网络出版时间:2026-01-09 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.07.015

八点广翅蜡蝉成虫消化道和马氏管整体形态及超微结构

蔡佳航,方微,秦道正
(西北农林科技大学 植物保护学院,陕西 杨凌 712100)

[摘 要] 【目的】明晰八点广翅蜡蝉(*Ricania speculum*)成虫消化道和马氏管的整体形态及超微结构,为蜡蝉次目昆虫消化道和马氏管的形态分化及系统发育研究提供参考。【方法】采用光学显微镜和电子显微镜,观察八点广翅蜡蝉成虫消化道和马氏管整体形态,以及各部位的超微结构。【结果】八点广翅蜡蝉的消化道由食道、前支囊、中肠和后肠组成。食道由外至内为肌肉层、上皮细胞层和角质层。前支囊着生于食道末端,由外侧肌肉层和内侧上皮细胞层组成,上皮细胞层中有消化细胞、再生细胞和内分泌细胞。中肠细长且高度盘绕,分为前中肠、中中肠和后中肠3个区段,其中前中肠上皮细胞包含大量线粒体和分泌囊泡;中中肠上皮细胞顶端微绒毛稀疏,细胞基部可见脂质颗粒,细胞质中有大量球晶体;后中肠上皮细胞含有大量分泌囊泡,可见内分泌细胞。后肠主要为直肠,回肠极短,直肠结构与食道类似,其上皮细胞顶端质膜特化成片层结构。八点广翅蜡蝉马氏管分为近端和远端2个区域,近端区域上皮细胞包含大量的低电子密度空泡,远端区域上皮细胞包含大量球晶体,微绒毛顶端均覆盖大量空泡。【结论】八点广翅蜡蝉与已报道蜡蝉科昆虫的消化道和马氏管形态结构相似,但八点广翅蜡蝉马氏管上皮细胞顶端微绒毛表面有电子透明空泡层;八点广翅蜡蝉除食道以外的消化道及马氏管均发现有微生物聚集。蜡蝉内部器官及系统形态特征可为蜡蝉次目高级阶元系统发育研究提供重要依据。

[关键词] 头喙亚目;广蜡蝉科;形态分化;昆虫系统发育
[中图分类号] S433;Q964 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)07-0141-09

Morphology and ultrastructure of the alimentary canal and Malpighian tubules of the adult planthopper *Ricania speculum*

CAI Jiahang, FANG Wei, QIN Daozheng
(*College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi* 712100, *China*)

Abstract: 【Objectives】 The study aims to elucidate the overall morphology and ultrastructure of the alimentary canal and Malpighian tubules of adult *Ricania speculum*, so as to provide reference for the research on morphological differentiation of alimentary canal and Malpighian tubules as well as the phylogeny of Fulgoromorpha. 【Method】 The overall morphology of alimentary canal and Malpighian tubules, and ultrastructure of associated organs of *R. speculum* were observed by using light and electron microscopy. 【Result】 The alimentary canal of *R. speculum* is composed of oesophagus, anterior diverticulum, midgut and hindgut. From the outside to the inside, the oesophagus consists of a muscle layer, a epithelial cell layer and a stratum corneum. The anterior diverticulum originated from the end of the oesophagus and is composed of a outer muscle layer and an inner epithelial cell layer. And the epithelial cell layer contains digestive, regenerative and endocrine cells. The midgut is slender

[收稿日期] 2025-05-05 [修回日期] 2025-06-30
[基金项目] 国家自然科学基金项目(32170475)
[作者简介] 蔡佳航(1999—),男,湖南株洲人,在读硕士,主要从事昆虫系统学与生物多样性研究。E-mail:15869726636@163.com
[通信作者] 秦道正(1967—),男,陕西汉中人,教授,博士生导师,主要从事昆虫系统学与生物多样性研究。
E-mail:qindaozh0426@aliyun.com

and highly coiled, and is divided into three distinct regions: the anterior midgut, the mid-midgut, and the posterior midgut. In the anterior midgut, the epithelial cells contain numerous mitochondria and secretory vesicles. In the mid-midgut, the apical microvilli of the epithelial cells are sparse, lipid granules can be seen at the base, and a large number of spherites can be observed in the cytoplasm. In the posterior midgut, the epithelial cells contain numerous secretory vesicles and visible endocrine cells. The hindgut is mainly composed of the rectum, with the ileum being extremely short, and its tissue structures are similar to those of the oesophagus. And its apical plasma membranes of the rectal epithelial cells are specialized into leaflets. The Malpighian tubules of *R. speculum* are divided into two regions: the proximal end and the distal end. The proximal epithelial cells contain numerous low-electron density vacuoles. The distal epithelial cells contain numerous spherites, and the top of microvilli both are covered with numerous vacuoles.【Conclusion】The morphological structure of the alimentary canal and Malpighian tubules of *R. speculum* are similar to those of the species reported as Fulgoridae, but an electron transparent vacuolar layer is observed on the surface of the microvilli of the epithelial cells of Malpighian tubules in *R. speculum*. Microbial aggregation is also observed in the alimentary canal (except oesophagus) and Malpighian tubules of *R. speculum*. The internal organs and systematic morphology can provide important basis for the phylogeny of higher classification of the infraorder Fulgoromorpha.

Key words: Auchenorrhyncha; Ricaniidae; morphological differentiation; insect phylogeny

消化道和马氏管都是昆虫重要的内部器官,其中消化道是一根贯穿于血腔的管道,由前肠、中肠和后肠3部分组成。昆虫消化道因种类和食性的不同,其形态常有较大变异,取食汁液的昆虫常无前胃,整个消化道较长,前肠前端及口前腔的食窦或咽喉部分常特化成强有力的吸泵[1]。马氏管是昆虫重要的排泄器官,在维持昆虫体内盐类和水分平衡以及免疫、解毒方面有着重要作用[2]。依据马氏管的解剖构造可将其分为4种类型,其中"半翅目型"马氏管在形态和机能上可以区分为2段,在端部水和溶质可以进入,在基部水分被吸收,溶液浓缩成为固体状而移至后肠,最后排出体外,半翅目昆虫的马氏管均属于此种类型[1]。

