

长翅型白背飞虱雌成虫翅的超微特征*

伍俭儿, 梁安文, 冯博, 胡杨, 王方海

中山大学生命科学学院, 广东 广州 510275

摘要: 白背飞虱 *Sogatella furcifera* 为水稻重要害虫, 长翅型成虫能够远距离飞行迁移, 扩散其危害的范围。本研究利用扫描电镜观察研究了长翅型白背飞虱雌成虫翅的超微特征, 发现: 前、后翅的翅面中间薄而边缘厚, 翅中部到端部的边缘有叠起的褶皱, 前翅背面翅面上均匀地分布着许多小刺状突起, 长度为 $(3.07 \pm 0.48) \mu\text{m}$, 而后翅背腹两面均着生有许多小刺状突起。前翅的背面和腹面都存在毛形感器样结构, 根据形态可分为 TS-I 和 TS-II 两种: TS-I 分布于腹面翅基部的翅脉处且与翅脉垂直, 没有明显的基窝, 数量为 (4 ± 1.41) 根, 长为 $(31.80 \pm 2.43) \mu\text{m}$; TS-II 则分布于背面的翅脉上, 数量为 (5 ± 1.41) 根, 长度为 $(57.25 \pm 21.84) \mu\text{m}$, 着生于有明显凹陷的基窝中。前翅腹面边缘以及翅脉处还分布有钟形感器样结构, 数量为 (5.00 ± 3.46) 个; 另外还发现一种锥形感器样结构, 位于前翅腹面边缘, 数量为 (21.00 ± 4.36) 个, 长 $(8.25 \pm 2.09) \mu\text{m}$ 。研究结果有助于从超微水平对白背飞虱翅的形态结构有个更深入的了解, 进一步理解其迁飞扩散的能力, 为寻找更好的防控措施打下基础。

关键词: 白背飞虱 *Sogatella furcifera*; 长翅型; 毛形感器样结构; 钟形感器样结构; 锥形感器样结构

中图分类号: Q965 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-0137(2024)01-0066-05

Ultrastructures of the wings from the long-winged female adult of *Sogatella furcifera*

WU Jianer, LIANG Anwen, FENG Bo, HU Yang, WANG Fanghai

School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract: *Sogatella furcifera* is an important pest of rice. Long-winged adults can migrate over long distances and spread their harm. In this study, the ultramicroscopic characteristics of female adult planthopper with long wings were studied by scanning electron microscopy. The results showed that: The middle of the fore and hind wing surface is thin and the edge is thick. The edge of the middle to the end of the wing has folded. There are many small spines evenly distributed on the back wing surface of the forewing, the length is $(3.07 \pm 0.48) \mu\text{m}$, and there are many small spines on both sides of the hind wing. There were trichoid sensilla like apparatus on the dorsal surface and ventral surface of the forewing, which could be divided into TS-I and TS-II. TS-I distributed in the ventral wing base and perpendicular to the ventral wing vein, and had no obvious basal fossa. The number of TS-I was 4 ± 1.41 , and the length was $(31.80 \pm 2.43) \mu\text{m}$. TS-II was distributed on the dorsal vein of the wing, and the number of TS-II was 5 ± 1.41 , the length was $(57.25 \pm 21.84) \mu\text{m}$, and the TS-II was located in the basal fossae with obvious depression. Campaniform sensilla like apparatuses were also distributed in the ventral edge of the forewing and in the veins, and the number was 5.00 ± 3.46 . In addition, a basiconic sensilla like apparatus with 21.00 ± 4.36 in number and $(8.25 \pm 2.09) \mu\text{m}$ in length was found on the ventral edge

* 收稿日期: 2023-05-10

录用日期: 2023-10-25

网络首发日期: 2023-12-05

基金项目: 广东省自然科学基金(2021A1515012402); 广州市科技计划项目(202002030019)

作者简介: 伍俭儿(1970年生), 女; 研究方向: 动物形态与解剖学; E-mail: wujianer@mail.sysu.edu.cn

通信作者: 王方海(1965年生), 男; 研究方向: 昆虫生物化学与分子生物学; E-mail: lsswfh@mail.sysu.edu.cn

of the forewing. The results of this study are helpful to further understand the morphological structure of the white back planthopper wing at the ultrastructural level, and understand its ability to migrate and spread, and lay a foundation for better prevention and control measures.

