



丁昌萍, 申健, 杨美霞. 3种蛾类雄性内生殖系统形态学研究 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (6): 1518–1524.

3种蛾类雄性内生殖系统形态学研究

丁昌萍, 申健, 杨美霞*

(陕西省动物研究所, 西安 710000)

摘要: 为了探究蛾类昆虫新的有效分类特征, 本研究对直脉青尺蛾 *Geometra valida*、白雪灯蛾 *Chionarctia niveus* 和多斑豹蠹蛾 *Zeuzera multistrigata* 雄性内生殖系统进行了解剖观察和形态学比较。结果表明: 3种蛾类雄性内生殖系统均由精巢、贮精囊(前贮精囊和后贮精囊)、输精管、复射精管、单射精管(单射精管原节和单射精管表皮节)和附腺组成; 种间形态差异表现在贮精囊的形状及连接方式、复射精管的形状及长短、单射精管和附腺的长度等方面, 这些鉴别特征可为蛾类分类及系统发育研究提供形态学借鉴。

关键词: 鳞翅目; 直脉青尺蛾; 白雪灯蛾; 多斑豹蠹蛾; 雄性内生殖系统

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 06-1518-07

Morphological structure of the male internal reproductive system of three moths species

DING Chang-Ping, SHEN Jian, YANG Mei-Xia* (Shaanxi Institute of Zoology, Xi'an 710000, China)

Abstract: In order to investigate new effective classification features of moths, this study conducts anatomical observation and morphological comparison of the male reproductive system of *Geometra valida*, *Chionarctia niveus*, and *Zeuzera multistrigata*. The results show that the male internal reproductive system of the three moths consists of the testes, seminal vesicle (anterior seminal vesicle and posterior seminal vesicle), vas deferens, ductus ejaculatorius duplex, ductus ejaculatorius simplex (the primary segment of the ductus ejaculatorius simplex and the cuticular segment of the ejaculatorius simplex) and accessory gland. The morphological differences among species are reflected in the shape and connection type of the seminal vesicle, the shape and length of the compound ejaculatory duct, the length of the single ejaculatory duct and the accessory gland. These identification characteristics can provide morphological data for research of taxonomy and phylogenetics of moths.

Key words: Lepidoptera; *Geometra valida*; *Chionarctia niveus*; *Zeuzera multistrigata*; the male internal reproductive system

昆虫的生殖系统是产生雌、雄配子, 繁育后代的重要器官, 对种族的延续具有非常重要的作用 (Gullan *et al.*, 2010)。同时, 生殖系统的构造也是系统发育研究中的重要特征, 传统分类中外

生殖器的结构特征是昆虫分类中鉴别种类的主要依据。但许多学者发现内生殖器中的精巢和附睾的位置关系、射精管的形态特征、外胚层附腺的形态及数量在不同类群之间尤其是高级分类阶元

基金项目: 陕西省林业局项目 (SXRCZB2019-ZC-DY1002)

作者简介: 丁昌萍, 女, 1987年生, 山东临沂人, 博士, 主要从事昆虫系统学与生物多样性研究, E-mail: dingchangping501@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 杨美霞, 女, 博士, 副研究员, 主要从事昆虫系统学与生物多样性研究, E-mail: ymeixia2013@163.com

