

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2020.03.008

桉小卷蛾触角感器的超微结构

吴梅香^{1,2}, 张太学^{2,3}, 陈开端⁴, 陈 琦²

¹福建农林大学闽台作物有害生物生态防控国家重点实验室, 福建 福州 350002; ²福建农林大学植物保护学院, 福建 福州 350002; ³西北农林科技大学植物保护学院, 陕西 杨凌 712100; ⁴福建省连江县植保植检站, 福建 连江 3505004

摘要:【目的】桉小卷蛾是桉树、番石榴等林木和果树的一种重要害虫。为确定桉小卷蛾成虫触角上的感器对寻找生存环境及对外界环境的各种刺激所起的作用,研究了桉小卷蛾触角感器的种类、形态和分布。【方法】利用扫描电镜对桉小卷蛾成虫触角感器进行了详细观察和研究。【结果】桉小卷蛾雌、雄蛾触角由柄节、梗节和鞭节组成,触角的外侧面覆盖有鳞片;雄性触角略短于雌虫,且鞭节近 1/4 处有一凹陷。共发现 7 种感器,即鳞形感器、毛形感器、锥形感器、腔锥形感器、耳形感器、刺形感器和 Böhm 氏鬃毛,其中以毛形感器数量最多。【结论】桉小卷蛾雌雄成虫触角的感器种类、分布、数量有一定的规律但又有差异。建议应用气相-触角电位联用技术 GC-EAD 和触角电位 EGA 等技术进一步解析触角感器的功能。
关键词: 桉小卷蛾; 触角感器; 超微结构; 电镜扫描



开放科学标识码
(OSID 码)

Ultrastructure of the antennal sensillae of *Strepsicrates coriariae* (Lepidoptera: Tortricidae)

WU Meixiang^{1,2}, ZHANG Taixue^{2,3}, CHEN Kaiduan⁴, CHEN Qi²

¹State Key Laboratory of Ecological Pest Control for Fujian and Taiwan Crops, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; ²College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China; ³College of Plant Protection, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; ⁴Plant Protection Station of Lianjiang, Fuzhou, Fujian 3505004, China

Abstract: 【Aim】*Strepsicrates coriariae* is an important pest of forest and fruit trees such as eucalyptus and guava as a first step to study the role of the antennal sensillae of *S. coriariae* in locating suitable habitats and reacting to external stimuli, we aimed to describe the ultrastructure of antennal sensillae. 【Method】The type, number and distribution of antennal sensillia were observed and studied by scanning electron microscopy (SEM). 【Result】The antenna of *S. coriariae* was made of scape, pedicel and flagella and the outside lateral surface of antenna was covered with catapylla. There was no significant difference between females and males in the shape of the antenna, but the antenna of male *S. coriariae* was shorter than that of female and there was a cave near the top quarter of the flagellum. Seven distinct types of receptors were found, including sensilla squamiformia (Q), sensilla trichodea (ST), sensilla basiconica (SB), sensilla coeloconica (SC), sensilla auricillica (SAu), sensilla chaetica (SCh) and Böhm hairs. The sensilla trichodea was the most numerous among these antennal sensilliao. 【Conclusion】The distribution of antennal sensilla presented regularly to some extent, but there were also some differences between females and males in the number, type, distribution and characteristics of antennal sensilla. It is suggested that GC-EAD and EGA technology should be applied to further analyze the function of the antennal sensillae in *S. coriariae*.
Key words: *Strepsicrates coriariae*; antennal sensillia; ultrastructure; scanning electron microscopy

收稿日期(Received): 2019-12-03 接受日期(Accepted): 2020-03-23
基金项目: 农业部(公益性)行业专项(200903034)
作者简介: 吴梅香, 女, 副教授, 博士。研究方向: 农业昆虫与害虫防治
* 通信作者(Author for correspondence), E-mail: wuivy2000@126.com

