ruralis*; *Circobotys heterogenalis*; *Ostrinia furnacalis*

尖双突野螟 [*Sitochroa verticalis* (Linnaeus)], 豆扇野螟 [*Pleuroptya ruralis* (Scopoli)], 横线镰翅野螟 [*Circobotys heterogenalis* (Bremer)] 与亚洲玉米螟 [*Ostrinia furnacalis* (Guenée)] 均属于鳞翅目 (Lepidoptera) 草螟科 (Crambidae)。

尖双突野螟是大豆 [*Glycine max* (Linn.) Merr.] 的主要食叶害虫之一^[1], 其寄主还包括紫苜蓿 (*Medicago sativa* Linn.)、甜菜 (*Beta vulgaris* Linn.)、苧麻

(*Urtica fissa* E. Pritz.) 等, 在辽宁、黑龙江、山东、陕西等地均有分布^[2]。褚茗莉研究发现辽宁省沈阳市尖双突野螟种群发生数量较大, 她将其与亚洲玉米螟的形态特征进行了比较^[3]。国外, 在意大利博洛尼亚省梅迪奇纳 (Medicina in Bologna Province), 塞尔维亚的贝切伊 (Bečej, Serbia), 罗马尼亚 (Romania) 东北部地区的 Orășeni vale 等地区有尖双突野螟发生^[4-7], 其他地区未见报道。

收稿日期: 2015-01-16 修订日期: 2015-02-11

基金项目: 公益性行业 (农业) 科研专项 (201303026); 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-02)

致谢: 感谢中国科学院动物所武春生研究员、中山大学张丹博士、西南大学杜喜翠博士和北京农学院杜艳丽博士对本文涉及的三种草螟科昆虫的鉴定给予指导和帮助。

* 通信作者 E-mail: zywang@ippcas.cn

豆扇野螟的寄主包括大豆(*Glycine max*)、菜豆、豇豆、扁豆、绿豆、赤豆等豆类作物,以及赤麻[*Boehmeria silvestrii* (Pamp.) W. T. Wang]、山榆(*Ulmus glabra* Huds.)等^[8-11]。豆扇野螟广泛分布在古北区(包括欧洲、亚洲北部、阿拉伯北部以及非洲的撒哈拉以北地区)^[12],常见于英格兰的约克郡、英国北部地区^[13]和韩国^[14]。Mally 等对德国萨克森州、德累斯顿州等地的豆扇野螟及其他斑野螟亚科昆虫的形态学进行了研究^[15]。

横线镰翅野螟在我国分布于辽宁、陕西、山西、河北、山东、江苏、浙江、福建、江西、湖南、广东、海南、云南;国外分布在朝鲜半岛、日本、俄罗斯、罗马尼亚等地^[2,5]。已知寄主为竹类(禾本科,竹亚科)。高强对横线镰翅野螟在内的中国镰翅野螟属和细突野螟属进行了分类学研究^[16]。Mutuura 等对横线镰翅野螟及其他野螟亚科(Pyraustinae)昆虫的形态特征进行了系统研究^[17]。

稳定碳同位素技术为研究昆虫寄主植物来源提供了技术手段。昆虫体内稳定碳同位素比值($\delta^{13}\text{C}$)可以反映植食性昆虫幼虫期间所取食寄主植物的光合作用类型^[18-22]。Ponsard 等应用稳定碳同位素分析发现,温带地区欧洲玉米螟(*Ostrinia nubilalis*)的主要寄主植物是 C_4 植物玉米(*Zea mays* L.),在 C_3 植物上很少,且不同区域其 $\delta^{13}\text{C}$ 值具有较大差异^[23]。Gould 等用稳定碳同位素技术分析了取食 C_3 和 C_4 植物的美洲棉铃虫(*Helicoverpa zea*)的种群比例及不同寄主植物的庇护所功能^[21]。叶乐夫等应用稳定碳同位素技术分析了华北部分地区春季羽化的越冬代棉铃虫(*Helicoverpa armigera*)的寄主植物来源,明确棉铃虫不同世代的庇护所^[24]。