收稿日期 Received: 2019-11-14; 接受日期 Accepted: 2020-06-08

表现出显著差异, 因此雄性生殖系统的变化可为昆虫分类及其系统发育研究提供有价值的、可靠的信息 (Jamieson *et al.*, 1999; 申健, 2013; Gottardo *et al.*, 2016)。目前对蛾类雄性生殖系统的研究鲜有报道, 致使种的鉴定及系统发育研究缺少雄性生殖系统的有力支持。因此, 蛾类生殖系统的研究越来越受到众多学者的重视。1960 年, Callahan 等首次对夜蛾科 Noctuidae 两种昆虫的雄性生殖系统特征进行了详细描述, 并指出这两种蛾类的精巢颜色及贮精囊着生的方式不同。国内最早对蛾类雄性内生殖器进行描述的是戴宗廉等 (1962), 解剖并描述了粘虫雌雄性生殖系统的形态构造, 着重研究了雌性生殖系统的发育阶段划分标准。Harold (1966) 对欧洲玉米螟 *Qstrinia nubilalis* 的内生殖系统的形态学和组织学做了研究。其后熊漱琳等 (1991) 对芦苇豹蠹蛾 *Phragmataecia castaneae* 的生殖系统进行了描述, 但并未涉及雄性内生殖器。嵇保中 (1993)、樊永亮 (1993)、赵博光和贺亦斌 (1996)、王建国等 (1997)、宋俊元等 (2012)、周娇等 (2012)、刘科科等 (2013)、郭宁等 (2014)、张家侠等 (2015)、王丽平等 (2015)、常明山等 (2017)、林玉英等 (2017) 分别对黄二星舟蛾 *Lampronadata cristata*、枣蠹翅小卷蛾 *Ancylis sativa*、大袋蛾 *Clania vacrieg ata*、湖南棒蝠蛾 *Napialus hunanesis*、二化螟 *Chilo suppressalis*、沙棘木蠹蛾 *Holcocerus hippophaecolus*、草地螟 *Loxostege sticticalis*、栎掌舟蛾 *Phalera assimilis*、茶尺蠖 *Ectropis obliqua*、微红梢斑螟 *Dioryctria rubella*、柑橘长卷蛾 *Homona coffearia*、椰子木蛾 *Opisina arenosella* 的雄性生殖系统进行了描述。总结以上研究发现蛾类内生殖系统结构组成基本相同, 但部分组织在形态结构上存在明显差异, 如隶属蓑蛾科 Psychidae 的大袋蛾其精巢形态较为特别, 左右精巢相互粘结在一起, 没有共同的膜包被, 且无复射精管。其他科类群两个精巢愈合, 包裹在同一膜中, 且均有复射精管。舟蛾科 Notodontidae 昆虫生殖系统的构造与夜蛾科昆虫相似, 但复射精管中部膨大, 单射精管表皮节甚短。

本研究以新鲜标本为材料, 对直脉青尺蛾 *Geometra valida*、白雪灯蛾 *Chionarctia niveus*、多斑豹蠹蛾 *Zeuzera multistrigata* 3 种蛾类的雄性内生殖器进行研究, 首次对尺蛾科 Geometridae、木蠹蛾科 Cossidae 昆虫的雄性内生殖系统特征进行研究,

并补充灯蛾科昆虫雄性内生殖系统特征, 探讨了 3 种蛾类的雄性内生殖器形态上的差异, 以期得到更多的分类鉴别特征。

1 材料与方法

本实验所采用的标本均采集于陕西子午岭国家级自然保护区。将野外采集的新鲜标本剪下腹部, 放在装有酒精的培养皿中, 在 Leica M205C 型显微镜下参照孟银凤 (2013) 的方法进行解剖, 用解剖针从第 4~8 腹节腹部正中央剖开, 去掉表皮、消化道、剥离背板、抱器瓣以及黏连在生殖器官上的脂肪体, 后保存于甘油中, 用 Olympus SZX 16 显微成像系统照相, 采用 Montage 图像叠加软件进行图像处理。每种解剖 3~5 头标本。

文中描述和图片所用的雄性内生殖系统的术语及缩写如下: 精巢 (testes, TE)、前贮精囊 (anterior seminal vesicles, ASV)、后贮精囊 (posterior seminal vesicles, PSV)、输精管 (vas deferens, VD)、复射精管 (ductus ejaculatorius duplex, DED)、单射精管 (ductus ejaculatorius simplex, DES)、单射精管原节 (the primary segment of the ductus ejaculatorius simplex, PES)、单射精管表皮节 (the cuticular segment of the ejaculatorius simplex, CES) 和附腺 (accessory gland, AG)。

2 雄性生殖系统描述

2.1 直脉青尺蛾 *Geometra valida* Felder et Rogenhofer, 1875

隶属于尺蛾科 Geometridae 尺蛾亚科 Geometrinae 青尺蛾属 *Geometra*, 其雄性内生殖器结构如下 (图 1):

精巢 (图 1-B): 小, 直径约 1.3 mm, 乳白色, 长椭圆形, 包被一层半透明的被膜, 被膜上有银白色微气管分布。

贮精囊 (图 1-D): 2 对, 白色, 分为前贮精囊和后贮精囊, 前贮精囊与精巢的腹面相连, 长约 2.9 mm, 微膨大, 向后渐细, 交叉与后贮精囊相连, 后贮精囊呈半月形膨大, 直径约 0.7 mm, 长约 1.4 mm, 后与输精管相连。

输精管 (图 1-D): 从后贮精囊末端连接到复射精管中部, 是 1 对极细的半透明的管道, 长

约 6.2 mm。

复射精管 (图 1 - C): 1 对, 乳白色, 短, 呈“S”形弯曲缠绕, 前端与附腺相连, 后端与单射精管相连, 距前端 1/3 处与输精管相连, 整体为膨大的后壁管道, 长约 4.4 mm。

