应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2020, 57(4): 877−888. DOI: 10.7679/j.issn.2095−1353.2020.090

研究论文

草地贪夜蛾的准确鉴定*

冯 波[1**] 郭前爽[2] 王浩杰[3] 潘烈明[3] 杜永均[2***]

（1. 温州医科大学健康与环境生态研究所，温州 325035；2. 浙江大学农药与环境毒理研究所，杭州 310058；3. 宁波纽康生物技术有限公司，宁波 315000）

摘 要 **【目的】** 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 是新入侵我国的迁飞性害虫，为了筛选出有效和不易受损的形态鉴别特征。**【方法】** 本研究运用比较形态学和外生殖器解剖技术，筛选稳定、可靠的外部形态特征，描述雌雄外生殖器特征。**【结果】** 草地贪夜蛾的大小等 21 个外形特征在不同个体间存在差异，不适合用于草地贪夜蛾的准确鉴定。新筛选的翅基部黑斑等 4 个前翅特征，下唇须节黑色横带、前足胫节密被长鳞片、前足跗节黑色、腹部腹面黑斑、肩板颜色均一、前足基节内侧长毛 6 个非翅面外形特征在草地贪夜蛾个体间稳定，其中前翅中部倾斜的椭圆环形斑等 4 个特征、颜色均一肩板等 5 个特征、环形斑内部颜色特征分别存在于草地贪夜蛾雌雄蛾、雄蛾和雌蛾中。新筛选的外形特征可分别用于准确区别草地贪夜蛾与斜纹夜蛾、甜菜夜蛾。新描述了阳茎基环长大于宽等 6 个雄性外生殖器特征和囊导管基部明显宽于端部等 4 个雌性交配囊特征，其中 3 个雄性外生殖器特征和 3 个雌性交配囊特征可分别用于准确鉴定草地贪夜蛾和斜纹夜蛾雄蛾、草地贪夜蛾雌蛾和甜菜夜蛾雌蛾。**【结论】** 本研究结果不仅为草地贪夜蛾雄蛾鉴定提供了新的前翅特征，还首次为雄蛾鉴定提供了非翅面特征和为雌蛾鉴定提供了前翅特征，也筛选了新的雄性外生殖器特征和雌性交配囊特征，对我国夜蛾科昆虫生殖器研究有一定的参考价值。

关键词 草地贪夜蛾；形态特征；个体差异；雄性外生殖器；交配囊

Accurate identification of *Spodoptera frugiperda* (Smith)

FENG Bo[1**] GUO Qian-Shuang[2] WANG Hao-Jie[3] PAN Lie-Ming[3] DU Yong-Jun[2***]

(1. Institute of Health and Environmental Ecology, Wenzhou Medical University, Wenzhou 325035, China; 2. Institute of Pesticide and Environmental Toxicology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Ningbo NewCon Inc., Ningbo 315000, China)

Abstract **[Objectives]** To describe morphological characteristics that can be used to accurately identify the moth *Spodoptera frugiperda*, an invasive pest that has recently become established in China. **[Methods]** Stable, diagnostic, morphological characteristics of male and female moths, including male genitalia and female bursa copulatrix are described. **[Results]** Body size and other 20 morphological characteristics are too variable among individuals to be used to accurately identify *S. frugiperda*. In addition to 4 forewing characteristics, including black spots on the base of the forewing, 6 other morphological features, such as black scale bands on the labial palp, are found to be sufficiently invariant among individuals to serve as diagnostic features. An oblique orbicular spot in the middle of the forewing, and other 3 morphological characteristics are confined to males and females. The uniform color of humeral plates and 4 other features are confined to males, whereas the characteristic “same color of the inner part to the forewings” is confined to females. Four and two newly identified external morphological features accurately distinguish *S. frugiperda* from *S. litura* and *S. exigua* moths, respectively. Newly identified 6 diagnostic features of male *S. frugiperda* genitalia include juxta longer than wide, whereas newly identified 4 features of females bursa copulatrix include the base of the ductus bursae being obviously wider than the end. Three features of the male genitalia, and 3 of the female bursa copulatrix, accurately distinguish *S. frugiperda* from male *S. litura* and female *S. exigua*,

*资助项目 Supported projects：浙江省重点研发计划（2018C02027，2020C02003）

**第一作者 First author，E-mail：fb@wmu.edu.cn

***通讯作者 Corresponding author，E-mail：yongjundu@zju.edu.cn

收稿日期 Received：2019-10-09；接受日期 Accepted：2020-01-16

respectively. **[Conclusion]** The results of this study not only provide morphological characteristics of the forewing but also additional morphological characteristics of other body part that allow the accurate identification of male *S. frugiperda*. Forewing features that allow the accurate identification of females are also provided for the first time. In addition, our results provide a useful reference on the genitalia of noctuids, including some newly described features of the male genitalia and female bursa copulatrix.

Key words *Spodoptera frugiperda*; morphological characteristics; individual differences; male genitalia; bursa copulatrix

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*（Smith），也称秋粘虫，隶属于鳞翅目 Lepidoptera 夜蛾科 Noctuidae 灰翅夜蛾属 *Spodoptera*。该害虫源于美洲热带和亚热带地区，广泛分布于美洲大陆，是当地重要的农业害虫（Goergen *et al.*，2016）。草地贪夜蛾具有很强的迁飞能力，在几百米的高空借助风力进行远距离定向迁飞时，每晚可飞行 100 km，如果风向风速适宜，迁飞距离会更长，有报道称草地贪夜蛾成虫在 30 h 内可以从美国的密西西比州迁飞到加拿大南部，长达 1 600 km（江幸福等，2019）。目前草地贪夜蛾已经扩散至非洲撒哈拉以南地区和亚洲的印度、也门、斯里兰卡、孟加拉国、尼泊尔、泰国、缅甸、老挝等国家（吴秋琳等，2019）。2019 年 1 月在我国云南普洱市江城县首次发现该虫为害，截至 2019 年 5 月 21 日，该虫已蔓延至我国 14 个省、市（区）（秦誉嘉等，2019）。草地贪夜蛾为多食性害虫，可为害多种植物，嗜好禾本科，对玉米为害最重，在美国佛罗里达州造成玉米减产 20%，中美洲洪都拉斯玉米减产 40%，南美洲阿根廷玉米减产 72%（郭井菲等，2018）。低龄幼虫（1-3 龄）取食玉米叶片形成半透明薄膜“窗孔”，高龄幼虫（4-6 龄）取食形成不规则的长形孔洞，高龄幼虫也会取食玉米雄穗和果穗。高效实用的监测技术与早期预警是实现迁飞害虫有效防控的重要手段。草地贪夜蛾监测预警技术虽然包括雷达监测、性诱监测、高空灯监测以及分子标记等（Meagher *et al.*，2008；van der Straten *et al.*，2015），但是目前我国仍然以较为完善的农作物病虫害监测预警区域站为主体，以高空探照灯、性诱以及田间普查等技术手段进行监测（江幸福等，2019）。