蜡蝉次目(Fulgoromorpha)是半翅目(Hemiptera)头喙亚目(Auchenorrhyncha)中最古老的一个类群[3-4],该类群均为植食性。其中有些种类是重要的农林业害虫,通过直接刺吸作物汁液、产卵、传播植物病毒病等,给世界农林业生产常造成巨大损失[5-8]。目前蜡蝉形态学研究多为部分种类的外部特征观察[9-17],内部系统及器官形态学研究甚少,其中消化道和马氏管的形态研究仅见CHEUNG[2,18-19]对龙眼鸡(*Pyrops candelaria*),以及孙少轩[20]和王文倩[21]对斑衣蜡蝉(*Lycorma delicatula*)相关整体形态及超微结构的观察;此外,钟海英[22]对蜡蝉次目部分代表种成虫消化道及马氏管的整体形态进行了研究。但总体来看,目前有关蜡蝉次目昆虫内部器官及其系统形态仍知之甚少。为此,本研究采用光学显微镜和透射电子显微镜技术,对蜡蝉次目广蜡蝉科(Ricaniidae)八点广翅蜡蝉成虫消化道和马氏管的整体形态及超微结构进行观察,明晰广蜡蝉科昆虫消化道和马氏管的超微结构特征,为蜡蝉次目昆虫消化道及马氏管的形态分化及系统发育研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试样本为八点广翅蜡蝉雄成虫,采自陕西省咸阳市杨陵区崔西沟村(34°29′32″ N,108°06′91″ E),采集时间为2023年8月,采集的新鲜成虫立即放入养虫盒中,带回实验室备用。

1.2 八点广翅蜡蝉消化道和马氏管的形态学观察

先将八点广翅蜡蝉活成虫置于装有乙醚的15 mL塑料分装瓶中进行麻醉,将完全麻醉的虫体放入预先滴有生理盐水的培养皿中,在解剖镜下解剖虫体,再用镊子将八点广翅蜡蝉的消化道和马氏管移入预先滴有适量生理盐水的载玻片上,在光学显微镜(型号Leica M205A)下进行整体形态观察并拍照(照相机型号Leica DFC425)。

1.3 八点广翅蜡蝉消化道和马氏管的超微结构观察

将解剖获得的八点广翅蜡蝉消化道和马氏管各部位分别放入质量分数2.5%戊二醛溶液中固定12 h,随后用0.01 mol/L pH 7.4的磷酸盐缓冲溶液(PBS)漂洗3次,每次15 min;向漂洗干净的样品中

加入质量分数1%锇酸溶液固定2 h，再用0.01 mol/L PBS（pH 7.4）漂洗3次，每次10 min；随后进行梯度乙醇（体积分数依次为30%，50%，70%，80%，90%，100%）脱水，每浓度脱水2次，每次8 min；再用丙酮与乙醇混合液（丙酮与乙醇体积比为1∶1）脱水10 min，随后用纯丙酮对样品脱水2次，每次8 min；再用纯丙酮和Epon 812不同比例混合液（纯丙酮和Epon 812的体积比依次为3∶1、1∶1和1∶3）对样品渗透3次，每次30 min，最后使用纯Epon 812对样品渗透24 h；再用纯Epon 812包埋样品放入聚合仪聚合72 h。聚合好的样品用修块机（Leica EM Trim 2型）修块，再用超薄切片机（Leica EM UC7型）进行半薄切片（厚度为0.5～1 μm），对切片进行染色观察并定位，随后使用超薄切片机对完成定位的样品进行超薄切片（厚度为50 nm），之后放在铜网上用质量分数2%醋酸铀染液染色20 min，再用质量分数4%柠檬酸铅染色10 min，每次染完均用纯水冲洗8 min。最后将制备好的超薄切片置于透射电子显微镜（TECNAI G2 SPIRIT BIO型）在80 kV下观察并拍照。

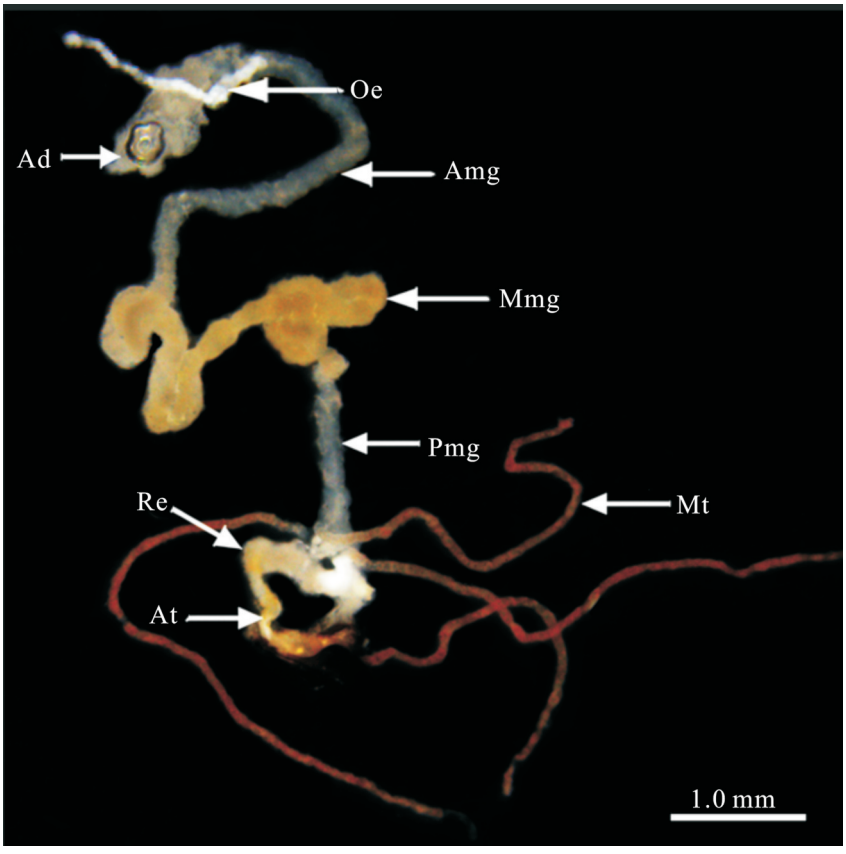
1.4　八点广翅蜡蝉消化道和马氏管的组织学观察

使用质量分数1%甲苯胺蓝对1.3节完成样品定位的半薄切片进行染色，再使用CCD成像系统（显微镜型号Olympus BX-51）对染色切片进行组织学观察并拍照。

2　结果与分析

2.1　八点广翅蜡蝉消化道和马氏管的整体形态

八点广翅蜡蝉消化道由前肠（食道）、前支囊、中肠和后肠4部分组成（图1）。其中前肠为细长管状，整体粗细均匀，白色不透明，其后端连接中肠。前支囊膨大，着生于食道末端，暗乳白色半透明。中肠细长，高度盘绕，被极薄且半透明的中肠鞘包裹；中肠由前中肠、中中肠和后中肠3部分组成，中中肠颜色较深。后肠由回肠和直肠组成，直肠短且略膨大，直肠后端变细，与肛门相连；回肠极短。



Oe. 食道；Ad. 前支囊；Amg. 前中肠；Mmg. 中中肠；Pmg. 后中肠；Re. 直肠；Mt. 马氏管；At. 肛管。
Oe. Oesophagus；Ad. Anterior diverticulum；Amg. Anterior midgut；Mmg. Mid-midgut；Pmg. Posterior midgut；Re. Rectum；Mt. Malpighian tubules；At. Anal tube.