单射精管 (图 1 - F): 分为单射精管原节和

单射精管表皮节。单射精管原节为透明的薄管, 弯曲盘绕, 长约 16.5 mm; 单射精管表皮节质地坚硬, 管道壁加厚, 长约 4 mm。

附腺 (图 1 - E): 1 对粘连的乳白色的细管, 从复射精管的前端发出, 弯曲盘绕, 长约 15 mm。

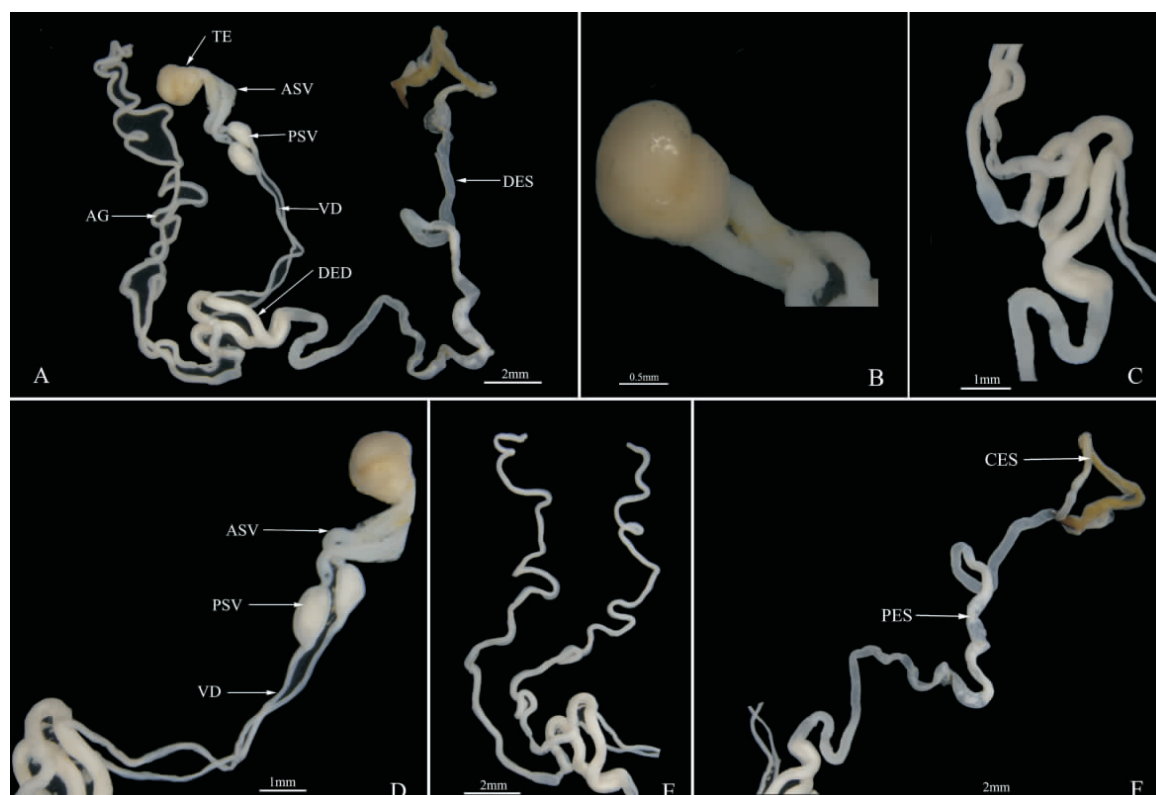


图 1 直脉青尺蛾雄性内生殖系统

Fig. 1 Male internal reproductive system of *Geometra valida*

注: A, 雄性内生殖器整体观; B, 精巢放大图; C, 复射精管放大图; D, 贮精囊和输精管放大图; E, 附腺放大图; F, 单射精管放大图。Note: A, General structure of the male internal reproductive organ; B, Enlargement of testes; C, Enlargement of ductus ejaculatorius duplex; D, Enlargement of seminal vesicles and vas deferens; E, Enlargement of accessory glands; F, Enlargement of ductus ejaculatorius simplex.

2.2 白雪灯蛾 *Chionarctia niveus* (Ménétriés, 1859)

隶属于灯蛾科 Arctiidae 灯蛾亚科 Arctiinae 灯蛾族 Arctiini 白雪灯蛾属 *Chionarctia*, 其雄性内生殖器结构如下 (图 2):

精巢 (图 2 - B): 小, 直径约 1.2 mm, 长约 0.9 mm, 乳白色, 扁圆形, 包被一层半透明的被膜, 被膜上有银白色微气管分布。

贮精囊 (图 2 - D): 2 对, 白色半透明结构, 分为前贮精囊和后贮精囊, 前贮精囊与精巢的腹面相连, 微膨大, 长约 4.1 mm, 与后贮精囊相连, 后贮精囊呈橄榄球形, 直径约 1.6 mm, 长约