在害虫监测预警时，种类的准确鉴定直接影响监测预警准确性。van der Straten 等（2015）、郭井菲等（2019）、赵胜园等（2019）、孔德英等（2019）共描述了 7 个草地贪夜蛾成虫的外部形态特征。我们在实际应用时发现，上述 7 个前翅特征中有 3 个特征在不同草地贪夜蛾雄蛾个体间存在差异，另有 2 个特征为草地贪夜蛾和斜纹夜蛾雄蛾共有。因此目前发现的草地贪夜蛾成虫的鉴别特征少，不能满足非分类专业人员和基层监测预警区域站技术人员的实际需要，筛选丰富且稳定的草地贪夜蛾前翅特征迫在眉睫。到目前为止，还没有学者提出草地贪夜蛾雌蛾的外部形态鉴别特征。上述鉴别研究的几乎都是斑纹等前翅特征，在生产实际中，草地贪夜蛾被诱捕后，由于其活动能力强，总是剧烈挣扎，导致前翅鳞片脱落，鉴别特征丢失，非分类专业人员和基层监测预警区域站的技术人员在鉴别草地贪夜蛾时可能出现无特征可用的局面，因此筛选不易受到影响的非翅面特征变得很有必要。

除了外部形态特征外，外生殖器特征由于稳定且不易损坏，常常被用于害虫的准确鉴定。中国动物志对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*（Fabricius）、甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua*（Hübner）等我国灰翅夜蛾种类的雄性外生殖器特征进行了描述（陈一心，1999），但是草地贪夜蛾为今年新迁入我国的害虫，还没有国内学者研究草地贪夜蛾雄蛾的外生殖器特征以及灰翅夜蛾属的雌性外生殖器特征。van der Straten 等（2015）虽然比较了草地贪夜蛾与斜纹夜蛾的雄性外生殖器和雌性交配囊差异，但是他们使用的特征少，同时草地贪夜蛾存在多个种群（Clark *et al.*，2007），很有必要对迁入我国的草地贪夜蛾雄性外生殖器和雌性交配囊特征进行研究。本文详细研究了草地贪夜蛾成虫的外部形态特征，

筛选出有效和不易受到损坏的形态鉴别特征，并系统描述了雄性外生殖器和雌性交配囊特征，便于草地贪夜蛾的准确鉴别。

1　材料与方法

1.1　试虫

草地贪夜蛾幼虫采自云南普洱市江城县勐烈镇桥头村瓦洛组，幼虫采集后带回室内，在室温和自然光照条件下，用新鲜玉米植株进行饲养。当幼虫生长到 3 龄后，将单个幼虫放入 50 mL 离心管中，每天检查更换幼虫食料，直至化蛹。将蛹移入新的 50 mL 离心管中，加入饱蘸纯水的棉花保持湿度。每天检查成虫羽化情况。成虫羽化后利用 8%蜂蜜水饲养。

1.2　外生殖器解剖

将雌蛾体背面向上，从基部取下腹部，放入 75%酒精中，利用镊子将腹部各节的背板和腹板去掉，找到雌蛾的交配囊，去掉表面的脂肪体，得到完好交配囊。对于雄蛾而言，利用镊子将腹部末节取下，去掉背板、腹板和其他组织，得到完整外生殖器。

1.3　拍照及描述

利用 Motic 显微镜 SMZ-168 和照相系统 Moticam2506（麦克奥迪，厦门，中国）拍摄成虫外部形态特征和外生殖器特征。雌雄蛾分别解剖观察 10 头。成虫外部形态描述名称参考朱弘复和陈一心（1963）和昆虫学名词审定委员会（2000），外生殖器描述参考 van der Straten 等（2015）和昆虫学名词审定委员会（2000）。

2　结果与分析

2.1　草地贪夜蛾成虫的外部形态描述

草地贪夜蛾成虫体长 15-20 mm。下唇须 3 节，以第 2 节最长；向上伸，末端高于复眼；各下唇须节外侧有黑色横带，以第 2-3 节最为明显（图 1：E，红色箭头）。和前翅不同，雄蛾领片（图 1：A，蓝色星号）和肩板（图 1：A，绿色星号）表面密被长鳞片；领片颜色可能为均一的灰白色、灰黄色或者灰褐色（图 2：A-E），也可能为前部黑色、后部灰色（图 2：F-J）；肩板颜色为均一的灰白色、灰黄色或者灰褐色，和前翅后缘的翅面颜色相似，但是和前翅基部的翅面颜色不同（图 2）。雌蛾领片和肩板表面的鳞片与前翅相似（图 1：C）。雄蛾前翅前缘附近的颜色明显深于后缘附近，前缘附近颜色为灰色到深褐色，后缘附近颜色为灰白色到浅褐色（图 2）。前翅基部肩板下方有一纵向排列黑斑（图 1：A，红色窄箭头），黑斑外侧靠近中线可能有另一黑斑（图 1：A，蓝色窄箭头），部分个体中该黑斑可能不存在（图 2：G）。前翅前缘从中部开始向外缘有 5 个浅色斑（图 1：A，红色圆点），可能为白色、灰色或者灰黄色（图 2）；第 1 个大且长，可向臀角方向延伸至翅中部，第 2 个其次，第 3-5 个较小；第 1 白斑外侧、第 2 白斑内外侧各有一个暗色斑，和白斑形成对比。第 1 白斑靠近基部内侧有一倾斜排列的长椭圆形环形斑（图 1：A，蓝色宽箭头），环形斑的周缘颜色浅于内部，存在灰褐、红褐、橙黄、灰黄等多种颜色（图 2）；环形斑内侧可能连接一条和其走向相同的暗色斜斑（图 1：A，红色星号）；环形斑后缘连接一条纵向的倒 Y 型白色剑形纹（图 1：A，白色窄箭头），部分个体的剑形纹可能不明显（图 2：F）。环形斑外方有一形状不完整的肾形斑，与剑形纹的叉状部分相连（图 1：A，橙色宽箭头）；肾形斑的边缘由浅色线和黑色线共同组成，浅色线可以是白色、灰色或灰黄色，肾形斑内靠近外侧边框有一个小的 V 形白色斑。前翅顶角处有一个向内延伸的白斑（图 1：A，红色宽箭头），近三角形或者不规则（图 2）；白斑的顶点接着一个深色斑（图 1：A，绿色宽箭头），可能是纵三角形黑斑，也可能是近圆形褐斑（图 2），深色斑中在靠近翅脉的地方颜色更深，似从深色斑外缘伸出的剑状纹；深色斑外缘紧接白色亚缘线（图 1：A，橙色窄箭头）。中线弱（图 1：A，绿色窄箭头），灰白色至灰褐色，并且在部分个体可能不清晰（图 2）；外线比中线清晰，灰褐色（图 1A，黄色窄箭头），部分个体外线不明显（图 2）。缘线和亚缘线之间存在多个黑色斑纹（图 1：A，

紫色宽箭头），黑色斑纹形状变化较大，可以为沙漏状、近方形、三角形等（图 2）。部分个体前翅前缘基部还有多个小黑斑（图 2）。雌蛾前翅颜色整体较暗，从暗灰色到褐色，表面分布小而淡的云状纹，部分个体翅面的云状纹很少（图 3）；前翅斑纹和雄蛾差异很大，除了中线附近倾斜排列的椭圆形环形斑（图 1：C，蓝色箭头）和其外方的肾形斑（图 1：C，橙色箭头）外，其余斑纹不明显（图 1：C），部分雌蛾前翅的肾形斑也不明显（图 3）；环形斑的边缘颜色较淡，内部颜色和翅面颜色相似。胸部腹面密被绒毛，前、中、后足基节也被绒毛，以前足基节绒