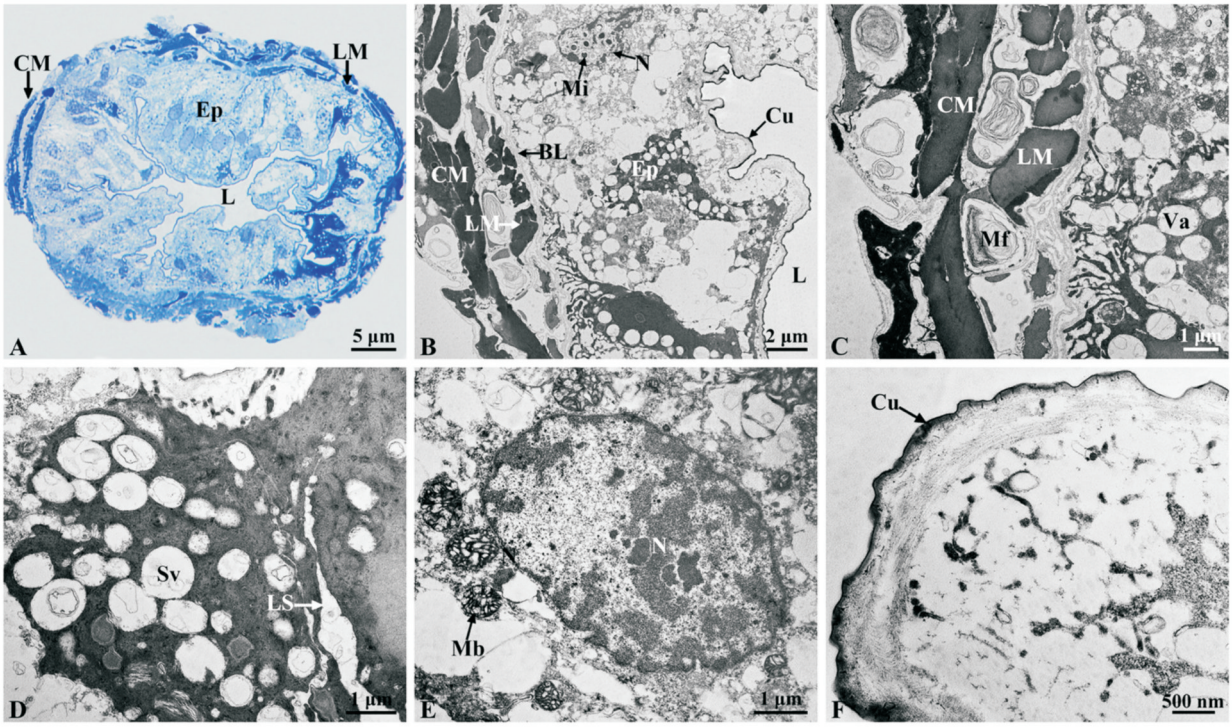
图1　八点广翅蜡蝉成虫消化道和马氏管的整体形态

Fig. 1　Gross morphology of alimentary canal and Malpighian tubules of adult *Ricania speculum*

八点广翅蜡蝉有4根马氏管,均位于消化道同侧。马氏管基部着生于中肠与后肠交界处,端部游离于血淋巴,基部与端部均不愈合。依据外部形态,可将马氏管划分为近端和远端2个区域,其中马氏管近端区域极短,不及马氏管总长度的1/5,白色半透明,表面无瘤突;马氏管远端区域颜色较深,砖红色,长且表面有瘤突。

2.2 八点广翅蜡蝉消化道和马氏管的超微结构

2.2.1 食 道 八点广翅蜡蝉食道由外至内分别为肌肉层、上皮细胞层和角质层。其中肌肉层发达,环肌在外、纵肌在内且附着于上皮细胞层,肌肉层间存在髓鞘样结构(图2-A—C);上皮细胞的细胞核近椭圆形,细胞之间有淋巴间隙,细胞器不丰富(图2-D—E);细胞质中高电子密度区域面积小,分布大量含膜结构的分泌囊泡(图2-D);细胞质中低电子密度区域有大量多泡小体和空泡(图2-C,E);角质层厚且盘绕,覆盖在上皮细胞层管腔一侧(图2-F)。