4.1 mm, 后与输精管相连。

输精管 (图 2 - D): 从后贮精囊末端连接到复射精管中部, 是 1 对极细的半透明的管道, 长约 13 mm。

复射精管 (图 2 - C): 1 对, 乳白色, 短, 呈“S”形弯曲缠绕, 前端与附腺相连, 后端与单射精管相连, 距前端 1/4 处与输精管相连, 整体为膨大的后壁管道, 长约 24.2 mm。

单射精管 (图 2 - E): 分为单射精管原节和单射精管表皮节。单射精管原节为透明的薄管, 弯曲盘绕, 长约 34 mm; 单射精管表皮节质地坚

硬, 管道壁加厚, 分成 2 段, 较长, 长约 14 mm。从复射精管的前端发出, 弯曲盘绕, 长约 75 mm。

附腺 (图 2 - A): 1 对粘连的乳白色的细管,

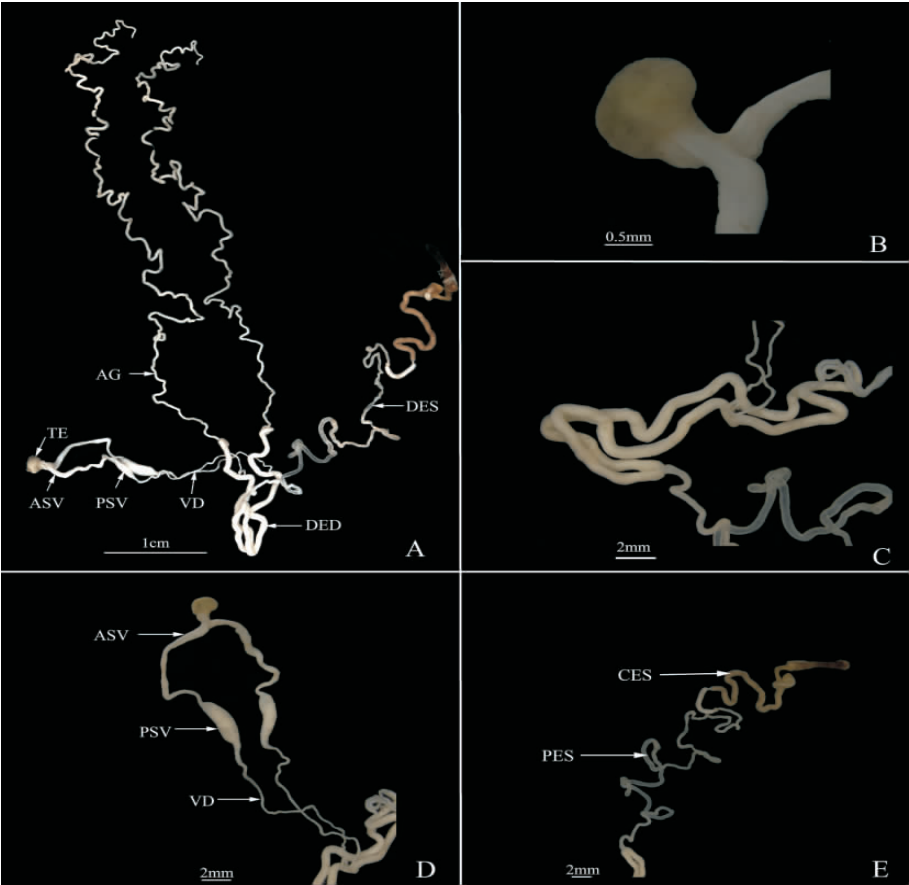


图 2 白雪灯蛾雄性内生殖系统

Fig. 2 Male internal reproductive system of *Chionarctia niveus*

注: A, 雄性内生殖器整体观; B, 精巢放大图; C, 复射精管放大图; D, 贮精囊和输精管放大图; E, 单射精管放大图。Note: A, General structure of the male internal reproductive organ; B, Enlargement of testes; C, Enlargement of ductus ejaculatorius duplex; D, Enlargement of seminal vesicles and vas deferens; E, Enlargement of ductus ejaculatorius simplex.