Key words: *Sogatella furcifera*; long-winged; trichoid sensilla like apparatus; campaniform sensilla like apparatus; basiconic sensilla like apparatus

白背飞虱 *Sogatella furcifera* 是主要农作物水稻上的重要害虫, 隶属于半翅目飞虱科 (Zhou et al., 2017)。其成虫具有长翅和短翅两种翅型。长翅型成虫能够长距离飞行迁移, 可成功躲避恶劣的环境, 并扩散其危害的范围。短翅型成虫繁殖力较强, 但不具有飞行扩散的能力 (何静怡等, 2022)。因此, 该类害虫的长、短翅型比率发生动态是其数量预测中的一个非常重要的参数。长期以来, 人们分别从生态因子 (安志芳等, 2014)、生理因子 (Zhao et al., 2017; Lin et al., 2018) 以及分子水平 (Xu et al., 2017; Zhou et al., 2017; Yang et al., 2021) 探寻稻飞虱长、短翅型的调控机理, 取得了很多重要的成果和发现。

然而有关稻飞虱翅型的形态学方面研究报道很少, 本实验室之前曾用 Nikon 体视显微镜操作系统对白背飞虱翅型进行过详细观察和测量 (杨梅等, 2020), 但在电子显微镜下的超微特征尚未有报道。因此, 本文应用扫描电子显微镜对长翅型白背飞虱雌成虫翅的超微特征进行了研究, 以期从超微水平对白背飞虱翅的形态结构有个更深入的了解, 进一步理解其迁飞扩散的能力, 为寻找更好的防控措施打下基础。

1 材料与方法

1.1 材料

白背飞虱采自位于广州市郊外的华南农业大

学水稻试验田, 在室温 (28±2) °C、70% 相对湿度和 16 h 光照 : 8 h 黑暗的条件下使用水稻苗进行饲养繁殖。选取 3 头长翅型白背飞虱雌成虫, 在体视显微镜 (Nikon SMZ1000, Japan) 下, 用镊子和解剖针取下前翅和后翅备用。

1.2 方法

采用乙醇梯度脱水法 (φ 为 50%、70%、90%、95% 和 100% 的乙醇) 处理所有样品, 每个乙醇梯度的处理时间均为 15 min。然后将样品放置于 28 °C 的烘箱中干燥 15 min, 取出样品后使用碳双面导电胶带将其固定于铝制样品台上, 用 Phenom Pro 台式扫描电子显微镜观察并拍照, 加速电压为 10 kV。测量数据均以平均值±标准差表示。

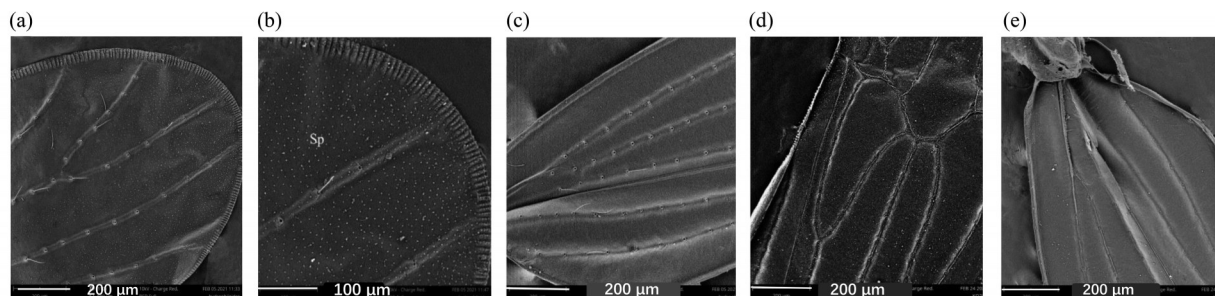
2 结果与分析

2.1 长翅型白背飞虱雌成虫前翅的形态

在扫描电镜下可观察到长翅型白背飞虱的前翅呈长椭圆状, 端部较宽较圆 (图 1a), 从端部到基部逐渐变窄变小, 翅面中间薄 (2.26±0.29) μm 而边缘厚 (3.58±0.37) μm (图 1c~e)。前翅背面中部到端部的翅面上均匀地分布着许多小刺状突起 (Sp, spike), 长度为 (3.07±0.48) μm (图 1b), 该区域的边缘还有叠起的褶皱 (图 1a~b)。