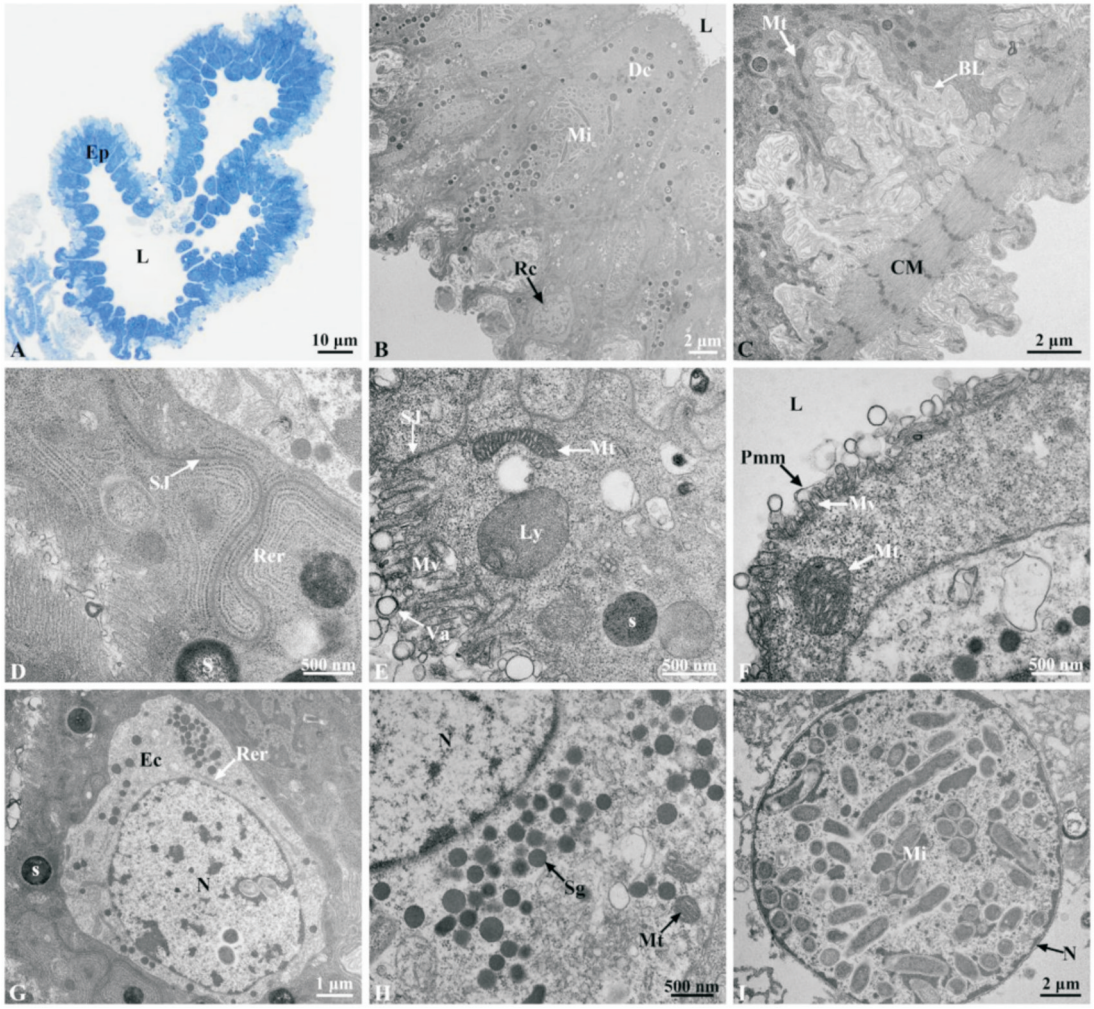
A. 食道组织横切;B. 食道上皮细胞;C. 基膜区域;D, E. 细胞质中细胞器;F. 角质层区域。CM. 环肌;LM. 纵肌;Ep. 上皮细胞;L. 管腔;N. 细胞核;Mi. 微生物;BL. 基膜;Cu. 角质层;Mf. 髓鞘样结构;Va. 空泡;Sv. 分泌囊泡;LS. 淋巴间隙;Mb. 多泡小体。

A. Histological cross-sections of oesophagus; B. Epithelium of oesophagus; C. Basal lamina region; D, E. Organelles in cytoplasm; F. The cuticle region. CM. Circular muscle; LM. Longitudinal muscle; Ep. Epithelium; L. Lumen; N. Nucleus; Mi. Microorganisms; BL. Basal lamina; Cu. Cuticle; Mf. Myelin figures; Va. Vacuole; Sv. Secretory vesicles; LS. Lymph space; Mb. Multivesicular body.

图2 八点广翅蜡蝉成虫食道的超微结构

Fig. 2 Ultrastructure of oesophagus of adult *Ricania speculum*

2.2.2 前支囊 八点广翅蜡蝉前支囊由外侧肌肉层和内侧上皮细胞层组成。相较于食道,前支囊的上皮细胞扁薄,常向管腔内陷,肌肉层不发达(图3-A—C);上皮细胞顶端无角质层,特异成微绒毛结构(图3-E—F);上皮细胞层有消化细胞、再生细胞和内分泌细胞(图3-B,G),细胞顶端区域可见分隔连接(图3-E);消化细胞呈柱状,细胞核大,基部区域可见大量线粒体,多数消化细胞中部区域有聚集的微生物,有时微生物占据整个细胞核(图3-I),细胞质中分布有密集的板层状粗面内质网和球晶体(图3-D),细胞顶端微绒毛稀疏、长短不一,表面覆盖一层围微绒毛膜,有空泡分泌到管腔(图3-B,C,E,F);再生细胞位于近基膜一侧,细胞核占据细胞大部分空间(图3-B);内分泌细胞分布在消化细胞间,细胞质电子密度低,细胞核大,细胞质中球形分泌颗粒大小不一,细胞质中细胞器丰富,含线粒体和粗面内质网(图3-G,H)。



A. 前支囊组织横切；B. 前支囊上皮细胞；C. 基膜区域；D. 细胞质中的细胞器；E. 上皮细胞顶端区域，显示长微绒毛；F. 上皮细胞顶端区域，显示短微绒毛；G，H. 内分泌细胞横切；I. 细胞核中的微生物。Ep. 上皮细胞；L. 管腔；Dc. 消化细胞；Mi. 微生物；Rc. 再生细胞；Mt. 线粒体；BL. 基膜；CM. 环肌；SJ. 分隔连接；Rer. 粗面内质网；S. 球晶体；Mv. 微绒毛；Ly. 溶酶体类似物；Va. 空泡；Pmm. 围微绒毛膜；Ec. 内分泌细胞；N. 细胞核；Sg. 分泌颗粒。

A. Histological cross-sections of anterior diverticulum; B. Epithelium of anterior diverticulum; C. The region of basal lamina; D. Organelles in the cytoplasm; E. The apical region of epithelium, showing the long microvilli; F. The apical region of epithelium, showing the short microvilli; G, H. Transverse section of the endocrine cells; I. Microorganisms in the nucleus. Ep. Epithelium; L. Lumen; Dc. Digestive cells; Mi. Microorganisms; Rc. Regenerative cells; Mt. Mitochondria; BL. Basal lamina; CM. Circular muscle; SJ. Septate junctions; Rer. Rough endoplasmic reticulum; S. Spherites; Mv. Microvilli; Ly. Lysosome-like; Va. Vacuole; Pmm. Perimicrovillar membrane; N. Nucleus; Ec. Endocrine cells; Sg. Secretory granules.