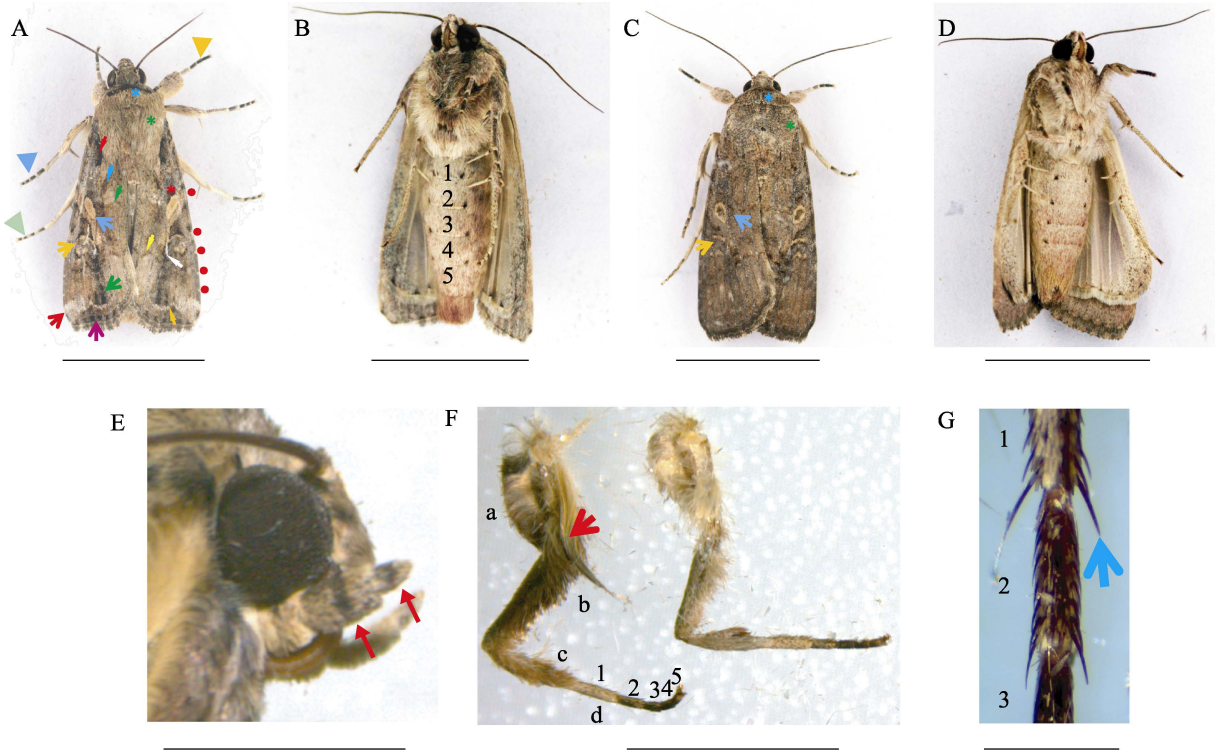

图 1　草地贪夜蛾成虫外部形态特征

Fig. 1　The external morphological characteristics of *Spodoptera frugiperda* moths

A. 雄蛾背面观，红色圆点示前翅前缘的 5 个白斑，蓝色、橙色、红色、绿色和紫色宽箭头分别表示前翅环形斑、肾形斑、顶角白斑、翅端暗斑和外缘黑斑，红色、蓝色、绿色、白色、黄色和橙色窄箭头分别表示前翅基部黑斑、中线黑斑、中线、倒 Y 型白斑、外线和亚缘线，橙色、蓝色和绿色三角形分别表示前足、中足和后足跗节，蓝色、绿色和红色星号分别表示领片、肩板和环形斑前斜带；B. 雄蛾腹面观，数字 1-5 示腹部第 1-5 可见腹节；C. 雌蛾背面观，图中标识同 A；D. 雌蛾腹面观；E. 头部侧面观，红色箭头从左至右示下唇须第 2、3 节；F. 前足侧面观，左为雄蛾、右为雌蛾，字母 a-d 分别表示基节、腿节、胫节和跗节，数字 1-5 分别表示第 1-5 跗节，红色箭头示雄蛾基节毛簇；G. 跗节腹面观，蓝色箭头示第一跗节端刺。图中横线为比例尺，A-D：10 mm；E：2 mm；F：5 mm；G：0.5 mm。

A. Dorsal view of male moth; Red dots indicating five white spots on the front edge of the forewing; Blue, orange, red, green and purple wide arrows indicating the orbicular spot, the reniform spot, the white spot at the apex, the dark spot following the white spot and the black spot around the margin of the forewing respectively; Red, blue, green, white, yellow and orange narrow arrows indicating the black spot on the base, the black spot in the middle line, the middle line, the white inverted Y spot, the outer line and the submarginal line of the forewing respectively; Orange, blue and green triangles showing tarsus of the foreleg, the middle leg and the hindleg respectively; Blue, green and red asterisks showing the collar plate, the shoulder plate and the stripe before the orbicular spot, respectively; B. Ventral view of male moth; Number 1-5 showing the visible 1st-5th abdominal segments respectively; C. Dorsal view of female moth, the figure legend refer to Fig. A; D. Ventral view of female moth; E. Dorsal view of head; Red arrows indicating the 2nd and 3rd labial palp respevtively; F. Lateral view of foreleg; Male and female forelegs in the left and right respectively; Letters a-d indicating the coxa, femur, tibia and tarsus respectively; Number 1-5 indicating the 1st-5th tarsal segments respectively; Red arrow indicating the tuft in the base of male coxa; G. Ventral view of tarsus, blue arrow indicating the terminal spine of the first tarsal segment. The horizontal lines in the drawing meaning the scales, A-D: 10 mm; E: 2 mm; F: 5 mm; G: 0.5 mm.