2.2 长翅型白背飞虱雌成虫前翅的感器样结构

长翅型成虫前翅的背面和腹面都存在毛形感器样 (TS, trichoid sensilla like) 结构, 根据形态可



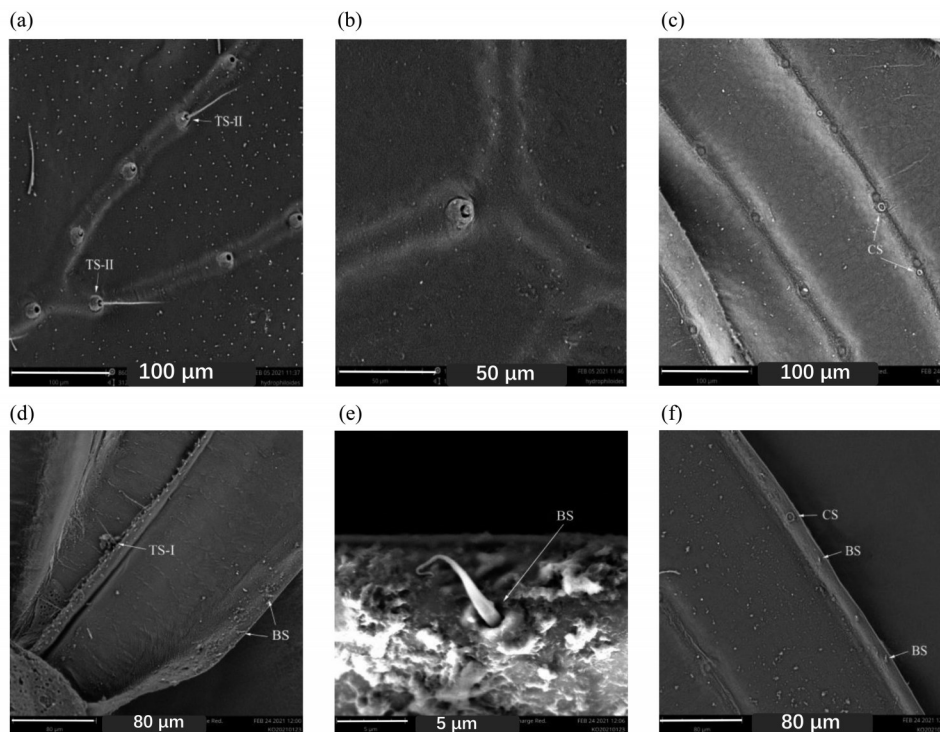
a~c: 前翅背面; d~e: 前翅腹面; Sp: 刺状突起。

图1 长翅型白背飞虱雌成虫前翅的局部形态

Fig. 1 Local morphology of the forewing from the long-winged female adult of *Sogatella furcifera*

分为 TS-I 和 TS-II 两种。TS-I 分布于腹面翅基部的翅脉处且与翅脉垂直, 没有明显的基窝, 数量为 (4 ± 1.41) 根, 长为 $(31.80 \pm 2.43) \mu\text{m}$ (表 1)。整体匀称细长, 基部宽 $(1.57 \pm 0.20) \mu\text{m}$, 顶端尖细且略向内弯曲 (图 2d)。TS-II 则分布于背面的翅脉上, 数量为 (5 ± 1.41) 根, 长度为 $(57.25 \pm 21.84) \mu\text{m}$ (表 1), 着生于有明显凹陷的基窝中, 基窝隆起且明显高于表皮。总体纤直细长, 基部宽 $(3.47 \pm 0.39) \mu\text{m}$, 从基部向端部逐渐细尖, 顶端不弯曲 (图 2a)。从图 2 中可明显看出, 许多基窝中没有或只有小半截毛形结构 (图 2a~b), 我们推测可能是