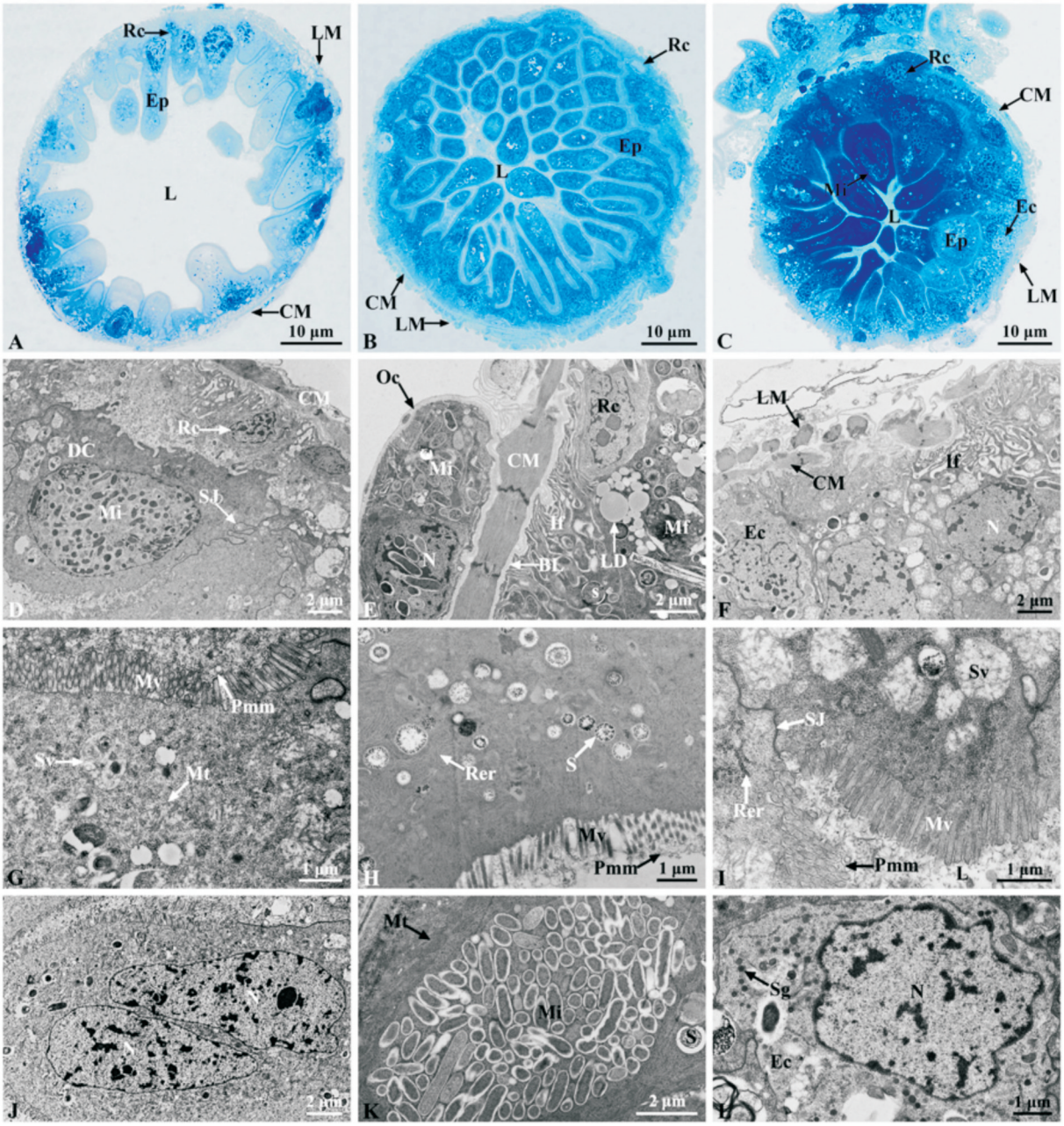
图 3　八点广翅蜡蝉成虫前支囊的超微结构

Fig. 3　Ultrastructure of anterior diverticulum of adult *Ricania speculum*

2.2.3　中　肠　八点广翅蜡蝉成虫的中肠由外侧肌肉层和内侧上皮细胞层组成（图 4-A－C）。中肠上皮细胞层的细胞类型、再生细胞分布、微生物在消化细胞中的分布、细胞之间的连接方式和细胞顶端微绒毛表面的围微绒毛膜结构均同前支囊。但与前支囊相比，中肠的肌肉层和上皮细胞层更发达，结构更完整，细胞基部质膜内折，形成基底迷路，细胞顶端微绒毛更均匀密集。

八点广翅蜡蝉成虫的中肠分为前中肠、中中肠和后中肠 3 部分，其中前中肠上皮细胞多为双核细胞，细胞核形状较规则，呈椭圆形；细胞基部质膜内折深，形成发达的基底迷路；细胞顶端微绒毛密集排列，呈蜂窝边；细胞质中线粒体丰富（图 4-A，D，G，J）。中中肠细胞形态及结构与前中肠类似，但中中肠肌肉外侧存在绛色细胞，还分布有微生物（图 4-E，K）；消化细胞多为单核细胞（图 4-B），细胞基部质膜内折较浅，基部区域有密集的脂质颗粒和髓鞘样结构（图 4-E）；细胞顶端微绒毛排列稀疏，呈刷

状边(图 4-H);细胞质中还分布大量的板层状粗面内质网和球晶体(图 4-H)。与前中肠和中中肠相比,八点广翅蜡蝉后中肠消化细胞更为发达(图 4-C),消化细胞的细胞质中存在大量粗面内质网和分泌囊泡(图 4-I);消化细胞近基膜侧存在内分泌细胞,其细胞核大,形状不规则,细胞质中存在球形分泌颗粒(图 4-F,L)。