昆虫最为重要的感觉器官是触角,如果昆虫的触角受损或切除,将极大地影响昆虫寻找食物的能力,扰乱昆虫的交配和繁殖,干扰昆虫正常识别和定位寄主,同时在昆虫遇到敌害时将影响昆虫适时地防御与迁移。昆虫触角上分布着具有触觉、嗅觉、听觉等功能的传感器。传感器是昆虫体壁的一部分表皮特化而形成的,是昆虫接受外界各种信息,并且可以对周围环境中体内的各种刺激产生反应,进行种间、种内化学交流通讯的主要器官或结构(彩万志,2011)。昆虫的觅食、交配、产卵、选择栖息产所、寻找寄主等行为大多是通过着生在触角上各种类型的传感器来实现的(那杰等,2008; Skiri *et al.*, 2005)。掌握昆虫触角上传感器的类型、数量和分布是探索昆虫行为内在机理的前提。触角作为鳞翅目昆虫最重要的感觉器官,在为其自身寻找生存环境以及对外界环境的各种刺激做出反应和行为方面具有重要的作用。不同的鳞翅目昆虫,其触角的构造、类型各有差异。综合分析国内外相关研究,发现鳞翅目昆虫的触角传感器主要有以下几种类型:毛形传感器(sensilla trichodea, ST)(邓顺等,2010; 马瑞燕和杜家纬,2000; Frank *et al.*, 2010)、鳞形传感器(sensilla squamiformia, SQ)(杨慧等,2008; Ebbinghaus *et al.*, 2010; Schneider, 1964)、耳形传感器(sensilla auriculica, SAu)(曹春雷等,2015; 郝家胜等,2007; 李倩等,2014; 王桂荣等,2002; 张蒙等,2014; 张国辉等,2014; Faucheux *et al.*, 2006)、刺形传感器(sensilla chaetica, SCh)(胡文静等,2010; 袁向群等,2013)、腔锥形感器(sensilla coeloconica, SCo)(郭振营和王振军,2015; 尹姣等,2004; Pophof, 1997)、栓锥形感器(sensilla styloconica, SSSt)(郭振营和王振军,2015)、锥形感器(sensilla basiconica, SB)(王桂荣等,2002; Maida *et al.*, 2005)、板形感器(sensilla placodea, SP)(Faucheux, 1992)、Böhm氏鬃毛(Böhm hairs)(余海忠等,2007; Faucheux, 1992)等。

桉小卷蛾 *Strepsicrates coriariae* Oku 属鳞翅目 Lepidoptera 卷蛾科 Tortricidae 桉小卷蛾属 *Strepsicrates*, 以幼虫卷叶危害桉树 *Eucalyptus robusta* Smith、白千层 *Melaleuca leucadendron* L.、番石榴 *Psidium guajava* Linn.、莲雾 *Syzygium samarangense* (Bl.) Merr. et Perry 等林木和果树的嫩梢、嫩叶及果实(刘友樵, 1997; 庞正轰, 1992; 吴梅香等, 2011)。在南方一年发生 7~9 代, 无明显越冬现象。不同地

域间桉小卷蛾发生危害程度不同(卢川川, 1985; 庞正轰, 2001)。目前国内外关于桉小卷蛾的报道很少, 仅有少数生物学特性、化学防治等方面的研究(陈佩珍, 1997; 蒋振环等, 2014), 未见其触角超微结构研究。本研究利用电镜扫描分析鉴定了桉小卷蛾触角感器的超微结构, 比较各种传感器的形态特征及分布情况, 并依据雌雄触角传感器的分布差异性推测其可能的生理功能, 为更好地利用新的化学信息物质治理桉小卷蛾提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 虫源选择