2.3 多斑豹蠹蛾 *Zeuzera multistrigata* Moore, 1881

隶属于木蠹蛾科 Cossidae 豹蠹蛾亚科 *Zeuzera* 豹蠹蛾属 *Zeuzera*, 其雄性内生殖器结构如下 (图 3):

精巢 (图 3 - B): 大, 直径约 1.8 mm, 长约 0.7 mm, 黄色, 蟠桃形, 两精巢未完全合并, 包被一层半透明的被膜, 被膜上有银白色微气管分布。

贮精囊 (图 3 - D): 2 对, 白色半透明结构, 分为前贮精囊和后贮精囊, 前贮精囊与精巢的腹面相连, 微膨大, 长约 6.2 mm, 与后贮精囊相连, 后贮精囊呈橄榄球形, 直径约 0.8 mm, 长约 3.1 mm, 后与输精管相连。

输精管 (图 3 - D): 从后贮精囊末端连接到复射精管, 是 1 对细长的半透明的管道, 长约 9.6 mm。

复射精管 (图 3 - E): 1 对, 乳白色, 短, 呈“W”形弯曲缠绕, 前端与附腺相连, 后端与单射精管相连, 距前端 2/5 处与输精管相连, 整体为膨大的后壁管道, 长约 15.5 mm。

单射精管 (图 3 - C): 分为单射精管原节和单射精管表皮节。单射精管原节为透明的薄管, 弯曲盘绕, 长约 31.5 mm; 单射精管表皮节质地坚硬, 管道壁加厚, 较短, 长约 3.5 mm。

附腺 (图 3 - A): 1 对粘连的乳白色的细管, 从复射精管的前端发出, 弯曲盘绕, 较短, 长约 24 mm。

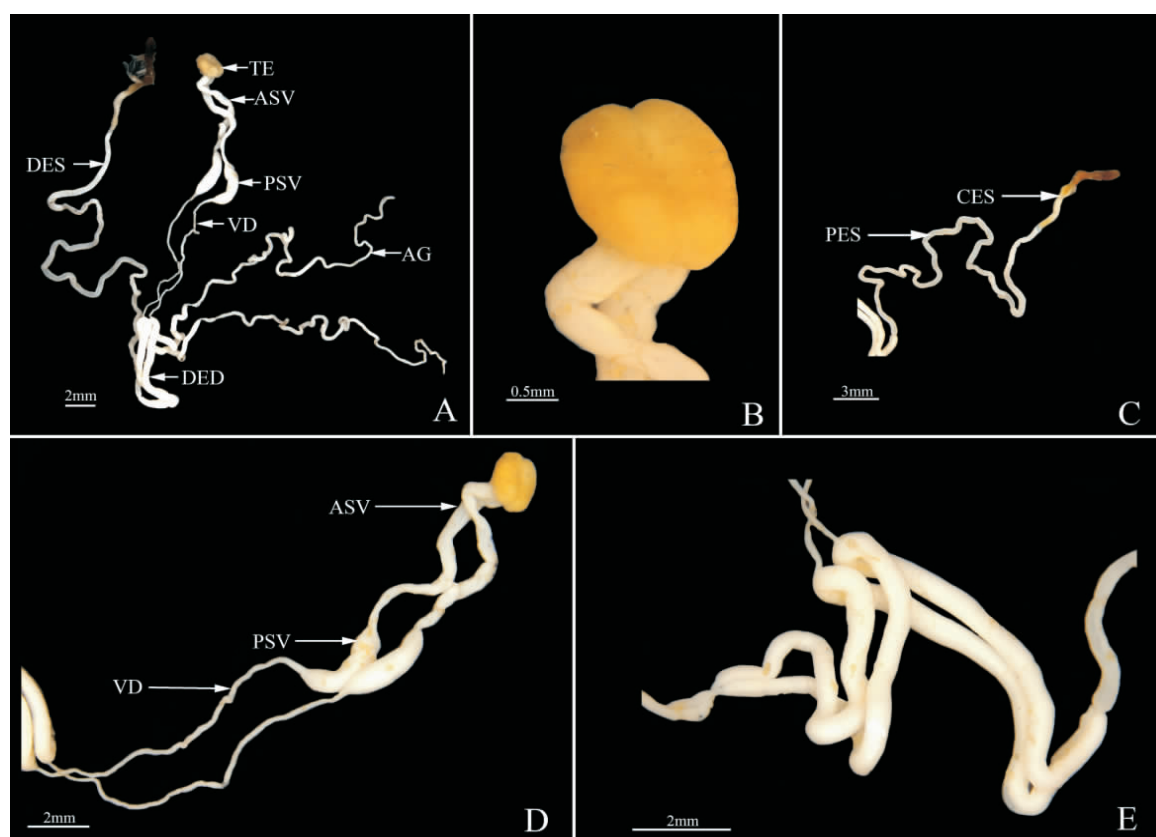


图3 多斑豹蠹蛾雄性内生生殖系统

Fig. 3 Male internal reproductive system of *Zeuzera multistrigata*

注: A, 雄性生殖器整体观; B, 精巢放大图; C, 单射精管放大图; D, 贮精囊和输精管放大图; E, 复射精管放大图。Note: A, General structure of the male internal reproductive organ; B, Enlargement of testes; C, Enlargement of ductus ejaculatorius simplex; D, Enlargement of seminal vesicles and vas deferens; E, Enlargement of ductus ejaculatorius duplex.