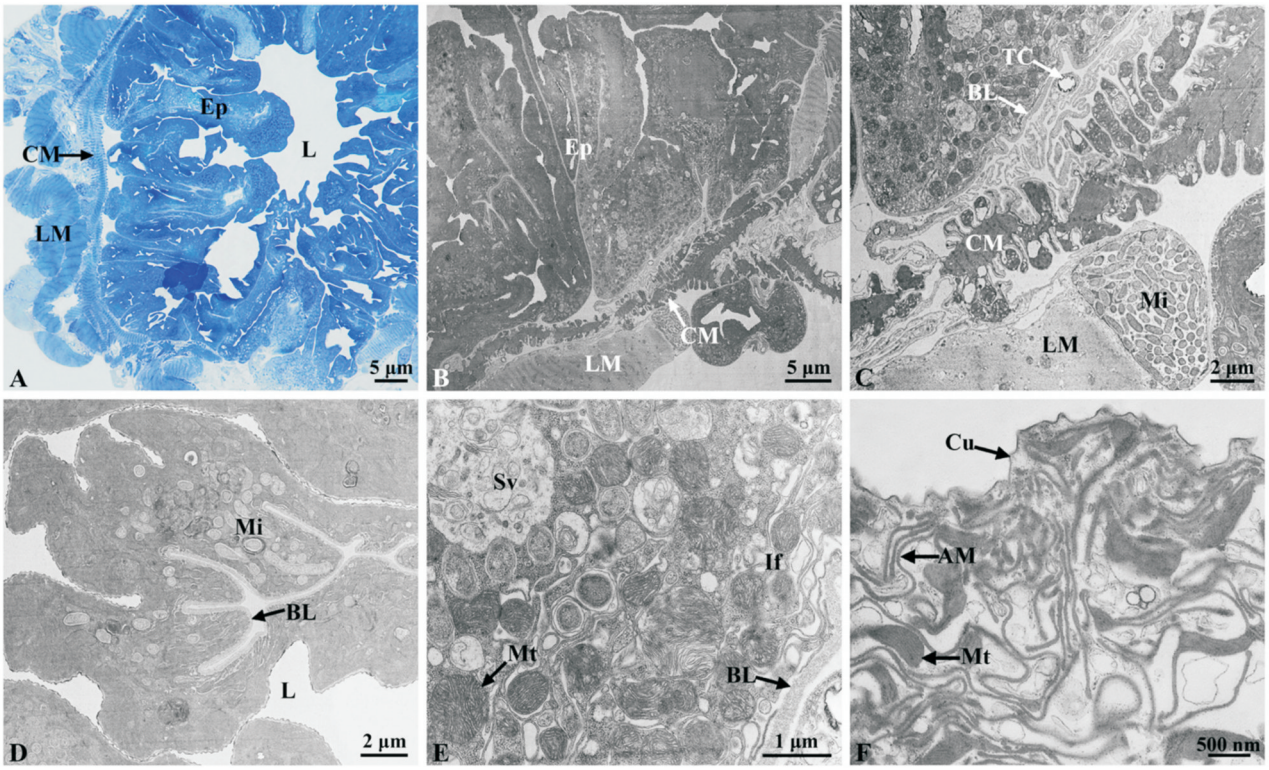
A,D,G,J. 前中肠上皮细胞;B,E,H,K. 中中肠上皮细胞;C,F,I,L. 后中肠上皮细胞。Rc. 再生细胞;LM. 纵肌;Ep. 上皮细胞;L. 管腔;CM. 环肌;Mi. 微生物;Ec. 内分泌细胞;Dc. 消化细胞;SJ. 分隔连接;Oc. 绛色细胞;BL. 基膜;If. 基部质膜内折;Mf. 髓鞘样结构;LD. 脂肪滴;N. 细胞核;Mv. 微绒毛;Pmm. 围微绒毛膜;Sv. 分泌囊泡;Mt. 线粒体;Rer. 粗面内质网;S. 球晶体;Sg. 分泌颗粒。

A,D,G,J. Epithelium of anterior midgut;B,E,H,K. Epithelium of mid-midgut;C,F,I,L. Epithelium of posterior midgut. Rc. Regenerative cells;LM. Longitudinal muscle;Ep. Epithelium;L. Lumen;CM. Circular muscle;Mi. Microorganisms;Ec. Endocrine cells;Dc. Digestive cells;SJ. Septate junctions;Oc. Oenocytes;BL. Basal lamina;If. Basal plasma membrane infoldings;Mf. Myelin figures;LD. Lipid droplets;N. Nucleus;Mv. Microvilli;Pmm. Perimicrovillar membrane;Sv. Secretory vesicles;Mt. Mitochondria;Rer. Rough endoplasmic reticulum;S. Spherites;Sg. Secretory granules.

图 4 八点广翅蜡蝉成虫中肠的超微结构

Fig. 4 Ultrastructure of midgut of adult *Ricania speculum*

2.2.4　后　肠　八点广翅蜡蝉成虫的后肠由回肠和直肠2部分组成，其中回肠极短，直肠连接肛门。直肠结构与食道结构类似，由外至内分别为肌肉层、上皮细胞层和角质层；直肠的环肌在外、纵肌在内（图5-A－B），与中肠的肌肉层组织结构一致；此外，直肠环肌两侧有对称的指状突起，在突起处有数量不等的线粒体，有的纵肌一端有微生物聚集，肌肉层可见气管附着（图5-C）；直肠上皮细胞中聚集大量微生物（图5-D），上皮细胞基部质膜内折，并与线粒体相连，细胞质中存在丰富的球形线粒体和分泌囊泡（图5-E），细胞顶端质膜特化形成片状结构，在顶端区域与角质层相连，片状结构中分布有线粒体（图5-F）。



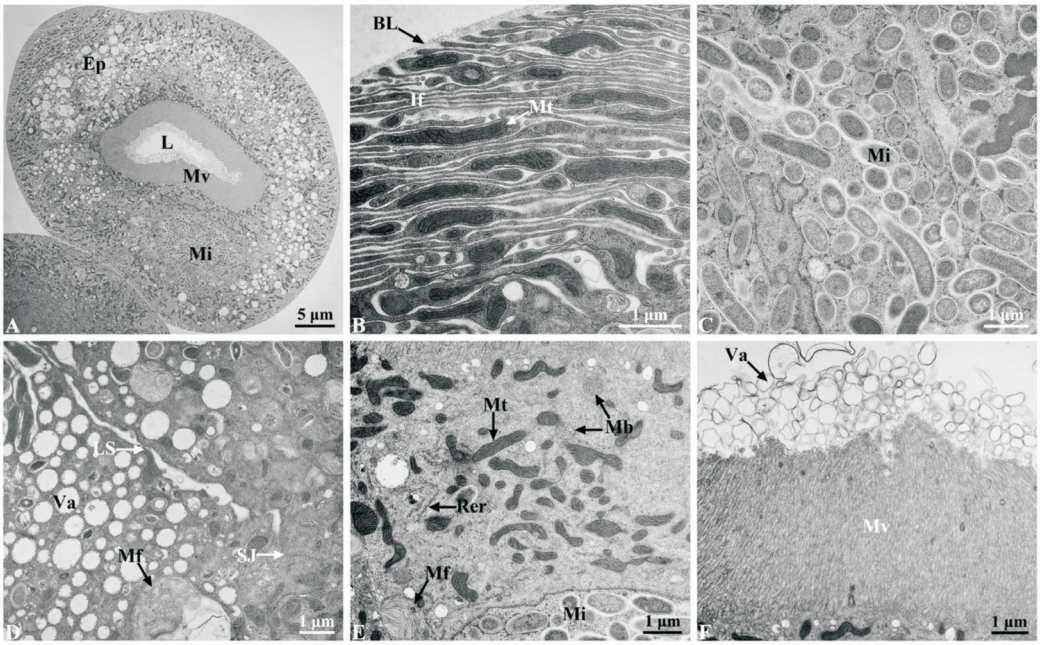
A. 直肠上皮细胞组织横切；B. 直肠上皮细胞；C. 基膜区域；D. 细胞质中聚集的微生物；E. 细胞质中的细胞器；F. 角质层区域。
CM. 环肌；LM. 纵肌；Ep. 上皮细胞；L. 管腔；BL. 基膜；TC. 微气管；Mi. 微生物；Sv. 分泌囊泡；Mt. 线粒体；
If. 基部质膜内折；Cu. 角质层；AM. 顶端质膜。
A. Histological cross-sections of rectum; B. Epithelium of rectum; C. Region of the basal lamina; D. Clustering of microorganisms in cytoplasm; E. Organelles in the cytoplasm; F. The cuticle region. CM. Circular muscle; LM. Longitudinal muscle; Ep. Epithelium; L. Lumen; BL. Basal lamina; TC. Tracheoles; Mi. Microorganisms; Sv. Secretory vesicles; Mt. Mitochondria; If. Basal plasma membrane infoldings; Cu. Cuticle; AM. Apical plasma membrane.