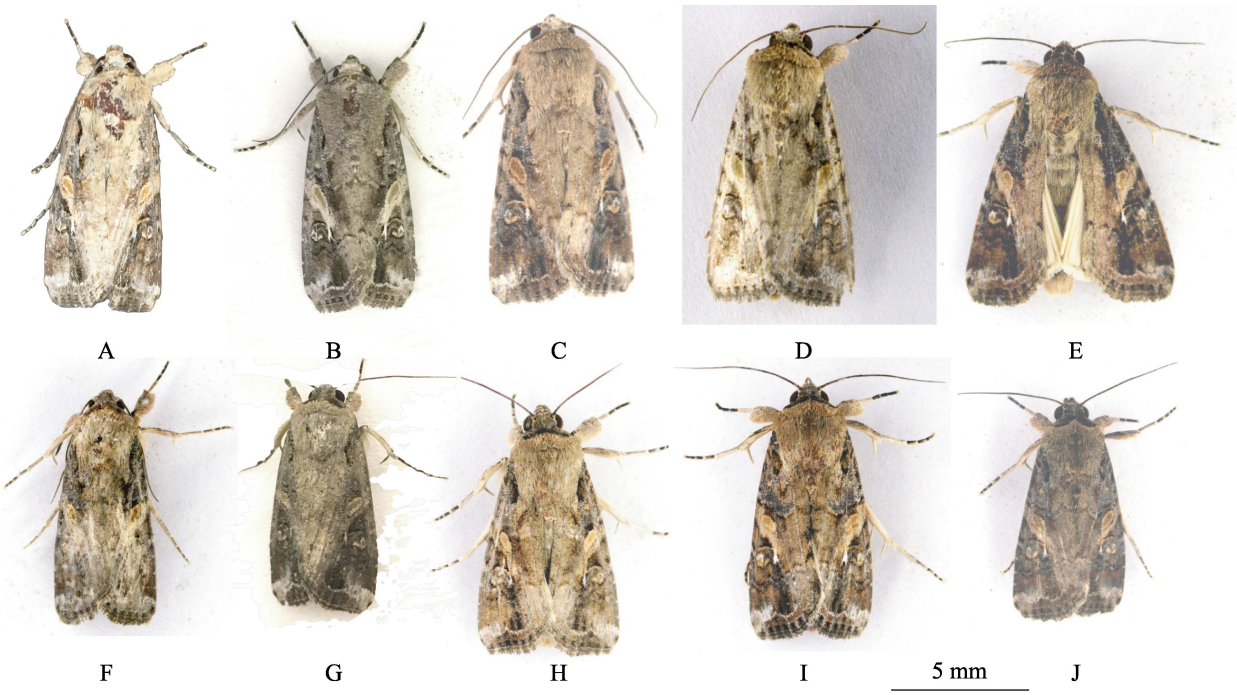

图 2　草地贪夜蛾雄蛾

Fig. 2　Male moths of *Spodoptera frugiperda*

A-J 为不同的雄蛾个体，图中横线为比例尺，A-J 共用同一比例尺。

A-J. Different male of *S. frugiperda*. The horizontal line in the drawing means the scale and the scale used for figures A-J.

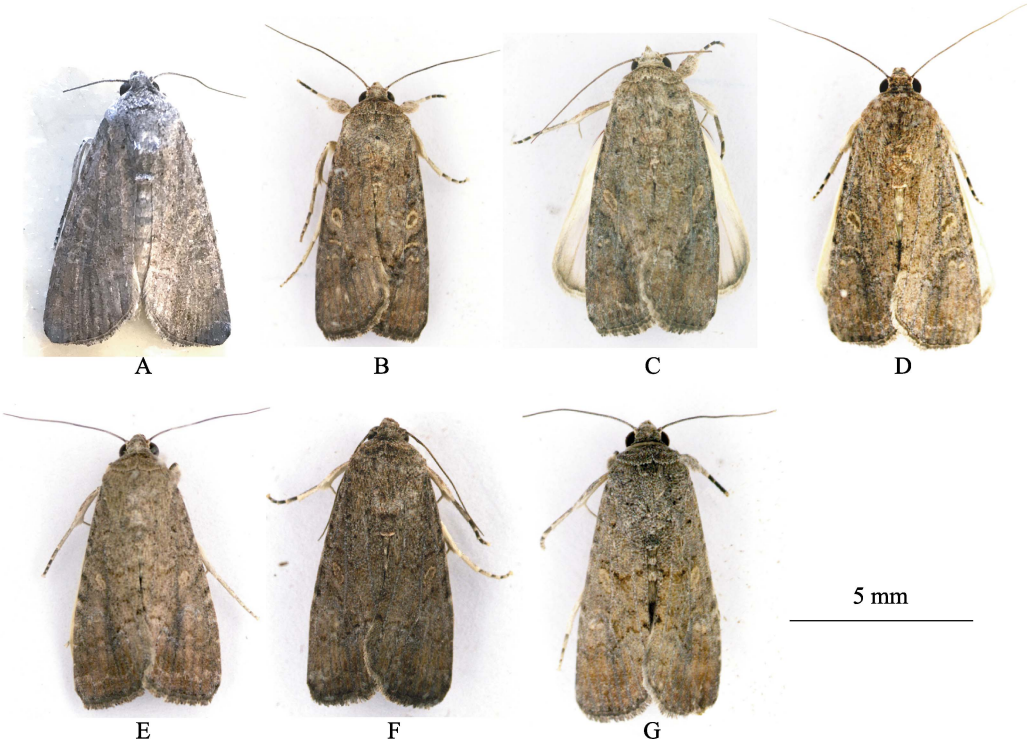

图 3　草地贪夜蛾雌蛾

Fig. 3　Female moths of *Spodoptera frugiperda*

A-G 为不同的雌蛾个体，图中横线为比例尺，图 A-G 共用同一比例尺。

A-G. Different female of *S. frugiperda*. The horizontal line in the drawing means the scale and the scale used for figures A-G.

毛最密，雄蛾前足基节基部内侧还有一丛长毛（图 1：F，红色箭头）。前足胫节从基部到端部密被长鳞片，从背面看胫节十分膨大（图 1-图 3）；中足胫节端部、后足胫节中部和端部各有一对长短不一的距（图 1）。前、中、后足第 2-5 跗节背面均有黑色鳞片，其中前足最多，第 3-5 跗节背面几乎全为黑色(图 1:A,橙色三角)；中足其次，各跗节背面端部均无黑色鳞片（图 1：A，蓝色三角）；后足的黑色鳞片最少，仅在基部有少许（图 1：A，绿色三角）；部分个体前足的第 2 跗节背面和中足的第 1 跗节背面基部也为黑色（图 2）；跗节腹面两侧各有一列小刺，其中端部两刺明显长于其余各刺，以第一跗节最明显（图 1：G，蓝色箭头）。腹部可见 5 节腹节，各节背面和侧面密被长毛；第 1-4 可见腹板后缘两侧各有一个黑斑，每侧黑斑几乎位于一条纵线上（图 1：E 和图 2：D），黑斑离背板的距离从第 1 到第 4 可见腹节逐渐变小。

2.2 草地贪夜蛾成虫外部形态的个体差异

对多个草地贪夜蛾成虫进行比较时，发现它们的大小、颜色、斑纹分布等 21 个外部形态特征存在差异（表 1），利用这些特征进行草地贪夜蛾鉴定时可能会出现困惑，甚至得到错误的

表 1 草地贪夜蛾成虫形态特征的个体差异

Table 1 Variation of morphological characteristics of *Spodoptera frugiperda* moth

编号 Number	形态特征 Morphological characters	变异类型 Variation of morphological characters
1	成虫体长 Moth length	15-20 mm
2	前翅颜色 Forewing color	灰色到深褐色、灰绿色 Gray to dark brown or grayish green
3	雄蛾领片颜色 Color of collar plates in male moth	均一的灰白色、灰黄色、灰褐色或者前部黑色、后部灰色 Uniform grayish white, grayish yellow or grayish brown or front black and back gray
4	雄蛾肩板颜色 Color of shoulder plates in male moth	灰白色、灰黄色、灰褐色 Grayish white, grayish yellow or grayish brown
5	雄蛾前翅前缘 5 个浅色斑颜色 Color of 5 light spots on the front edge of male moth’s forewings	白色、灰色、灰黄色 White, gray or grayish yellow
6	雄蛾前翅中线内侧黑斑 Black spot before the midline of the male moth’s forewings	有或无 With or without
7	雄蛾前翅前缘第 1 白斑 The first light spot on the front edge of male moth's forewings	大且长、可向臀角方向延伸至翅中部，也可以不长 Big and long, extending to middle part of wing toward to anal angle or not long
8	雄蛾前翅环形斑颜色 Color of orbicular spot of male moth’s forewings	灰褐色、红褐色、橙黄色、灰黄色 Taupe, reddish brown, orange or grayish yellow
9	雄蛾前翅环形斑内侧的暗色斜斑 The dark stripe before the orbicular spot of male moth’s forewings	长或短 Long or short
10	雄蛾前翅倒 Y 型白色剑形纹 The white inverted Y spot of male moth’s forewings	长或短 Long or short
11	雄蛾前翅肾形斑内测浅色斑颜色 The color of light spot before the reniform spot of male moth’s forewings	白色、灰色、灰黄色 White, gray or grayish yellow
12	雄蛾前翅顶角白斑 The white spot at the forewing apex of male moth	大小、形状和长短在不同个体间差异较大 The size, shape and length different among different individuals