在我国吉林省公主岭市,我们在利用高压汞灯诱集亚洲玉米螟,并监测其种群发生动态时还诱集到 3 种与亚洲玉米螟成虫形态极为相似的草螟科昆虫:尖双突野螟、豆扇野螟和横线镰翅野螟。这 3 种草螟科成虫的形态特征和大小与亚洲玉米螟相似,因此在利用测报灯监测亚洲玉米螟种群发生动态时,易误将这 3 种草螟科昆虫当做亚洲玉米螟,从而影响亚洲玉米螟种群动态监测及预测预报的准确性。为此本文将以上 4 种草螟科昆虫成虫的形态进行描述,并结合其线粒体 CO I 基因序列进行了鉴定,同时利用稳定碳同位素技术对其寄主植物来源

进行了分析。

1 材料与方法

1.1 成虫诱集

在 2014 年 7—8 月 20:00—22:00 在吉林省公主岭市周边玉米田附近用高压汞灯诱集成虫,利用解剖镜(型号:SZ61)和超景深三维显微镜(VHX-2000)对所诱集的昆虫(根据诱集的数量每种 20~30 头不等)的外部形态、雄性外生殖器、中足胫节进行比较分析。

1.2 线粒体 CO I 基因序列分析

引物 CO I F: 5'-CAAGAAGAATCGTTGAAAATGGAGC-3'; CO I R: 5'-TGGAAAGTTCGTTATATGAATGTTCTGC-3'^[25]。CO I 扩增反应体系: $2 \times \text{Taq PCR Master Mix}$ 12.5 μL , 上下游引物各 1 μL , 模板 DNA 1.5 μL , 去离子水 H_2O 补充至 25 μL 。CO I 扩增反应程序: 96℃ 预变性 3 min; 94℃ 变性 30 s, 47℃ 退火 1 min, 70℃ 延伸 2 min, 35 个循环; 循环结束后 70℃ 延伸 7 min。PCR 产物回收及测序: 利用 OMEGA 公司的 DNA 回收纯化试剂盒回收 PCR 产物, 回收样品委托上海生工生物工程股份有限公司(Sangon)测序。为了提高测序的精确性, 采取正反链双向测通, 测序引物同扩增引物。

1.3 稳定碳同位素比值($\delta^{13}\text{C}$)的测定方法

将诱集的尖双突野螟、豆扇野螟和横线镰翅野螟等 3 种草螟科昆虫的翅委托巴斯特(北京)防治荒漠化科技研究所应用同位素比率质谱仪(Isotope Ratio Mass Spectrometer, 型号: DELTA V Advantage)与元素分析仪(Elemental Analyzer, 型号: Flash EA1112 HT)对其 $\delta^{13}\text{C}$ 值进行测定。样品在元素分析仪中高温燃烧后生成 CO_2 , 质谱仪检测生成 CO_2 的 ^{13}C 与 ^{12}C 比率, 并与国际标准物(PDB)比对后计算出样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值, 测定精度: $\delta^{13}\text{C} < 0.1\text{‰}$ 。 $\delta^{13}\text{C}$ 表达式:

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = [(R_{\text{samples}} - R_{\text{standard}}) / R_{\text{standard}}] \times 1000.$$

2 结果与分析

2.1 尖双突野螟、豆扇野螟、横线镰翅野螟与亚洲玉米螟雄蛾形态学比较

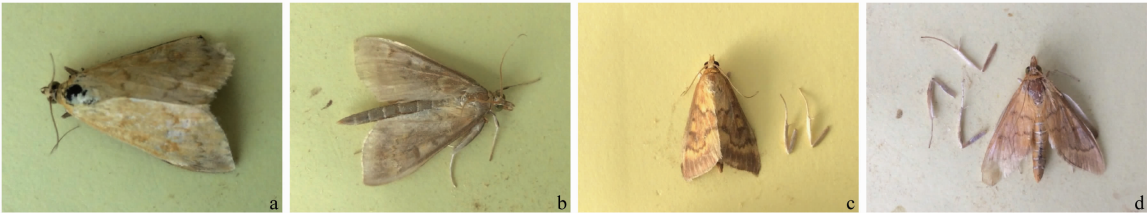
2.1.1 外部形态比较

4 种草螟科昆虫雄蛾的特征见表 1、图 1~2。

表 1 4 种草螟科昆虫雄蛾外部形态特征的比较

Table 1 Comparison of external morphological characters of male moths of the four species in Crambidae