图5　八点广翅蜡蝉成虫直肠的超微结构

Fig. 5　Ultrastructure of rectum of adult *Ricania speculum*

2.2.5　马氏管　八点广翅蜡蝉成虫的马氏管由单层上皮细胞组成，未发现肌肉层分布，上皮细胞中有大量微生物。马氏管可分为近端（图6-A，C）和远端（图7-A，E）2个区域。其中近端区域上皮细胞基部质膜高度内折，形成基底迷路，其间分布丰富的线粒体（图6-B）；细胞顶端微绒毛密集排列，厚度约4.77 μm，微绒毛基部分布极化的线粒体，顶端被电子透明空泡层覆盖，厚度约2 μm（图6-E－F）；细胞质中有大量低电子密度空泡，细胞器丰富，可见粗面内质网和线粒体（图6-D－E）；在细胞中部区域可见淋巴间隙，延伸到细胞顶端区域时可见分隔连接（图6-D）。

与近端区域相比，马氏管远端区域上皮细胞基部质膜内折较浅（图7-B）；细胞顶端微绒毛排列紧密，顶端同样有电子透明空泡（图7-C）；细胞质中分布大量球晶体（图7-B，D）；此外，在马氏管远端区域存在被微生物侵染的上皮细胞，与正常上皮细胞不同的是，该类细胞发生严重肿胀，细胞结构被破坏，细胞中充满空泡、球晶体和球形线粒体（图7-D－F）。

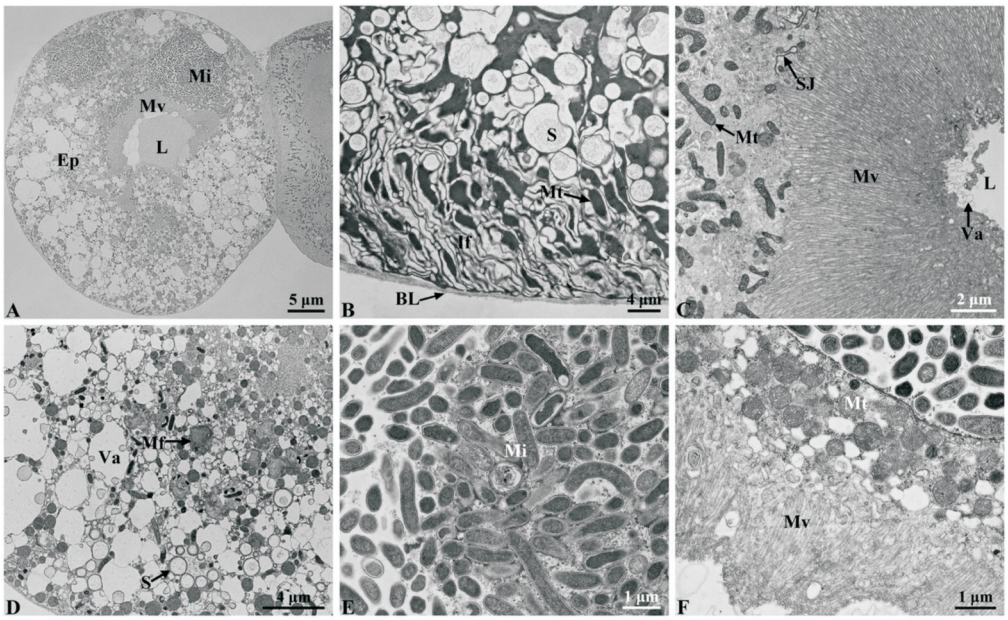


A. 马氏管近端区域;B. 基膜区域;C. 细胞质中的微生物;D－E. 细胞质中的细胞器;F. 顶端微绒毛区域。Ep. 上皮细胞;L. 管腔;Mv. 微绒毛;Mi. 微生物;BL. 基膜;If. 基部质膜内折;Mt. 线粒体;LS. 淋巴间隙;Va. 空泡;Mf. 髓鞘样结构;SJ. 分隔连接;Rer. 粗面内质网;Mb. 多泡小体。

A. The proximal region of the Malpighian tubules; B. The basal lamina region; C. Microorganisms in the cytoplasm; D－E. Organelles in the cytoplasm; F. The apical microvillar region. Ep. Epithelium; L. Lumen; Mv. Microvilli; Mi. Microorganisms; BL. Basal lamina; If. Basal plasma membrane infoldings; Mt. Mitochondria; LS. Lymph space; Va. Vacuole; Mf. Myelin figures; SJ. Septate junctions; Rer. Rough endoplasmic reticulum; Mb. Multivesicular body.