续表 1（Table 1 continued）

编号 Number	形态特征 Morphological characters	变异类型 Variation of morphological characters
13	雄蛾前翅亚缘线内侧深色斑 Dark spots on the inner side of submarginal line of male moth's forewings	大小、颜色和形状在不同个体间差异较大 The size, shape and length different among different individuals
14	雄蛾前翅中线 Midline of male moth's forewings	灰白色至灰褐色或无 Grayish white to grayish brown or inapparent
15	雄蛾前翅外线 Outer line of male moth's forewings	白色、黑色、黑白双色或无 White, black, black and white or inapparent
16	雄蛾前翅基部小黑斑 Black spots on the base of male moth's forewings	多个或无 Several or none
17	雄蛾前翅缘线和亚缘线间的黑斑形状 Shape of black spots between the marginal line and the submarginal line of male moth's forewings	沙漏状、近方形、三角形等 Hourglass, subsquare, triangle, etc
18	雌蛾前翅的肾形斑 The reniform spot of male moth's forewings	明显或不明显 Apparent or inapparent
19	雌蛾前翅的云状纹 Cloud pattern of the female moth's forewings	明显或不明显 Apparent or inapparent
20	前足第 2 跗节背面颜色 Color of the dorsal part of the second tarsal segment of the foreleg	黑色或灰白色 Black or grayish white
21	中足第 1 跗节背面基部颜色 Color of the dorsal base of the first tarsal segment of the midleg	黑色或灰白色 Black or grayish white

鉴定结果。

2.3　草地贪夜蛾稳定的外部形态特征

在系统比较草地贪夜蛾外部形态特征的基础上，我们发现下列特征在不同个体间表现稳定，其中雌雄蛾均具有的特征有：1）前翅中部靠近前缘有倾斜排列的椭圆形环形斑，其外侧有一个明显或不明显肾形斑；2）下唇须第 2、3 节外侧中部有明显的黑色横带；3）前足胫节从基部到端部密被长鳞片，从背面看胫节十分膨大；4）前足、中足、后足第 3-5 跗节背面颜色依次变浅，前足几乎为黑色，中足各跗节端部为白色，后足仅各跗节基部为黑色；5）腹部各可见腹节背面和侧面密被长毛，第 1-4 节可见腹板后缘两侧各有一个位于一条垂直纵线的黑斑。仅雄蛾具有的特征有：6）肩板颜色均一，和前翅后缘颜色相似，和前翅基部颜色不同；7）前翅前缘附近颜色明显深于后缘附近；8）前翅基部肩板下方有一纵向排列黑斑；9）前翅前缘从中部开始向外缘有 5 个浅色斑，第 1 个大且长，第 2 个其次，第 3-5 个很小；第 1 斑外侧、第 2 斑内外侧各有一个暗色斑与其形成对比；10）环形斑着生在一条倾斜排列的长浅色斑上，环形斑后缘可能连接一条纵向的倒 Y 型白斑；11）肾形纹外侧白斑明显，常常和其内的 V 形小斑组成一个类似数字“9”的白斑；12）顶角有一个向内延伸的白斑，其后接着一个深色斑，深色斑的外缘紧接白色的亚缘线；13）前足基节基部内侧有一丛长毛。仅雌蛾具有的特征有：14）前翅颜色整体较暗，表面分布小而淡的云状纹；15）环形斑边缘颜色较淡，内部颜色和翅面颜色相似。除了特征 1、10、11、12 和 14 外，其余特征均为本文新筛选。

2.4　草地贪夜蛾雄性外生殖器特征

雄性外生殖器由阳基和阳茎组成（图 4：A，B）。阳基由爪形突、背兜、抱器瓣、基腹弧和阳茎基环组成（图 4：A）。爪形突长且尖细，

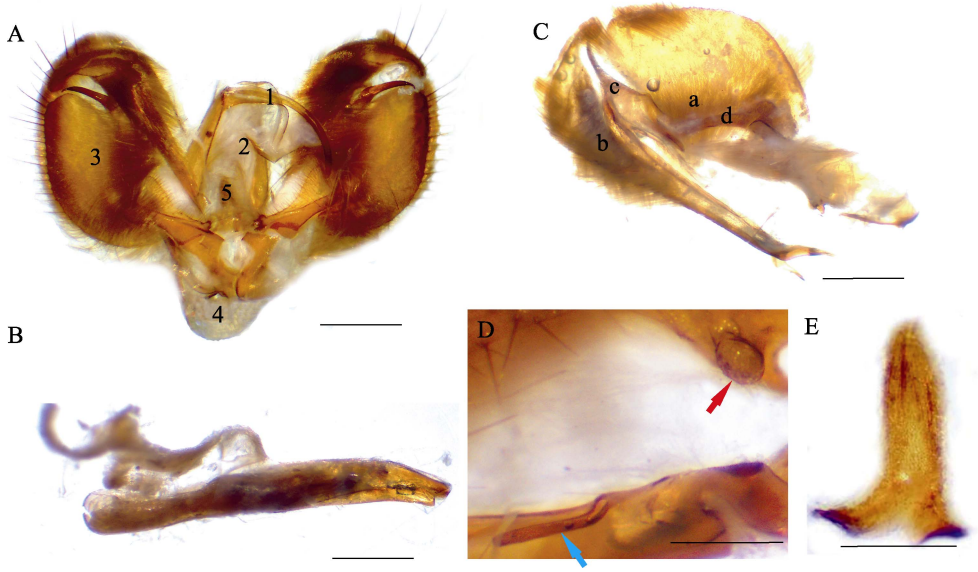

图 4　草地贪夜蛾雄性外生殖器

Fig. 4　The phallobase of *Spodoptera frugiperda*

A. 阳基，1：爪形突，2：背兜，3：抱器瓣，4：基腹弧，5：阳茎基环；B. 阳茎；C. 左抱器瓣背面；a：抱器腹，b：抱器背，c：抱器内突，d：连接抱器腹和抱器内突的长骨杆；D. 瘤状突（红色箭头）和抱器背突（蓝色箭头）；E. 阳茎基环。图中横线为比例尺：A. 1 mm; B. 1 mm; C. 0.6 mm; D. 0.1 mm; E. 0.3 mm。

A. Phallobase, 1: Uncus, 2: Tegumen, 3: Valvae, 4: Vinculum, 5: Juxta; B. Aedeagus; C. The dorsal view of the left valve, a: Sacculus; b: Costa, c: Ampulla, d: The long rod connecting sacculus and ampulla; D. Clavus (red arrow) and costal process (blue arrow); E. Juxta; The horizontal lines in the drawing meaning scales: A. 1 mm; B. 1 mm; C. 0.6 mm; D. 0.1 mm; E. 0.3 mm.