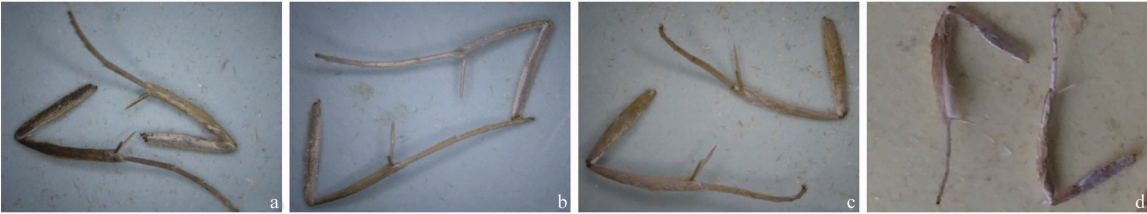
种类 Species	体长/mm Body length	翅展/mm Wing span	翅色 Wing color	前翅内外横线 Inner and outer dash of forewing	胸腹部 Thorax and abdomen	腹长 Abdomen length	中足胫节 Tibia of middle leg
尖双突野螟 <i>Sitochroa verticalis</i>	12~15	24~29	淡黄色	内横线浅褐色,内斜弯曲,波 纹状;外横线浅褐色,锯齿状	黄褐色,腹部黑 色有浅条纹	短于前翅	细长,灰黑色,胫节无 沟和毛簇
豆扇野螟 <i>Pleuroptya ruralis</i>	13~16	25~32	灰色暗黄	内横线不明显;外横线呈浅褐 色,锯齿状	褐色,腹部灰色 有浅条纹	长于前翅	细长,灰白色,胫节无 沟和毛簇
横线镰翅野螟 <i>Circobotys heterogenalis</i>	11~13	22~26	橙黄色	外横线深灰褐色,较直,细锯 齿状;外横线深褐色,向内弯 曲,细锯齿状	腹部黄褐色,有 白色条纹	长于前翅	粗短,内侧有沟和毛 簇,毛簇为白色,细长
亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	13~15	24~32	黄褐色	内横线褐色,锯齿状。外横线 褐色,向内弯曲,锯齿状	腹部黑褐色有 浅条纹	长于前翅	细长,黄褐色,胫节无 沟和毛簇



a: 尖双突野螟; b: 豆扇野螟; c: 亚洲玉米螟; d: 横线镰翅野螟
a: *Sitochroa verticalis*; b: *Pleuroptya ruralis*; c: *Ostrinia furnacalis*; d: *Circobotys heterogenalis*

图 1 4 种雄性螟蛾外部形态比较

Fig. 1 Comparison of external morphological characters of male moths of the four species in Crambidae



a: 尖双突野螟; b: 豆扇野螟; c: 亚洲玉米螟; d: 横线镰翅野螟
a: *Sitochroa verticalis*; b: *Pleuroptya ruralis*; c: *Ostrinia furnacalis*; d: *Circobotys heterogenalis*

图 2 4 种草螟科昆虫中足胫节比较

Fig. 2 Comparison of middle leg tibia of male moths of the four species in Crambidae

2.1.2 雄性外生殖器比较

尖双突野螟、豆扇野螟、横线镰翅野螟雄性外生殖器特征与亚洲玉米螟的差异较大(图 3)。

尖双突野螟的雄性外生殖器爪状突不分裂,舍状,顶端具长毛;抱器端椭圆形,整个抱器平展呈“U”型,抱器端缘分布整齐的长毛;抱器为两弯曲长刺,抱器腹无刺分布。阴茎针 3 根不等长,突出外露。