测试扫描的桉小卷蛾成虫采自福州市盖山镇台湾番石榴园, 幼虫在养虫室内饲养, 饲养条件为温度 (25 ± 1) °C, 相对湿度 60%~70%, 用幼嫩桉树叶进行饲养直到化蛹, 将雌雄蛹分开放在养虫盒内(茶花牌, 18.0 cm×11.1 cm×7.0 cm)直到其羽化为止。将养虫盒放置在一起, 使其相互产生性激素刺激以达到性成熟。室内观察发现, 桉小卷蛾羽化之后 1~2 d 是雌性性腺成熟、雄虫求偶最盛的时期, 故选用羽化后 2 d 的未交配、健壮且触角完整的雌、雄桉小卷蛾成虫用于电镜扫描实验。

1.2 样品的制备

将挑选好的桉小卷蛾成虫放在体视显微镜下, 用解剖针小心撕下完整的雌雄触角, 在室温下用 4% 的戊二醛固定 6 h 左右; 再用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的磷酸缓冲液反复冲洗 3 次, 每次 10 min; 接着分别用 30%、50%、70%、90%、100% 的乙醇进行不同浓度梯度的酒精脱水, 每次脱水 15 min (其中 100% 的酒精脱水 2 次); 最后用乙酸异戊酯进行处理, 然后放入蓝色硅胶瓶中干燥备用。将干燥好的样品用导电胶粘在装有双面胶的圆形铜板上(直径 2.5 cm), 用日本日立 E-1010 离子溅射仪进行喷金处理(电流 15 mA, 2 min)。喷金后, 在日本日立 TM-1000 扫描电镜(加速电压 15000 V)下采集图像, 并保存图片, 做好记录。根据 Schneider (1964) 的触角感器分类方法, 分析鉴定桉小卷蛾触角中所分布的感器类型, 统计整个触角不同感器的数目, 并对各种感器进行初步测量分析。

2 结果与分析

2.1 桉小卷蛾触角的一般构造

桉小卷蛾的触角由基部粗短的柄节(scape)、

短小的梗节 (pedicel) 及系列小节组成的鞭节 (flagellum) 3 个部分构成, 整体呈线状, 由基部向着端部慢慢变细。雌成虫触角长度约为 3.5 mm, 鞭节由大约 60 鞭小节组成, 每一鞭小节背面都覆盖有鳞片且层层相叠。绝大多数的感器分布在触角的腹面和侧面。从触角的鞭节到基部, 感觉毛逐渐变密

集且变短小。柄节长约 200 μm , 基部斜圆锥状直径约 90 μm , 中段和端端圆柱状直径约 120 μm 。雌、雄蛾触角在外形上没有明显差异, 但雄性触角略短于雌虫, 长度约为 3.0 mm, 且鞭节近 1/4 处有一凹陷 (图 1)。