稍长于背兜；背兜端部稍窄于基部；基腹弧呈 U 形；阳茎基环长舌形，长大于宽，从基部开始两侧急剧收狭，致使基部宽于中部 2 倍，基部中央凹陷（图 4：E）。抱器瓣十分骨化，基部两侧几乎平行，靠近中部时，抱器腹突然向腹缘膨大，致使抱器瓣端半部腹缘圆弧形，明显宽于基部；抱器瓣可分为抱器背、抱器腹和抱器内突 3 部分（图 4：C）；抱器内突基部两侧近平行，从中部开始两侧向中部急剧收缩成为细长而尖细的骨针，骨针端部弯曲（图 4：C）；抱器背和抱器腹腹面密被长毛（图 4：A），靠膜连接；抱器背、抱器腹则通过骨化区域与抱器内突连接，其中抱器腹和抱器内突之间的连接区域特化为一根圆柱形的长骨杆，其长度达抱器瓣宽度的一半（图 4：C）；抱器背基部的抱器背突杆状、细长、基部弯曲（图 4：D）；抱器腹基部的瘤状突短，圆柱形（图 4：D）。阳茎外膜端半部具明显横褶；阳茎端膜端部表面有 1 小块骨化区和 1 大块毛从区，骨化区上约有 12 个小骨刺。

2.5　草地贪夜蛾雌性交配囊特征

雌蛾外生殖系统中主要用交配囊特征进行分类鉴定。草地贪夜蛾交配囊由交配囊体、囊突、囊导管、囊孔、附囊和导精管组成。囊孔长，几乎和囊导管等长，约为宽的 4 倍，特化为管状，囊孔一侧骨化呈红褐色，另一侧为白色膜质（图 5：A，C）；囊导管稍呈弧形，基部明显宽于端部，长约为基部宽度的 2 倍，骨化程度高，呈红褐色（图 5：A，C）；附囊与交配囊体和囊导管的基部相连，端部开口连接导精管，约为囊导管长度的一半，且长小于宽，呈漏斗形，和囊导管同向排列时，端部几乎和囊导管端部等高，基部稍骨化呈淡红褐色，端部为黄白色（图 5：A，C）；交配囊体膜质呈白色，长大于宽，且稍长于囊导管（图 5：A，B）；囊突小，稍骨化，近似方形，位于交配囊体的中部偏下，附囊的正上方（图 5：A，B）。

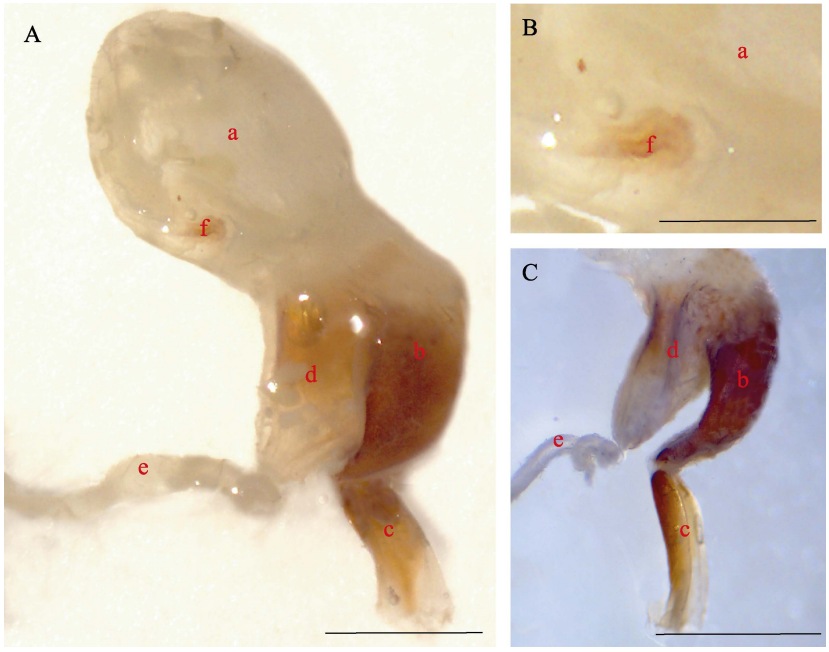

图 5　草地贪夜蛾交配囊

Fig. 5　The bursa copulatrix of *Spodoptera frugiperda*

A. 交配囊；B. 囊突；C. 囊孔和囊导管，a：交配囊体；b：囊导管；c：囊孔；d：附囊；e：导精管；f：囊突。图中横线为比例尺，A：1 mm；B：0.4 mm；C：1 mm。

A. Bursa copulatrix; B. Signum; C. Ostium bursa and ductus bursae, a: Corpus bursae; b: Ductus bursae; c: Ostium bursa; d: Appendix bursae; e: Ductus seminalis; f. Signum. The horizontal lines in the drawing meaning scales, A: 1 mm; B. 0.4 mm: C. 1 mm.

2.6　草地贪夜蛾与斜纹夜蛾雄蛾的鉴别特征

通过与斜纹夜蛾雄蛾的外部形态描述和雄性外生殖器特征进行比较，我们发现下列 11 个特征可以将草地贪夜蛾和斜纹夜蛾雄蛾区别开来：1）草地贪夜蛾肩板颜色均一；斜纹夜蛾肩板外侧颜色明显浅于内侧；2）草地贪夜蛾前翅基部无明显的白色纵条纹；斜纹夜蛾前翅基部有明显的白色纵条纹；3）草地贪夜蛾前翅中部倾斜排列的长白斑上总有一个斜排列的椭圆环形斑；斜纹夜蛾前翅中部倾斜排列的长白斑上很少有环形斑；4）草地贪夜蛾肾形斑中近外侧边框的白色 V 形斑小；斜纹夜蛾肾形斑中的白色 A 形斑大；5）草地贪夜蛾顶角白斑终止于其后的深色斑；斜纹夜蛾从顶角到后缘有一条浅色带，浅色带中后部的外侧有一个深色斑；6）草地贪夜蛾前足第 3-5 跗节背面几乎全为黑色；斜纹夜蛾前足跗节背面几乎为白色；7）斜纹夜蛾外横线与亚缘线之间有略泛蓝紫色的鳞片，草地贪夜蛾无；8）草地贪夜蛾抱器腹和抱器内突通过一根圆柱形的长骨杆连接，其长度达到抱器瓣宽度的一半；斜纹夜蛾抱器腹和抱器内突通过短骨片连接，其长度仅为抱器瓣宽度的 1/4；9）草地贪夜蛾抱器腹基部的瘤状突短，圆柱形；斜纹夜蛾抱器腹基部的瘤状突仅稍突起；10）草地贪夜蛾抱器内突从中部开始两侧向中部急剧收缩成为长骨针；斜纹夜蛾抱器内突从端部 1/3 开始腹缘急剧向背缘收缩形成短骨针；11）草地贪夜蛾阳茎基环长大于宽；斜纹夜蛾阳茎基环宽大于长。除了特征 3、4、7 和 9 外，其余特征均为本文新筛选。