豆扇野螟的雄性外生殖器爪状突不分裂,鸭嘴状,顶端无毛分布,抱器花瓣状、透明,具一弯曲长刺,抱器腹无刺分布。阴茎钝圆,内部骨化部分呈片状结构。

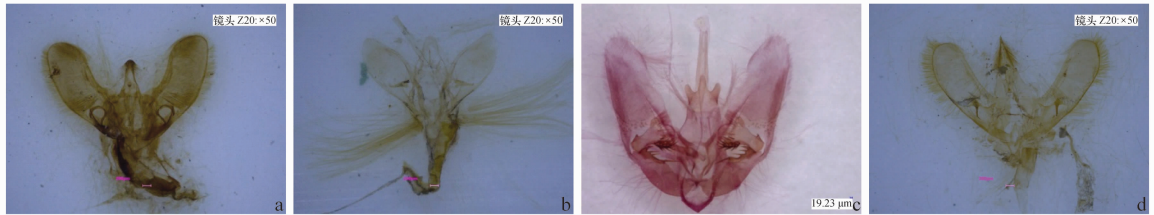
亚洲玉米螟雄性外生殖器爪状突三分裂,中侧叶较两侧叶长且宽;抱器鳞状刚毛稀疏,强刺浓密;抱器

腹具刺区长于无刺区,具刺区分布长刺 3~4 根。

横线镰翅野螟的雄性外生殖器爪状突不分裂,锥状,顶端具毛;抱器端椭圆形,整个抱器平展呈“V”型,抱器端缘分布整齐的长毛;抱器为两长刺,抱器腹无刺分布。

2.2 线粒体 CO I 基因序列比较

尖双突野螟、横线镰翅野螟的线粒体 CO I 基因序列的长度分别为 1 113 bp 和 1 117 bp。在 BOLD SYSTEMS 网站(<http://www.boldsystems.org/>)上进行相似性搜索,结果显示所测序列分别与尖双突野螟(KC405028)、横线镰翅野螟(KC405043) mtDNA-COI 基因相似性极高,达 100%。豆扇野螟 mtDNA-COI 基因序列与网站搜索有差异,需要进一步研究。



a: 尖双突野螟; b: 豆扇野螟; c: 亚洲玉米螟; d: 横线镰翅野螟
a: *Sitotropha verticalis*; b: *Pleuropterya ruralis*; c: *Ostrinia furnacalis*; d: *Circobotys heterogonialis*

图3 4种螟蛾雄性外生殖器比较

Fig. 3 Comparison of male genitalia of the four species in Crambidae

2.3 稳定碳同位素技术分析其寄主植物来源

对采集的豆扇野螟、横线镰翅野螟、尖双突野螟成虫翅进行稳定碳同位素分析发现:横线镰翅野螟翅 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-30.46\text{‰} \pm 0.438\text{‰}$ 其中部分横线镰翅野螟翅 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -14.84‰ , 因此横线镰翅野螟不仅取食 C_3 寄主植物而且取食 C_4 寄主植物。豆扇野螟翅 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-29.74\text{‰} \pm 1.037\text{‰}$, 其寄主植物为 C_3 光合作用类型。尖双突野螟翅 $\delta^{13}\text{C}$ 值多数为 $-30.01\text{‰} \pm 1.760\text{‰}$, 其中部分尖双突野螟翅 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 -14.88‰ , 因此尖双突野螟不仅取食 C_3 寄主植物而且取食 C_4 寄主植物。

取食玉米的亚洲玉米螟其翅 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-13.46\text{‰} \pm 0.51\text{‰}$, 取食苋菜的为 $-13.64\text{‰} \pm 0.73\text{‰}$ (未发表数据), 据此推测横线镰翅野螟、尖双突野螟所取食的 C_4 植物为玉米和苋菜的可能性比较大, 具体取食的作物种类有待进一步研究。

3 讨论

本研究为利用测报灯监测亚洲玉米螟种群动态时, 将亚洲玉米螟与其他3种草螟科昆虫区分开来提供了技术支撑, 但在实际监测过程中还需要根据其形态特征仔细鉴别。同时, 本研究利用稳定碳同位素技术分析了这几种昆虫的寄主来源, 对进一步研究横线镰翅野螟和尖双突野螟是否是玉米害虫有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 崔娟, 史树森, 徐伟, 等. 温度对尖锥额野螟幼虫取食量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(25): 313-316.
- [2] 张治良, 赵颖, 丁秀云. 沈阳昆虫原色图鉴[M]. 沈阳: 辽宁民族出版社, 2009.
- [3] 褚茗莉. 沈阳地区玉米螟及其近似种的鉴别[J]. 辽宁农业科学, 1979(3): 25-27.
- [4] Maini S, Burgio G. Influence of trap design and phenylacetal-

dehyde upon field capture of male and female *Ostrinia nubilalis* (Hb.) (Lepidoptera, Pyralidae) and other moths [J]. Bollettino dell'Istituto di Entomologia della Università degli Studi di Bologna, 1990, 45: 157-165.