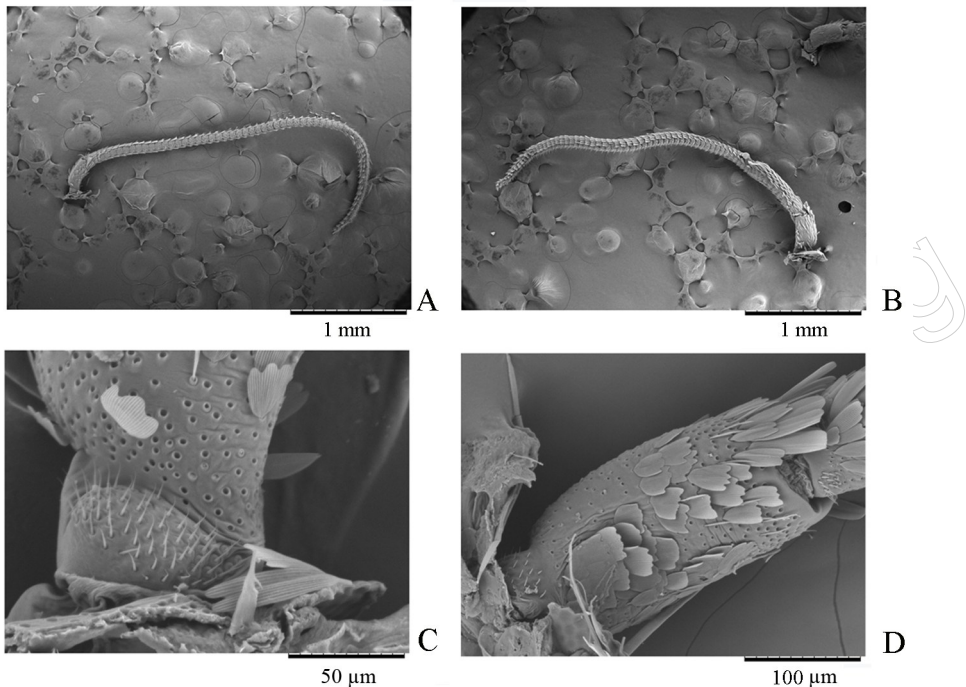


图 1 桉小卷蛾触角构造
Fig.1 Antennal structure of *S. coriariae*

A: 雌蛾触角; B: 雄蛾触角; C: 柄节基部; D: 柄节。
A: Antenna of female; B: Antenna of male; C: Base of scape; D: Scape.

2.2 触角感器的形态、种类及分布类型

根据电镜扫描图片, 结合相关文献资料的分析整理与对照, 鉴定出桉小卷蛾的触角上具有 7 种感器。

2.2.1 鳞形感器 桉小卷蛾触角上的鳞形感器有 2 种类型 (SQ1 和 SQ2)。SQ1 型的鳞形感器与触角表面覆被的鳞片外形相似, 均为基部偏窄, 端部较宽; 但该类型的鳞形感器数量不多, 较窄且着生在臼状窝中, 主要分布在触角鞭节表面, 更为靠近普通鳞片处或位于普通鳞片的下部, 其长度一般在 15 μm 左右, 最宽处接近 4.0 μm (图 2A, 图 2B)。SQ2 型的鳞形感器基部较细, 着生在臼状窝内, 中间部分较宽, 表面竖条纹明显, 长度 50 μm 左右, 中部宽约 3.5 μm , 主要分布在触角柄节上, 且雌蛾数量明显多于雄蛾 (图 2C, 图 2D)。

2.2.2 毛形感器 毛形感器在桉小卷蛾触角鞭节

的腹面和侧面分布且数量占明显优势。该类感器着生位置处凹陷且呈臼窝状。毛形感器分为 2 种形态, 一种较细长, 呈 50°~ 80°角生长, 且径直前伸或匍匐于触角的表面, 排列规整; 另一种近端部呈弧形, 形态呈钩状或钝圆状 (图 3)。

桉小卷蛾成虫触角上的毛形感器也表现为 2 种类型, 分别为长直毛形感器 (ST1)、长曲毛形感器 (ST2) (图 4)。其中, 长直毛形感器与触角所呈角度小于 90°, 且感器末端不弯曲略尖, 朝向触角的末端, 其长度为 30.0~50.0 μm , 基部直径约 2.0~3.5 μm , 多见于触角鞭节的分枝顶部腹面; 另一种长曲毛形感器的长度略长于长直毛形感器, 其长度为 38.0~52.0 μm , 主要着生在触角鞭节的腹面和 2 个侧面, 感器中段弯曲呈弧状。目前的研究已证实毛形感器是鳞翅目昆虫感受性信息素的主要器官。