由于自然脱落或机械损伤造成的。除了 TS-I, 前翅腹面还分布了两种感器样结构: 一种是钟形感器样 (CS, campaniform sensilla like) 结构, 主要着生于翅的边缘 (图 2f) 以及翅脉处 (图 2c), 数量为 (5.00 ± 3.46) 个, 基部宽 $(3.07 \pm 1.36) \mu\text{m}$ (表 1), 呈帽状结构, 帽状结构略高于表皮水平面; 另一种是锥形感器样 (BS, basiconic sensilla like) 结构, 位于翅的边缘, 与 CS 呈纵向排列, 有明显的基窝, 短而粗, 与翅面不垂直且从中部开始弯曲, 数量为 (21.00 ± 4.36) 个, 长 $(8.25 \pm 2.09) \mu\text{m}$, 基部宽 $(1.20 \pm 0.03) \mu\text{m}$ (图 2d~f, 表 1)。



a: 前翅背面的 TS-II; b: 前翅背面毛状物断掉的 TS-II; c~f: 前翅腹面的感器样结构; TS-I: 毛形感器样结构 I; TS-II: 毛形感器样结构 II; CS: 钟形感器样结构; BS: 锥形感器样结构。

图 2 长翅型白背飞虱雌成虫前翅的感器样结构

Fig. 2 Sensilla like apparatus on the forewing of the long-winged female adult of *Sogatella furcifera*

表 1 长翅型白背飞虱雌成虫前翅感器样结构的统计结果¹⁾

Table 1 Statistical results of sensilla like apparatus on forewings of long-winged female of *Sogatella furcifera* adults

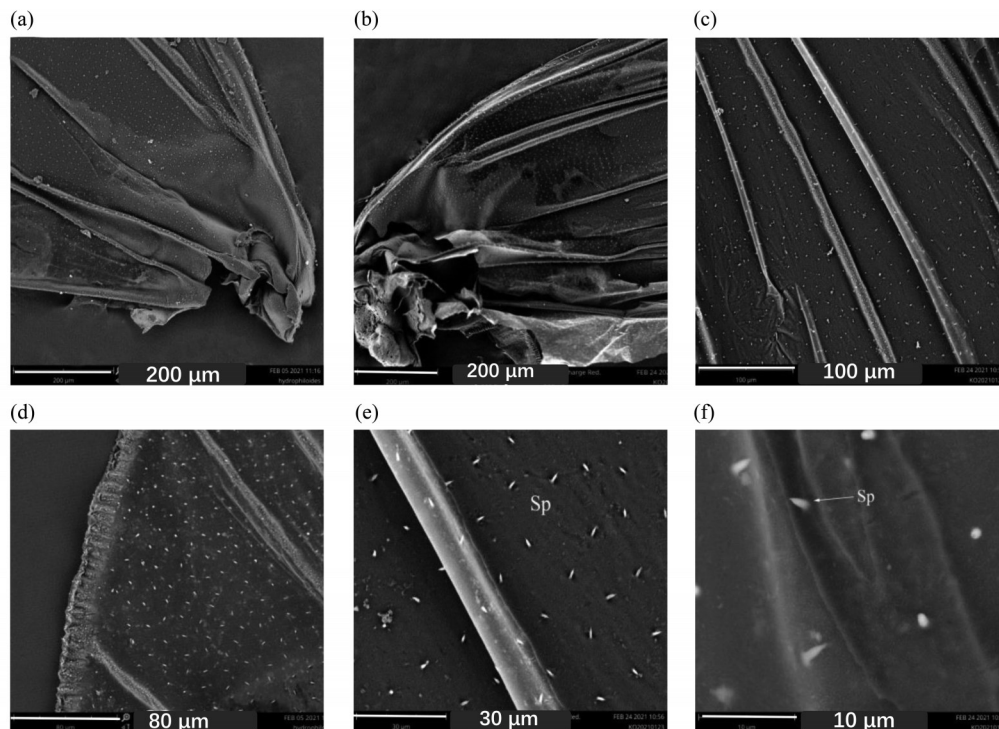
感器样结构	数目/个	长度/ μm	基部宽/ μm
TS-I	4.00 ± 1.41	31.80 ± 2.43	1.57 ± 0.20
TS-II	5.00 ± 1.41	57.25 ± 21.84	3.47 ± 0.39
BS	21.00 ± 4.36	8.25 ± 2.09	1.20 ± 0.03
CS	5.00 ± 3.46	—	3.07 ± 1.36