- [5] Corduneanu C, Balan C, Surugiu I. Lepidoptera of humid area "Orășeni Vale" (Orășeni Vale, Botoșani County, Romania) [J]. Entomologica Romanica, 2007, 12: 113-120.
- [6] Puskás J, Nowinszky L, Zoltán Mészáros Z. Light-trap catch of moth species of the becse-type light trap in connection with the height of the tropopause [J]. Nature and Environment, 2014, 19(2): 173-178.
- [7] Nowinszky L, Puskás J, Mészáros Z, et al. Light-trap catch of moth species of the Becse-type light trap depending on the solar activity featured by Q-index [J]. Caribbean Journal of Science and Technology, 2015, 3: 752-760.
- [8] Romanowski H P. Population ecology of *Pleuropterya ruralis* (Scopoli) (Pyralidae: Pyraustinae) [D]. The British West Yorkshire; University of Leeds, 1991.
- [9] Henwood B P. Larvae of *Pleuropterya ruralis* (Scopoli, 1763) (Lepidoptera: Pyralidae) found on *Ulmus glabra* [J]. Entomologist's Gazette, 1999, 50(4): 238.
- [10] Mitamura T, Matsuki N. Pheromone trap catches of bean webworm *Pleuropterya ruralis* (Lepidoptera: Crambidae) in soybean fields and colonies of *Boehmeria silvestrii* [J]. Annual Report of the Society of Plant Protection of North Japan, 2009 (60): 196-198.
- [11] Mochizuki F, Aoki Y, Sugie H, et al. Sex attractant of the bean webworm, *Pleuropterya ruralis* (Crambidae: Pyraustinae) [J]. Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology, 2009, 53(2): 53-56.
- [12] Novák I. A field guide in colour to butterflies and moths [M]. Portland: Octopus Books, 1985.
- [13] Sutton S L, Beaumont H E, Smith H M. Butterflies and moths of Yorkshire; distribution and conservation [M]. Doncaster: Yorkshire Naturalists Union, 1989.
- [14] Cho Y H, Kim Y J, Han Y G, et al. A faunistic study of moths on Wolchulsan National Park [J]. Journal of National Park Research, 2010, 1(2): 108-126.

3 结论与讨论

快速准确地鉴定昆虫性别是进行测报和防治的前提和基础,本文详细描述了四线奇尺蛾天津亚种蛹和成虫的形态特征,并筛选出了稳定的鉴别特征。可以按照以下特征准确地辨别出雌蛹、雄蛹、雌成虫和雄成虫:雌蛹生殖孔位于第8腹节后缘中央,两侧平坦,无凸起,并且生殖孔与肛门间的距离明显大于雄蛹;雄蛹生殖孔位于第9腹节腹面中央,生殖孔两侧各有1半圆性形瘤状突起。雌成虫体长和前翅长均较雄成虫短,腹部末端圆筒状,而雄成虫腹部末端稍尖。以上鉴定四线奇尺蛾天津亚种的方法简单易行,并用羽化出的成虫进行验证,准确率可达100%。

相关研究表明,桐花树毛颚小卷蛾(*Lasiognatha cellifera*)、柚木野螟(*Pyrausta machaeralis*)、绿翅绢野螟(*Diaphania angustalis*)、香梨优斑螟(*Euzophera pyriella*)和麻楝蛀斑螟(*Hypsipyla robusta*)等蛾类蛹的外部形态特征多相似,共性特征为:雌蛹生殖孔位于第8腹节腹面中央,且生殖孔两侧平坦无突起,雄蛹生殖孔位于第9腹节腹面中央,生殖孔两侧各有瘤状突起。但四线奇尺蛾天津亚种雌蛹的生殖孔位于第8腹节腹面后缘中央,此特征明显区别于上述蛾类,但与春尺蠖的雌蛹特征较为相似。从已有的报道看,蛾类雌蛹的生殖孔着生位置在同