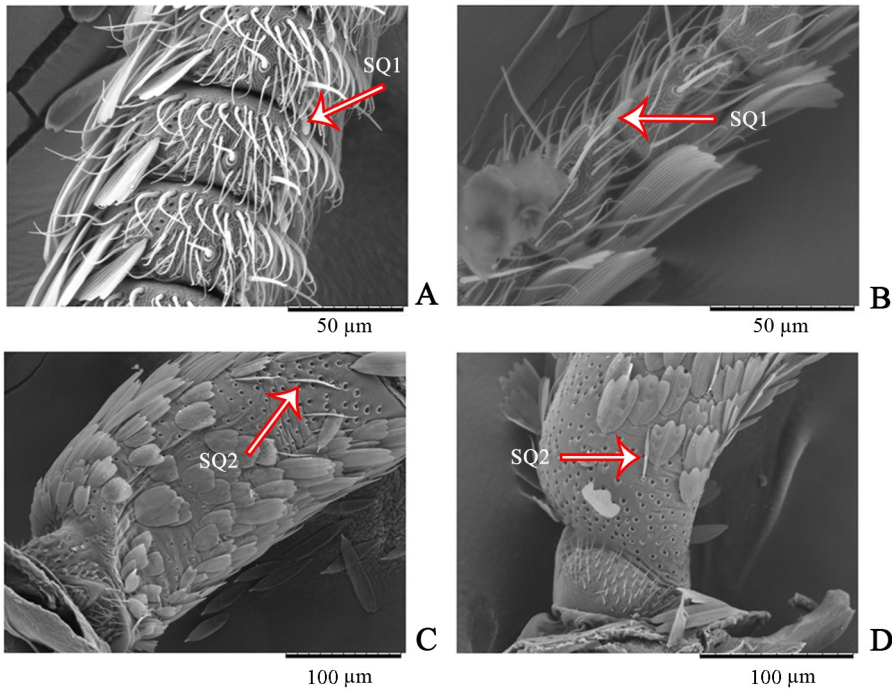


图 2 鳞形感器

Fig.2 Sensilla squamiformia (SQ)

A: 雄虫触角鞭节中部; B: 雌虫触角鞭节端部; C: 雄虫触角柄节; D: 雌虫触角柄节。

A: Middle of flagellum (male); B: End of flagellum (female); C: Scape of male antenna; D: Scape of female antenna.

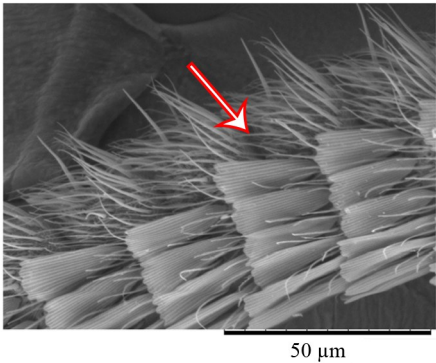


图 3 触角鞭节中部的毛形感器

Fig.3 Sensilla trichodea (ST) in the middle of flagellum

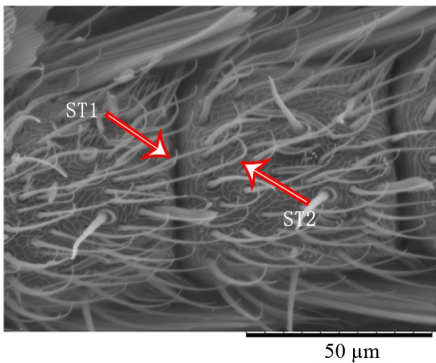


图 4 触角鞭节上的 2 种毛形感器

Fig.4 Two sensilla trichodea (ST) of flagellum

2.2.2.3 锥形感器 锥形感器主要分布在触角的腹面和主轴的表面,直立或微弯曲,几近垂直于触角表面,着生在臼状窝中,基部较粗大,顶端圆钝且有锥形的小突起,长度约 150 μm,基部直径为 2.0~3.0 μm(图 5A)。

2.2.2.4 耳形感器 桉小卷蛾的耳形感器位于触角各鞭节的背面和腹面,分布在节与节之间靠近内侧鳞片处,外形类似禾本科植物的心叶,基部表面凹陷,并从基部向前弯曲。基部陷于臼状窝内,端部较宽大呈喇叭状,整体呈牛耳状(图 5B)。一般雄桉小卷蛾的该种感器多于雌蛾,雄蛾触角上耳形感器每节 2~3 个并排生长在一起,而雌蛾触角上的耳