2.7　草地贪夜蛾雌蛾与甜菜夜蛾的鉴别特征

通过与甜菜夜蛾的外部形态描述和雌蛾交配囊特征进行比较，我们发现下列 5 个特征可以将草地贪夜蛾和甜菜夜蛾雌蛾区别开来：1）草地贪夜蛾前足第 3-5 跗节背面几乎为黑色；甜菜夜蛾前足各跗节背面端部为白色，其余部分为黑

色；2）草地贪夜蛾前翅中部的环形斑为倾斜排列的椭圆形，斑内部颜色和翅面颜色相似；甜菜夜蛾前翅中部的环形斑为圆形或纵向排列的椭圆形，斑内部颜色和翅面颜色明显不同；3）草地贪夜蛾交配囊导管稍呈弧形，基部明显宽于端部，长度约为基部宽度的 2 倍；甜菜夜蛾交配囊导管基部和端部等宽，长约为宽的 2 倍；4）草地贪夜蛾附囊约为囊导管长度的一半，长小于宽，和囊导管同向排列时，端部和囊导管端部几乎位于同一水平；甜菜夜蛾附囊长大于宽，且长于囊导管，和囊导管同向排列时，端部和囊导管端部明显不在同一水平；5）草地贪夜蛾交配囊体稍长于囊导管；甜菜夜蛾交配囊体长于囊导管的 2 倍；6）草地贪夜蛾囊突小，近似方形，位于交配囊体的中部偏下；甜菜夜蛾囊突细长，位于交配囊体的端半部。除了特征 6 外，其余特征均为本文新筛选。

3 讨论

考虑到草地贪夜蛾有入侵欧洲的风险，van der Straten 等（2015）描述了草地贪夜蛾的鉴别特征，包括卵圆形的淡褐色环形斑、不完整但含有 V 形纹的肾形斑、外缘的沙漏状斑 3 个雄蛾前翅特征。草地贪夜蛾 2019 年 1 月在我国云南普洱市江城县首次发现后，为了便于草地贪夜蛾的准确测报，我国学者郭井菲等（2019）、赵胜园等（2019）、孔德英等（2019）报道了草地贪夜蛾成虫的形态特征。孔德英等（2019）翻译了 van der Straten 等（2015）的研究结果。郭井菲等（2019）通过比较新筛选出“环形斑下角有一白色楔形纹、翅外缘有一明显的近三角形白斑”2 个雄蛾前翅鉴别特征。赵胜园等（2019）在比较研究草地贪夜蛾和斜纹夜蛾雄蛾外部形态基础上，新筛选出“肾形纹两侧各有 1 个白斑、后翅外缘内侧的灰色线条延伸至 Cu_2 脉”等 2 个雄蛾前翅鉴别特征。令人疑惑的是，赵胜园等（2019）在结果中总结了 6 个鉴别特征，在讨论中涉及了 7 个鉴别特征，仅有 4 个鉴别特征在结果和讨论中同时出现。我们比较发现，在前人认定的用于草地贪夜蛾鉴定的 7 个雄蛾前翅特征中，前翅卵圆形的淡褐色环形斑和环形斑下角有一白色楔形纹可以和并为一个特征，并且这个特征能够准确鉴定出部分斜纹夜蛾，即雄蛾前翅有白色楔形纹而无卵圆形的淡褐色环形斑时为斜纹夜蛾，雄蛾前翅有白色楔形纹和卵圆形的淡褐色环形斑时为草地贪夜蛾或者斜纹夜蛾。草地贪夜蛾雄蛾前翅缘线和亚缘线间的黑斑形状在个体之间差异较大，并且很多斜纹夜蛾前翅外缘也具有黑斑，不适合作为草地贪夜蛾和斜纹夜蛾雄蛾的鉴别特征。肾形纹外侧的白斑总是很明显，常常和 V 形斑组成一个类似数字“9”的白斑，但是肾形纹内侧斑颜色则多变，可以为白色、灰色、灰黄色等，因此该特征可以和特征“不完整但含有 V 形纹的肾形斑”合并为肾形斑不完整，其内含的白色 V 形纹可以和外侧白斑组成一个类似数字“9”的白斑。草地贪夜蛾前翅顶角的白斑形状在不同个体间存在差异，并且强活动能力常常使雄蛾前翅的鳞片损坏，致使白斑形状改变，因此该特征可以更改为“顶角有一个向内延伸的白斑，其后接着一个深色斑，深色斑的外缘紧接白色的亚缘线”。特征“后翅外缘内侧的灰色线条延伸至 Cu_2 脉”并不十分明显，在应用时有一定难度。另外赵胜园等（2019）认为斜纹夜蛾存在而草地贪夜蛾不存在的 4 个形态特征，包括“斜纹夜蛾前翅外横线、中横线明显，斜纹夜蛾前翅外横线与中横线之间靠近后缘的褐黄色斑纹明显，斜纹夜蛾外横线内侧有剑状纹，斜纹夜蛾雄蛾外横线与亚缘线之间有略泛紫色的鳞片”等。本研究发现，部分草地贪夜蛾前翅外横线、中横线明显，并且前翅前缘附近颜色明显深于后缘附近，导致部分个体在前翅外横线与中横线之间靠近后缘也出现褐黄色斑纹，同时草地贪夜蛾外横线内侧也有明显的剑状纹。因此仅有特征“外横线与亚缘线之间有略泛紫色的鳞片”可以作为斜纹夜蛾和草地贪夜蛾的鉴别特征。我们在系统研究草地贪夜蛾前翅特征的基础上，新筛选出在不同个体间表现稳定的新雄蛾前翅特征 2 个，包括：1）前翅基部肩板下方有一纵向排列黑斑；2）前翅前缘从中部开始向外缘有 5 个浅色斑，第 1 个大且长，第 2 个其次，第 3-5 个很

小；第 1 斑外侧、第 2 斑内外侧各有一个暗色斑与其形成对比。

由于草地贪夜蛾雌蛾的翅面特征少，并且和甜菜夜蛾雌蛾的前翅及其相似，因此到目前为止，还没有学者提出过草地贪夜蛾雌蛾的鉴别特征。本研究在系统比较草地贪夜蛾雌蛾和甜菜夜蛾前翅特征的基础上，筛选出稳定特征“草地贪夜蛾雌蛾前翅环形斑边缘颜色较淡，内部颜色和翅面颜色相似”，可以用于准确鉴别草地贪夜蛾雌蛾和甜菜夜蛾。

考虑到生产实际中，草地贪夜蛾被诱捕后，其强活动能力常常导致前翅鳞片脱落，鉴别特征丢失等实际情况，我们在系统研究草地贪夜蛾非前翅特征的基础上，筛选出 6 个稳定且不易受到破坏的草地贪夜蛾非前翅特征，包括 1）下唇须第 2、3 节外侧中部有明显的黑色横带；2）前足胫节从基部到端部密被长鳞片，从背面看胫节十分膨大；3）前、中、后足第 3-5 跗节背面颜色依次变浅，前足几乎为黑色，中足各跗节端部为白色，后足仅基部为黑色；4）腹部各可见腹节背面和侧面密被长毛，第 1-4 可见腹节腹面后缘两侧各有一个位于一条垂直纵线的黑斑。可用于鉴定雄蛾的特征有：5）肩板颜色均一，和前翅后缘颜色相似，和前翅基部颜色不同。6）前足基节基部内侧有一丛长毛。其中第 1-4 特征可以用于草地贪夜蛾雌蛾和雄蛾的鉴别，第 5-6 特征仅能用于草地贪夜蛾雄蛾的鉴别。并且特征 3 用于准确鉴别草地贪夜蛾和斜纹夜蛾雄蛾、草地贪夜蛾雌蛾和甜菜夜蛾，特征 5 和 6 可用于准确鉴别草地贪夜蛾和斜纹夜蛾雄蛾。