3 结论与讨论

本文研究中的3种蛾类雄性生殖器的结构组成相同。均由精巢、贮精囊(前、后贮精囊)、输精管、复射精管、单射精管(单射精管原节、单射精管表皮节)和附腺组成。精巢位于第3~4腹节的腹腔内,包被一层半透明的被膜。精巢下方连接成对的贮精囊,前、后部膨大部分构成前贮精囊和后贮精囊。输精管细长,前与后贮精囊相连,后连接于复射精管。复射精管较粗短,一端与附腺相连,另一端汇入单射精管。单射精管由两部分组成,即前部较长的薄壁膜质管称为单射精管原节和后部较短的质地坚硬、管道壁加厚的单射精管表皮节。

直脉青尺蛾精巢为乳白色的椭圆形结构,与油桐尺蠖(王学问等,1979)、茶尺蠖的结构特征相同;附腺为复射精管前端的延伸,与油桐尺蠖

相同,但茶尺蠖的是从射精管和输精管的交界处发出的;贮精囊分为前贮精囊和后贮精囊,与茶尺蠖结构相同,而油桐尺蠖仅为一对乳白色的肾形囊。白雪灯蛾的一对精巢排紧密并接,且由乳白色外膜包被,2对贮精囊两两并接,这一特征与螟蛾科的二化螟、草地螟,夜蛾科的斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* (Ahmed and Hopper, 1979)相似。但其附腺长度远大于单射精管长度,与螟蛾科昆虫不同。多斑豹蠹蛾的两精巢未完全合并,与沙棘木蠹蛾的形态不同,单射精管表皮节甚短,这一特征与黄二星舟蛾相似。3种蛾类精巢的大小相似,输精管均为细长、半透明的管道。

根据相关研究表明鳞翅目精巢结构常见4种类型:(1)两个精巢分离,单个精巢正面呈四裂花瓣状,为4个精巢小管,如湖南棒蚜蛾(王建国等,1997);(2)两个精巢彼此分离,每侧精巢呈球形,如大袋蛾(赵博光和贺亦斌,1996);(3)两个精巢体可分离,但包被在同一层膜中,

如多眼灰蝶 *Polyommatus eros* (丁昌萍和张雅林, 2016), 本研究中多斑豹蠹蛾属于此类型; (4) 两个精巢包在一共同膜中, 彼此密接, 愈合为单一器官, 大多数鳞翅目昆虫属于此类型, 如黄二星舟蛾 (嵇保中, 1993)、枣蠹翅小卷蛾 (樊永亮, 1993)、二化螟 (宋俊元等, 2012)、草地螟 (刘科科等, 2013)、栎掌舟蛾 (郭宁等, 2014)、茶尺蠖 (张家侠等, 2015)、微红梢斑螟 (王丽平等, 2015)、椰子木蛾 (林玉英等, 2017) 等, 本研究中直脉青尺蛾和白雪灯蛾均为此型。

本研究表明, 3 种蛾类雄性内生殖器形态结构存在明显差异, 其鉴别特征主要为: (1) 精巢结构的差异, 主要表现在精巢的形状和 2 个精巢的伴生状态: 直脉青尺蛾为长椭圆形, 白雪灯蛾为扁椭圆形, 而多斑豹蠹蛾为蟠桃形; 3 种蛾类的 2 个精巢均包裹在共同膜中, 但直脉青尺蛾和白雪

灯蛾的 2 个精巢愈合成单一器官, 多斑豹蠹蛾的 2 个精巢为分离状态。(2) 输精管结构的差异为与复射精管相连的位置不同, 直脉青尺蛾在复射精管前端的 1/3 处、白雪灯蛾在复射精管前端的 1/4 处, 多斑豹蠹蛾在复射精管前端的 2/5 处。(3) 贮精囊结构的差异主要表现在后贮精囊的形状不同: 直脉青尺蛾的后贮精囊为半月形, 其余两者均为长椭圆形。(4) 附腺的差异为长度不同: 白雪灯蛾的附腺长度远远长于单射精管的长度, 直脉青尺蛾的附腺长度约等长于单射精管长度, 而多斑豹蠹蛾的附腺长度短于单射精管长度。(5) 单射精管的差异表现在单射精管表皮节的长短、是否分节和弯曲程度: 直脉青尺蛾的单射精管表皮节较短, 弯曲, 白雪灯蛾的单射精管表皮节较长, 弯曲, 分为 2 节, 多斑豹蠹蛾的单射精管表皮节短, 不弯曲。(详见表 1)