形感器往往单个着生。雄蛾与雌蛾的长度也有差异:雄蛾 17~20 μm,基部直径 2~3 μm;雌蛾 16~18 μm,基部直径 1~2 μm。一般认为耳形感器是鳞翅目昆虫的嗅觉器官,可以感受植物挥发出的化合物的刺激;但也有学者研究证实鳞翅目昆虫的耳形感器可以对异性产生的性信息素作出反应。

2.2.2.5 腔锥形感器 腔锥形感器是桉小卷蛾触角表皮下陷而形成的一个浅圆形空腔,中央着生有感觉锥。雌性桉小卷蛾触角上的腔锥形感器主要集中在触角鞭节的端部,并沿其分支方向呈现线性排列,外形像一朵菊花。该类感觉器直径 11.0~30.0 μm,其圆腔四周围分布着 3~9 根不等的环毛,中间

的感觉锥可见或不可见。雄蛾触角上的腔锥形感器较雌蛾的要小,且大小基本一致,直径 7.4~10.0 μm ,环毛 5~7 根,着生在触角鞭节背面顶端 3~4 个分支的上部,每个分支上有 3~4 个(图 6)。研究

表明,鳞翅目昆虫的腔锥形感器具有感受湿度、水蒸气和二氧化碳的作用,桉小卷蛾的腔锥感器是否具有类似的作用还有待于后续的研究证实。

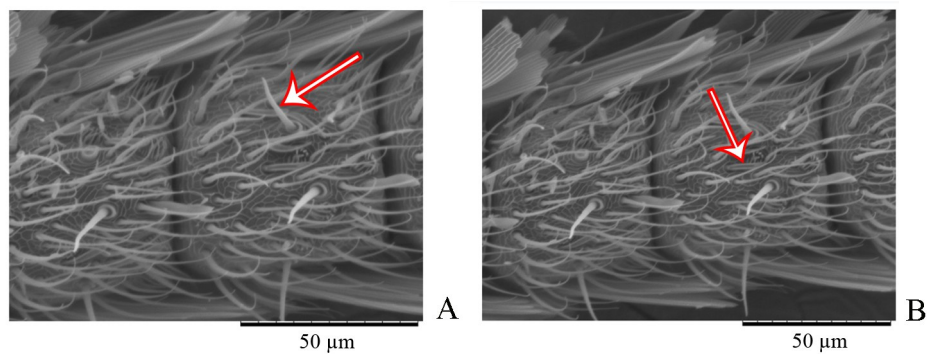


图 5 触角鞭节上的锥形感器 (A) 和耳形感器 (B)
Fig.5 Sensilla basiconica (SB) (A) and sensilla auricillica (SAu) (B) of flagellum

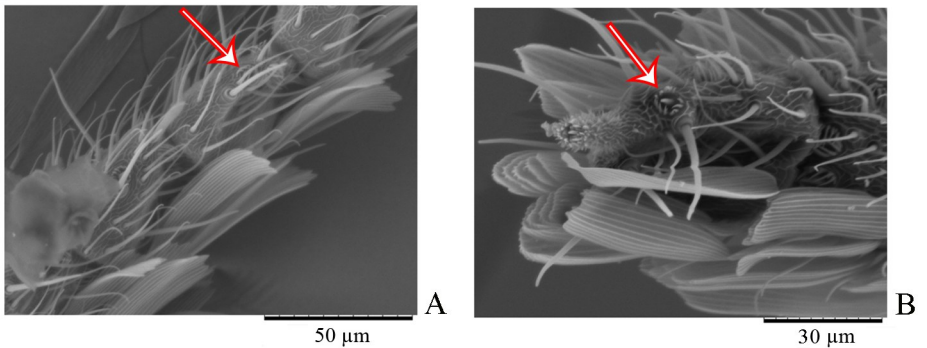


图 6 触角鞭节端部的腔锥形感器
Fig.6 Sensilla basiconica (SB) of flagellum
A:雌虫触角;B:雄虫触角。
A: Female antenna; B: Male antenna.