科的不同物种中也表现出差异,如玉米螟雌蛹的生殖孔位于腹部第8与第9节之间,明显与上述几种螟蛾不同。因此,蛾类科级阶元生殖孔着生位置的总体规律还有待于对更多种类进行观察总结。

四线奇尺蛾天津亚种是新发现的一种危害柠条锦鸡儿的食叶害虫,本研究仅仅对该害虫蛹和成虫的外部形态特征进行了观察与描述,对该害虫的生物学、发生规律和化学防治等方面的内容还需做全面研究。

参考文献

- [1] 蔡卫东,蔡卫群,刘志韬,等. 绿翅绢野螟蛹期雌雄鉴别[J]. 中国森林病虫, 2014, 33(5): 17-19.
 - [2] 李德伟,吴耀军,蒋学建,等. 鉴别桐花树毛颚小卷蛾幼虫、蛹及成虫雌雄的方法[J]. 昆虫知识, 2008, 45(3): 489-491.
 - [3] 马涛,杨兴翠,孙朝晖,等. 麻楝蛀斑螟蛹和成虫的雌雄形态鉴定[J]. 中国森林病虫, 2013, 32(6): 15-17.
 - [4] 张蒙,马涛,朱雪姣,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.
 - [5] 张蒙,刘志韬,温秀军. 柚木野螟雌雄蛹鉴定[J]. 广西林业科学, 2014, 43(2): 200-203.
 - [6] 赵琦,张云慧,刘怀,等. 鉴别旋幽夜蛾雌雄蛹的方法[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(6): 1879-1881.
 - [7] 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)
-
- (上接 154 页)
- [15] Mally R, Nuss M. Phylogeny and nomenclature of the box tree moth, *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) comb. n., which was recently introduced into Europe (Lepidoptera: Pyraloidea: Crambidae: Spilomelinae)[J]. European Journal of Entomology, 2010, 107(3): 393-400.
 - [16] 高强. 中国镰翅野螟属和细突野螟属分类学研究(鳞翅目草螟科)[D]. 天津:南开大学, 2013.
 - [17] Mutuura A. Classification of Japanese *Pyrausta* group based on the structure of the male and female genitalia [J]. Bulletin of the Naniwa University, Series B, 1954, 4: 7-33.
 - [18] Boutton T W, Cameron G N, Smith B N. Insect herbivory on C₃ and C₄ grasses [J]. Oecologia, 1978, 36(1): 21-32.
 - [19] DeNiro M J, Epstein S. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1978, 42(5): 495-506.
 - [20] Markow T A, Anwar S, Pfeiler E. Stable isotope ratios of carbon and nitrogen in natural populations of *Drosophila* species and their hosts [J]. Functional Ecology, 2000, 14(2): 261-266.
 - [21] Gould F, Blair N, Reid M, et al. *Bacillus thuringiensis*-toxin resistance management: Stable isotope assessment of alternate host use by *Helicoverpa zea* [J]. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United states of America, 2002, 99(26): 16581-16586.
 - [22] Gratton C, Andrew E F. Changes in ¹³C stable isotopes in multiple tissues of insect predators fed isotopically distinct prey[J]. Oecologia, 2006, 147(4): 615-624.
 - [23] Ponsard S, Bethenod M T, Bontemps A, et al. Carbon stable isotopes: a tool for studying the mating, oviposition, and spatial distribution of races of European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, among host plants in the field [J]. Canadian Journal of Zoology, 2004, 82(7): 1177-1185.
 - [24] 叶乐夫,付雪,戈峰. C₃和C₄植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 449-454.
 - [25] Bourguet D, Ponsard S, Streiff R, et al. Becoming a species by becoming a pest' or how two maize pests of the genus *Ostrinia* possibly evolved through parallel ecological speciation events [J]. Molecular Ecology, 2014, 23(2): 325-342.
- (责任编辑: 杨明丽)