表 1 3 种蛾类雄性内生殖器形态学比较
Table 1 Comparison of morphology of male internal reproductive system among three moths species

种 Species	精巢 TE	后贮精囊 PSV	复射精管 DED	单射精管 DES	附腺 AG
直脉青尺蛾 <i>Geometra valida</i>	乳白色, 长椭圆形, 两精巢完全愈合 Milky, long elliptical-shaped, fused fully	半月形膨大, 粗短 Half-moon expansion, thick and short,	呈“S”型弯曲, 短 S-shaped, short	短于附腺长度, 表皮节短, 弯曲, 约占总长度的 1/5 Shorter than the AG, curved, short CES, about 1/5 of the total length	约与单射精管等长 About the same length as the DES
白雪灯蛾 <i>Chionarctia niveus</i>	乳白色, 扁圆形, 两精巢完全愈合 Milky, oblate-shaped, fused fully	橄榄球形, 微粗 Rugby-shaped, slightly thick	呈“S”形弯曲, 长 S-shaped, long	远短于附腺长度, 表皮节长, 弯曲, 约占总长度的 1/3 Much shorter than the AG, curved, long CES, about 1/3 of the total length	比单射精管长 Longer than the DES
多斑豹蠹蛾 <i>Zeuzera multistrigata</i>	黄色, 蟠桃形, 两精巢未完全愈合 Yellow, flat peach-shaped, fused partly	橄榄球形, 细长 Rugby-shaped, slender	呈“S”形弯曲, 长 S-shaped, long	长于附腺长度, 表皮节长, 较直, 约占总长度的 1/10 Longer than the AG, long CES, vertical, about 1/10 of the total length	比单射精管短 Shorter than the DES

通过以上研究可以看出, 分属不同科的 3 种蛾类的雄性内生殖器存在较大差异。如精巢的颜色及结构类型、贮精囊的形状及连接方式、复射精管的形状及长短、单射精管和附腺的长度, 这些差异可为蛾类分类系统学研究的提供重要依据。

参考文献 (References)

Ahmed AME, Hooper GHS. Developmental and reproductive biology of *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Australian Journal of Entomology*, 1979, 18 (4): 363 - 372.