图 6 八点广翅蜡蝉成虫马氏管近端区域的超微结构

Fig. 6 Ultrastructure of proximal region of the Malpighian tubules of adult *Ricania speculum*



A. 马氏管远端区域;B－C. 正常上皮细胞横切;D－F. 受微生物侵染的上皮细胞横切。Ep. 上皮细胞;Mi. 微生物;Mv. 微绒毛;L. 管腔;S. 球晶体;Mt. 线粒体;If. 基部质膜内折;BL. 基膜;SJ. 分隔连接;Va. 空泡;Mf. 髓鞘样结构。

A. The distal region of the Malpighian tubules; B－C. Transverse section of normal epithelial cells; D－F. Transverse section of epithelial cells infected by microorganisms. Ep. Epithelium; Mi. Microorganisms; Mv. Microvilli; L. Lumen; S. Spherites; Mt. Mitochondria; If. Basal plasma membrane infoldings; BL. Basal lamina; SJ. Septate junctions; Va. Vacuole; Mf. Myelin figures.

图 7 八点广翅蜡蝉成虫马氏管远端区域的超微结构

Fig. 7 Ultrastructure of distal region of the Malpighian tubules of adult *Ricania speculum*

3　讨论与结论

3.1　蜡蝉次目昆虫消化道和马氏管的形态特征

依据前人及本研究结果，可将蜡蝉次目昆虫消化道和马氏管的形态特征总结如下。1）蜡蝉消化道由食道、前支囊、中肠和后肠组成；2）食道细长，其端部着生前支囊；3）中肠高度盘绕；后肠主要为直肠，略微膨大，回肠极短；4）马氏管可分为近端和远端2个区域，其中近端区域较短，远端区域较长。

3.2　蜡蝉总科消化道和马氏管的超微结构

3.2.1　前支囊　在头喙亚目内，前支囊是蜡蝉次目昆虫的特有结构，前支囊的大小和形状因供试种类体型及气泡和液体的充满程度不同而具有差异[18-19, 21-23]。孙少轩[20]研究表明，斑蜡蝉前支囊结构与异翅亚目椿象中肠膨大成囊状的第1部分相似，因此推测前支囊可能是储藏食物的场所。MUKHARJI[23]研究发现，前支囊的功能是改变身体前部的重量；CHEUNG[18]研究发现，前支囊或与中肠鞘一起在水及矿物质调节中发挥作用。本研究中，八点广翅蜡蝉的前支囊存在与中肠类似的膜结构，这与CHEUNG[18]对龙眼鸡的研究结果一致，这种丝状膜结构很可能就是围微绒毛膜，因此推测前支囊可能与营养物质的吸收相关。此外，前支囊上皮细胞中存在密集的板层状内质网、线粒体和溶酶体，还可见内分泌细胞和顶端密集的短微绒毛，进一步表明前支囊通过合成和分泌激素等物质参与昆虫消化吸收营养物质的过程。另外，笔者还发现，与其他半翅目昆虫类似，蜡蝉次目昆虫的中肠无围食膜，但存在一类脂蛋白膜，即围微绒毛膜，覆盖在微绒毛顶端，推测其功能可能类似于咀嚼式口器昆虫的围食膜。

3.2.2　马氏管　八点广翅蜡蝉马氏管的超微结构与蜡蝉科其他昆虫[2, 21]相似，但八点广翅蜡蝉马氏管上皮细胞顶端微绒毛表面有电子透明空泡层，有关该空泡层在马氏管排泄中的作用还有待深入研究。此外，八点广翅蜡蝉除食道以外的消化道其他部位以及马氏管上皮细胞中均有大量微生物，在中肠外附着的绛色细胞和直肠肌肉细胞中也有微生物聚集，但肠道微生物的种类和来源尚不清楚，蜡蝉与这些肠道微生物之间的关系也有待更深入研究。

3.3　基于内生殖系统形态证据的头喙亚目系统发育初探

蜡蝉次目与头喙亚目蝉次目（Cicadomorpha）的区别，不仅表现在外部形态上[24-25]，还在消化系统形态上存在明显区别，其中蜡蝉次目昆虫消化道无滤室结构，食道末端有前支囊[18-19, 22]；而蝉次目昆虫消化道具滤室结构，食道末端无前支囊。因此，蜡蝉的内部系统形态也可以为头喙亚目昆虫高级阶元分类提供重要依据。

[参考文献]

[1] 彩万志，庞雄飞，花保祯，等. 普通昆虫学[M]. 2版. 北京：中国农业大学出版社，2011：72-76.
CAI W Z, PANG X F, HUA B Z, et al. General entomology [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2011: 72-76.

[2] CHEUNG W W K. Ultrastructural and functional differentiation of the Malpighian tubules of the lantern bug, *Pyrops candelaria* Linn. (Homoptera: Fulgoridae) [J]. Cytologia, 1981, 46 (1/2): 241-254.

[3] SONG N, WANG M M, HUANG W C, et al. Phylogeny and evolution of hemipteran insects based on expanded genomic and transcriptomic data[J]. BMC Biology, 2024, 22(1): 190.

[4] WANG W Q, MENG R, HUANG Y X, et al. A phylogeny with divergence-time estimation of planthoppers (Hemiptera: Fulgoroidea) based on mitochondrial sequences [J]. Zoological Journal of the Linnean Society, 2024, 201(1): 86-97.

[5] O'BRIEN L B, WILSON S W. Planthopper systematics and external morphology[M]//NAULT L R, RODRIGUEZ J G. The leafhoppers and planthoppers. New York: Wiley, 1985: 61-102.

[6] WILSON S W, O'BRIEN L B. A survey of planthoppers, pests of economically important plants (Homoptera: Fulgoroidea) [C]//WILSON S W, NAULT L R. Proceedings of 2nd international workshop on leafhoppers and planthoppers of economic importance. London: CAB International Institute of Entomology, 1987: 343-360.

[7] BACKUS E A, SERRANO M S, RANGER C M. Mechanisms of hopper burn: an overview of insect taxonomy, behavior, and physiology[J]. Annual Review of Entomology, 2005, 50: 125-151.

[8] WEINTRAUB P G, BEANLAND L. Insect vectors of phytoplasmas[J]. Annual Review of Entomology, 2006, 51: 91-111.

[9] BOURGOIN T. Morphologie antennaire des Tettigometridae (Hemiptera: Fulgoromorpha) [J]. Nouvelle Revue d'Entomologie, 1985, 2(1): 11-20.

[10] BOURGOIN T. Morphologie imaginale du tentorium des Hemiptera fulgoromorpha[J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology, 1986, 15(4): 237-252.

[11] BOURGOIN T. Female genitalia in Hemiptera fulgoromorpha, morphological and phylogenetic data [J]. Annales de la Société Entomologique de France, 1993, 29(3): 225-244.

（下转第 158 页）