外生殖器特征由于稳定且不易损坏，常常被用于害虫的准确鉴定。van der Straten 等（2015）在描述草地贪夜蛾鉴别特征时，就包括了抱器瓣方宽、瘤状突短、抱器背突为细长的直杆、稍弯曲的抱器内突、阳茎基环具背突 5 个骨化的雄性外生殖器特征和囊孔腹板长大于宽、囊导管短且骨化、附囊部分骨化、交配囊长大于宽的 2 倍、短的囊片位于交配囊的基半部 5 个雌性交配囊特征。我们研究发现 6 个新的雄性外生殖器特征，包括 1）爪形突长且尖细，稍长于背兜；2）阳茎基环长舌形，长大于宽，从基部开始两侧急剧收狭，致使基部宽于中部 2 倍；3）抱器内突基部两侧近平行，从中部开始两侧向中部急剧收缩成为细长而尖细的骨针；4）抱器背和抱器腹腹面密被长毛，靠膜连接；5）抱器腹和抱器内突之间的连接区域特化为一根圆柱形的长骨杆，其长度达到抱器瓣宽度的一半；6）阳茎端膜端部有 1 块骨化区和毛从区，中部有一个小骨化区。其中第 2、3 和 5 特征可用于准确鉴别草地贪夜蛾雄蛾和斜纹夜蛾（Muddasar and Venkateshalu，2017）。也新发现了 4 个雌性交配囊特征，包括：1）囊孔几乎和囊导管等长；2）囊导管稍呈弧形，基部明显宽于端部，长约为基部宽度的 2 倍；3）附囊约为囊导管长度的一半，且长小于宽，和囊导管同向排列时，端部几乎和囊导管端部等高；4）交配囊稍长于囊导管。其中第 2-4 特征可用于准确鉴别草地贪夜蛾雌蛾和甜菜夜蛾（赵晓峰等，2016）。

参考文献 (References)

Chen YX, 1999. Fauna Sinica, Insecta Vol. 16, Lepidoptera, Noctuidae. Beijing: Science Press. 1–1597. [陈一心, 1999. 中国动物志, 昆虫纲 第十六卷, 鳞翅目, 夜蛾科. 北京：科学出版社. 1–1597.]

Chinese Committee for Terms in Entomology, 2001. Chinese Terms in Entomology 2000. Beijing: Science Press. 1–238. [昆虫学名词审定委员会, 2001. 昆虫学名词 2000. 北京：科学出版社. 1–238.]

Clark PL, Molinaochoa J, Martinelli S, Skoda SR, Isenhour DJ, Lee DJ, Krumm JT, Foster JE, 2007. Population variation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the western hemisphere. *J. Insect Sci.,* 7(1): 1–10.

Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamo M, 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. *PLoS ONE*, 11(10): e0165632.

Guo JF, Jing DP, Tai HS, Zhang AH, He KL, Wang ZY, 2019. Morphological characteristics of *Spodoptera frugiperda* in comparison with three other lepidopteran species with similar injury characteristics and morphology in cornfields. *Plant Prot.,* 45(2): 7–12. [郭井菲, 静大鹏, 太红坤, 张爱红, 何康来, 王振营, 2019. 草地贪夜蛾形态特征及与 3 种玉米田为害特征

和形态相近鳞翅目昆虫的比较. 植物保护, 45(2): 7–12.]

Guo JF, Zhao JZ, He KL, Zhang F, Wang ZY, 2018. Potential invasion of the crop-devastating insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China. *Plant Prot.,* 44(6): 1–10. [郭井菲, 赵建周, 何康来, 张峰, 王振营, 2018. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国. 植物保护, 44(6): 1–10.]

Jiang XF, Zhang L, Cheng YX, Song LL, 2019. Advances in migration and monitoring techniques of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith). *Plant Prot.,* 45(1): 12–18. [江幸福, 张蕾, 程云霞, 宋琳琳, 2019. 草地贪夜蛾迁飞行为与监测技术研究进展. 植物保护, 45(1): 12–18.]

Kong DY, Sun T, Teng SN, Ye J, 2019. Identification of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* and the similar species in morphology. *Plant Quar.,* 33(4): 37–40. [孔德英, 孙涛, 滕少娜, 叶军, 2019. 草地贪夜蛾及其近似种的鉴定. 植物检疫, 33(4): 37–40.]

Meagher RL, Brambila J, Hung E, 2008. Monitoring for exotic *Spodoptera* species (Lepidoptera: Noctuidae) in Florida. *Florida Entomol.,* 91(4): 517–522.

Muddasar, Venkateshalu, 2017. Taxonomic description of the genus *Spodoptera* (Lepidoptera: Noctuidae) from Karnataka. *J. Entomol. and Zool. Stud.,* 5(5): 1854–1858.

Qin YJ, Lan S, Zhao ZH, Sun HY, Zhu XM, Yang PY, Li ZH, 2019. Potential geographical distribution of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in China. *Plant Prot.,* 54(4): 43–47. [秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 孙宏禹, 朱晓明, 杨普云, 李志红, 2019. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布. 植物保护, 54(4): 43–47.]

van der Straten MJ, Germain JF, van de Vossenberg BTLH, 2015. PM 7/124 (1) *Spodoptera littoralis*, *Spodoptera litura*, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera eridania*. *EPPO Bull.,* 45(3): 410–444.

Wu QL, Jiang YY, Hu G, Wu KM, 2019. Analysis on spring and summer migration routes of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from tropical and southern subtropical zones of China. *Plant Prot.,* 45(3): 1–9. [吴秋琳, 姜玉英, 胡高, 吴孔明, 2019. 中国热带和南亚热带地区草地贪夜蛾春夏两季迁飞轨迹的分析. 植物保护, 45(3): 1–9.]

Zhao SY, Luo QM, Sun XX, Yang XM, Jiang YY, Wu KM, 2019. Comparison of morphological and biological characteristics between *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera litura*. *China Plant Prot.,* 39(5): 26–35. [赵胜园, 罗倩明, 孙小旭, 杨现明, 姜玉英, 吴孔明, 2019. 草地贪夜蛾与斜纹夜蛾的形态特征和生物学习性比较. 中国植保导刊, 39(5): 26–35.]

Zhao XF, Yang AD, Zhang MX, 2016. A method for the rapid sex-determination of *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) pupae and adults. *J. Environ. Entomol.,* 38(5): 1066–1070. [赵晓峰, 杨安頔, 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, Chen YX, 1963. Economic Insect Fauna of China, Lepidoptera, Noctuidae (I). Beijing: Science Press. 1–172. [朱弘复, 陈一心, 1963. 中国经济昆虫志 鳞翅目 夜蛾科(一). 北京: 科学出版社. 1–172.]