- Chang MS, Luo LF, Liu WA, *et al.* Morphological characters and reproductive system of *Homona coffearia* Nietner [J]. *Forest Pest and Disease*, 2017, 36 (2): 20–25. [常明山, 罗来凤, 刘文爱, 等. 柑橘长卷蛾成虫形态和生殖系统研究 [J]. 中国森林病虫, 2017, 36 (2): 20–25]
- Callahan, Chain J. Morphology of the reproductive systems and mating in two representative members of the family Noctuidae, *Pseudaletia unipuncta* and *Prodrome margaritacea*, with comparison of *Heliothis zea* [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1960, 53 (6): 783–792.
- Dai ZL, Jiao MY, Qian YM. A study on the reproductive system of *Mythimna separata* (Walker) [J]. *Journal of Shenyang Agriculture University*, 1962, 1: 68–74. [戴宗廉, 焦明阳, 钱奕民. 黏虫生殖系统的解剖 [J]. 沈阳农业大学学报, 1962, 1: 68–74]
- Ding CP, Zhang YL. Morphological study of the male reproductive systems of four butterfly species [J]. *Journal of Northwest A & F University*, 2016, 44 (11): 178–186. [丁昌萍, 张雅林. 4 种蝶类雄性生殖系统的形态学比较研究 [J]. 西北农林科技大学学报, 2016, 44 (11): 178–186]
- Fan YL, Shi GL, Li LC. A study on the internal reproductive system of *Ancylis sativa* Liu [J]. *Journal of Shanxi Agriculture University of Science (Natural Science Edition)*, 1993, 13 (4): 321–323. [樊永亮, 师光禄, 李连昌. 枣蠹翅小卷蛾内生生殖系统的研究 [J]. 山西农业大学学报 (自然科学版), 1993, 13 (4): 321–323]
- Gottardo M, Dallai R, Mercati D, *et al.* The evolution of insect sperm—an unusual character system in a megadiverse group [J]. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 2016, 54: 237–256.
- Gullan PJ, Cranston PS. The Insects: An Outline of Entomology, 4th Ed [M]. Oxford: Wiley–Blackwell Press, 2010: 1–565.
- Guo N, Xiao YL, Zhong YL, *et al.* Morphological structure of adult internal reproductive system of *Phalera assimilis* (Bremer et Grey) [J]. *Science of Sericulture*, 2014, 40 (6): 1122–1125. [郭宁, 肖云丽, 钟玉林, 等. 柞掌舟蛾成虫内生生殖系统的形态结构 [J]. 蚕业科学, 2014, 40 (6): 1122–1125]
- Jamieson BGM, Dallai R, Afzelius BA. Insects: Their Spermatozoa and Phylogeny [M]. New Hampshire: Scientific Publishers Press, 1999: 1–555.
- Ji BZ. A study on the reproductive system of *Lampronadata grjata* (Butler) [J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1993, 17 (3): 60–66. [嵇保中. 黄二星舟蛾生殖系统的研究 [J]. 南京林业大学学报, 1993, 17 (3): 60–66]
- Lin YY, Jin T, Gan TF, *et al.* A preliminary study on the reproductive system of *Opisina arenosella* Walker [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 38 (9): 1704–1711. [林玉英, 金涛, 甘挺峰, 等. 椰子木蛾生殖系统初步研究 [J]. 热带作物学报, 2017, 38 (9): 1704–1711]
- Liu KK, Xiao YH, Cheng YX, *et al.* The structure and morphology of the reproductive system of adult male *Loxostege sticticalis* L. [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (6): 1692–1699. [刘科科, 肖永红, 程云霞, 等. 草地螟雄蛾生殖系统的形态和结构 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (6): 1692–1699]
- Meng YF, Shang SQ, Zhang YL. The morphology of the reproductive system of *Colias fieldii* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2013, 50 (3): 813–817. [孟银凤, 尚素琴, 张雅林. 橙黄豆粉蝶生殖系统形态学研究 [J]. 应用昆虫学报, 2013, 50 (3): 813–817]
- Shen J. Male Reproductive System of Panorpidae and Panorpididae (Mecoptera) [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University Master Thesis, 2013. [申健. 蝎蛉科与拟蝎蛉科昆虫雄性生殖系统研究 (长翅目) [D]. 杨凌: 西北农林科技大学硕士学位论文, 2013]
- Song JY, Hu Y, Fu Q, *et al.* Anatomical study on the structures of male reproductive system in *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2012, 5: 686–688. [宋俊元, 胡阳, 傅强, 等. 二化螟雄虫内生生殖系统结构的解剖 [J]. 浙江农业科学, 2012, 5: 686–688]
- Xiong SL, Huang AK, Huang YK, *et al.* The investigation in the reproductive system of reed Leopard moth *Phragmataecia castaneae* (Hübner) [J]. *Journal of Hunan Agriculture University of Science*, 1991, 4: 686–689. [熊漱琳, 黄安坤, 黄亚坤, 等. 芦苇豹蠹蛾生殖系统的研究 [J]. 湖南农学院学报, 1991, 4: 686–689]
- Wang JG, Wang HY, Sheng RW, *et al.* Anatomy of the reproductive system of *Napialus hunanensis* Chu et Wang (Lepidoptera: Hepialidae) [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1997, 19 (2): 9–12. [王建国, 魏洪义, 沈荣武, 等. 湖南棒蝠蛾成虫生殖系统的解剖 [J]. 江西农业大学学报, 1997, 19 (2): 9–12]
- Wang LP, Ji BZ, Liu SW, *et al.* Study of the reproductive system and ovarian development of *Dioryctria rubella* Hampson [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2015, 52 (4): 844–853. [王丽平, 嵇保中, 刘曙雯, 等. 微红梢斑螟生殖系统及卵巢发育特征研究 [J]. 应用昆虫学报, 2015, 52 (4): 844–853]
- Wang WX, Wang SF. Anatomy of the reproductive system of *Buasra suppressaria* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 1979, 3: 137–138. [王问学, 王淑芬. 油桐尺蠖内生生殖系统的解剖 [J]. 应用昆虫学报, 1979, 3: 137–138]
- Zhang JX, Sun QY, Zhao Q, *et al.* Morphological and histological observations on the reproductive system in male adults of *Ectropis obliqua* Prout [J]. *Journal of Tea Science*, 2015, 35 (6): 527–533. [张家侠, 孙钦玉, 赵强, 等. 茶尺蠖雄成虫生殖系统形态学与组织学观察 [J]. 茶叶科学, 2015, 35 (6): 527–533]
- Zhao BG, He YB. Morphology and histology of internal reproductive systems of male and female adults in *Clania variea* Tasnellen [J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1996, 20 (2): 30–33. [赵博光, 贺亦斌. 大袋蛾雄成虫内部生殖系统的形态学和组织学 [J]. 南京林业大学学报, 1996, 20 (2): 30–33]
- Zhou J, Li J, Weng Q, *et al.* Morphological and histological observations on the reproductive system of *Holcocerus hippophaecolus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (6): 1629–1635. [周娇, 李娟, 翁强, 等. 沙棘木蠹蛾生殖系统形态学和组织学观察 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (6): 1629–1635]