1) TS-I: 毛形感器样结构 I; TS-II: 毛形感器样结构 II; BS: 锥形感器样结构; CS: 钟形感器样结构。表中的数值为平均值 \pm 标准差, “—”表示无法测量相关数据。

2.3 长翅型白背飞虱雌成虫后翅的形态

长翅型白背飞虱雌成虫后翅呈扇形, 背腹两面的形态大致相同且都没有明显的感器样结构。翅面特征与前翅的相似, 翅面中间薄(2.35 ± 0.31)

μm 而边缘厚(3.76 ± 0.42) μm (图 3a~b), 翅中部到端部的边缘有叠起的褶皱(图 3d), 不同之处在于后翅背腹两面均着生有许多小刺状突起(图 3c~f), 而前翅上只有背面长有这种突起。



a: 后翅背面; b: 后翅腹面; c~f: 后翅背腹面的刺状突起; Sp: 刺状突起。

图3 长翅型白背飞虱雌成虫后翅的局部形态

Fig. 3 Local morphology of the hind wing from the long-winged female adult of *Sogatella furcifera*

3 讨论

已有的研究多数从几何形态测量学方面对昆虫前翅和后翅的差异进行了详细的描述, 如白背飞虱短翅型雌成虫的前、后翅并未按同等比例缩小, 且短翅型雌成虫前翅中的横脉更靠近翅尾(温光华等, 2015); 5种稻蝗前、后翅的大小和形态差异都比较显著, 前翅差异的部位主要在缘前脉域、前缘脉域和臀脉域, 后翅的差异主要在亚前缘脉域、前缘脉域及轭脉域(温光华等, 2015)。本研究利用扫描电镜观察研究了长翅型白背飞虱雌成虫前、后翅的超微特征, 发现: 前翅存在大量的感器样结构, 且前翅仅在背面翅面上均匀地分布着许多小刺状突起; 而后翅背腹两面均着生有许多小刺状突起, 不含感器样结构。

在扫描电镜下可观察到长翅型白背飞虱的前、后翅表面均呈现出翅面中间薄而边缘厚, 翅中部到端部的边缘有叠起的褶皱。不同的是: 前翅上

只在背面中部到端部的翅面上均匀地分布着许多长度为(3.07 ± 0.48) μm 的小刺状突起; 而后翅背腹两面都着生有许多小刺状突起, 其功能是什么, 尚不清楚, 有待进一步研究。

首次发现长翅型白背飞虱雌成虫前翅的背面翅脉上分布有毛形感器样结构 TS-II, 前翅腹面翅基部的翅脉处分布有毛形感器样结构 TS-I, 此外前翅腹面还分布有钟形感器样(CS, campaniform sensilla like)结构和锥形感器样(BS, basiconic sensilla like)结构。在东亚飞蝗 *Locusta migratoria* (Altman et al., 1978)、烟草天蛾 *Manduca sexta* (Bomphrey et al., 1978)和双斑蟋 *Gryllus bimaculatus* (Shimozawa et al., 1984)等昆虫翅表面也发现了这类毛形感器样结构, 认为其主要作为定向空气运动探测器或气压探测器, 从而有利于调节自身的运动(Ai et al., 2010)。由于白背飞虱与东亚飞蝗一样, 具有远距离迁飞的特性, 推测这些毛形感器样结构可能会有同样的功能。

目前有大量模仿昆虫飞行的仿生飞行器的研制,如仿生蝴蝶飞行器的设计(冷焯等,2019),如果在这些仿生飞行器的设计和研制过程中,引入传感器以模仿昆虫的传感器,进而可以探测空气运动方向和气压变化,将有利于调节和平衡仿生飞行器的运动。

参考文献:

- 安志芳,于居龙,彭娟,等,2014.稻飞虱翅型纯系后代个体的翅型分化对光周期变化不敏感[J].昆虫学报,57(11):1306-1314.
- 何静怡,杨梅,林佳,等,2022.白背飞虱DNMT1基因的结构特点及在雌雄成虫中的差异表达[J].中山大学学报(自然科学版)(中英文),61(2):76-81.
- 冷焯,张卫平,周岁,等,2019.仿生蝴蝶飞行器设计分析[J].机械设计与研究,35(4):32-35+42.
- 温光华,白义,周娟,等,2015.基于几何形态测量学的五种稻蝗前后翅的形态变化研究[J].应用昆虫学报,52(2):356-362.
- 杨梅,梁士可,何静怡,等,2020.白背飞虱成虫不同翅型的形态测量学比较[J].安徽农业科学,48(12):132-134.
- AGRAWAL S, GRIMALDI D, FOX J L, 2017. Haltere morphology and campaniform sensilla arrangement across Diptera [J]. *Arthropod Struct Dev*, 46 (2) : 215-229.
- AI H, YOSHIDA A, YOKOHARI F, 2010. Vibration receptive sensilla on the wing margins of the silkworm moth *Bombyx mori*[J]. *J Insect Physiol*, 56(3): 236-246.
- AIELLO B R, STANCHAK K E, WEBER A I, et al, 2021. Spatial distribution of campaniform sensilla mechanosensors on wings: Form, function, and phylogeny[J]. *Curr Opin Insect Sci*, 48: 8-17.
- ALTMAN J S, ANSELMONT E, KUTSCH W, 1978. Postembryonic development of an insect sensory system: Ingrowth of axons from hindwing sense organs in *Locusta migratoria* [J]. *Proc R Soc Lond B*, 202 (1149): 497-516.
- BOMPHELY R J, LAWSON N J, HARDING N J, et al, 2005. The aerodynamics of *Manduca sexta*: Digital particle image velocimetry analysis of the leading-edge vortex[J]. *J Exp Biol*, 208(6): 1079-1094.
- HE Z, LUO Y, SHANG X, et al, 2019. Chemosensory sensilla of the *Drosophila* wing express a candidate ionotropic pheromone receptor [J]. *PLoS Biol*, 2019, 17 (5) : e2006619.
- KRISHNA S, CHO M, WEHMANN H N, et al, 2020. Wing design in flies: Properties and aerodynamic function[J]. *Insects*, 11(8): 466.
- LIN X, LAVINE L C, 2018. Endocrine regulation of a dispersal polymorphism in winged insects: A short review[J]. *Curr Opin Insect Sci*, 25: 20-24.
- SHIMOZAWA T, KANOU M, 1984. The aerodynamics and sensory physiology of range fractionation in the cereal filiform sensilla of the cricket *Gryllus bimaculatus* [J]. *J Comp Physiol*, 155(4): 495-505.
- XU H J, ZHANG C X, 2017. Insulin receptors and wing dimorphism in rice planthoppers[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 372(1713): 20150489.
- YANG M, LIANG S, WANG F, 2021. Differential DNA methylation between long-winged and short-winged adults of *Nilaparvata lugens*[J]. *3 Biotech*, 11(11): 1-7.
- ZHAO J, ZHOU Y, LI X, et al, 2017. Silencing of juvenile hormone epoxide hydrolase gene (*Nljheh*) enhances short wing formation in a macropterous strain of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. *J Insect Physiol*, 102: 18-26.
- ZHUO J C, LEI C, SHI J K, 2017. Tra-2 mediates cross-talk between sex determination and wing polyphenism in female *Nilaparvata lugens*[J]. *Genetics*, 207(3): 1067-1078.

(责任编辑 张冰)