2.2.2.6 刺形感器 刺形感器细长如刺,刚直挺立,较毛形感器粗壮,基部直径 2.1~2.3 μm ,长度变化较大,基部有一向上隆起的臼状窝,分布于触角鞭节的腹面(图 7)。

2.2.2.7 Böhm 氏鬃毛 桉小卷蛾的 Böhm 氏鬃毛常

成簇状分布于柄节基部和梗节基部,与刺形感器相比更短更尖,表面光滑无孔,且绝大部分垂直于触角表面生长。大部分鳞翅目昆虫都具有 Böhm 氏鬃毛,经研究分析认为是本体机械感器。桉小卷蛾柄节基部有大量 Böhm 氏鬃毛(图 8)。

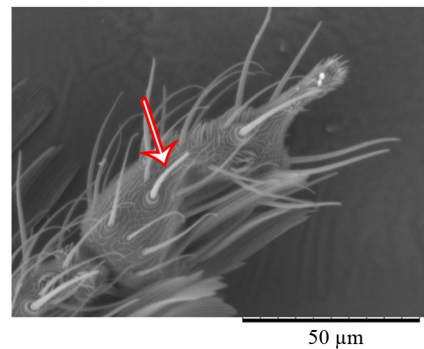


图 7 触角鞭节上的刺形感器
Fig.7 Sensilla chaetica (Sch) in the end of flagellum

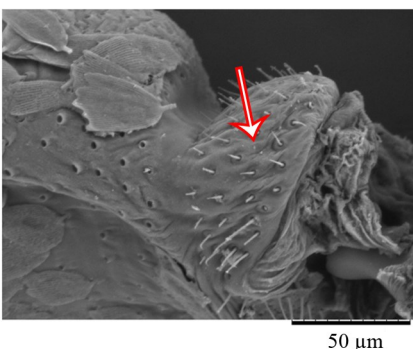


图 8 触角柄节基部的 Böhm 氏鬃毛
Fig.8 Böhm hairs at the base of scape

3 小结与讨论

鳞翅目昆虫触角感器的种类目前已报道有十多种,本研究通过超微结构扫描,观察了桉小卷蛾的触角及其感器种类、形态与分布发现触角鞭节上的感器种类和数量多于触角的梗节和柄节。实验中共观察到7种感器,大部分感器的形态、结构与其他鳞翅目蛾类昆虫相似。研究发现,桉小卷蛾触角上也存在着毛形感器及耳形感器,二者的形态大体上与柑橘褐带长卷蛾 *Adoxophyes cyrtosema* Meyrick、分月扇舟蛾 *Clostera anastomosis* (L.)等触角上的相似;腔锥形感器第1种类型与棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner)(王桂荣等,2002)、梨小食心虫 *Grapholita molesta* Busck 触角上的相似(张国辉等,2014)。另外,桉小卷蛾触角上的刺形感器和笋秀夜蛾 *Apamea apameoides* (Draudt)触角上刺形感器的分布规律一致,但形态特征又有细微差别。

在饲养桉小卷蛾过程中发现,该虫可取食桉树、番石榴和莲雾的叶片,同时都可在这3种寄主植物上产卵。而3种寄主植物均属于桃金娘科植物,桉小卷蛾选择它们作为食物和产卵的场所,可能与其触角上的感器能感受该科植物挥发出的特殊气味有关。桉小卷蛾的生长发育、产卵是否在3种寄主植物上具有差异性,及其与触角感器感知能力的关系,还需进一步研究。

本次实验通过电镜扫描对桉小卷蛾触角的形态、结构及感器种类、分布等进行观察,发现桉小卷蛾在触角各处均有不同类型的感器分布,且一些感器的数量较大,可能在感受外界刺激的过程中发挥着至关重要的作用。建议下一步可应用气相-触角电位联用技术 GC-EAD 和触角电位 EGA 等技术进一步解释触角感受器的功能。

参考文献

彩万志, 2011. 普通昆虫学. 北京: 中国农业大学出版社.
曹春雷, 张倩, 刘怡, 李奕震, 2015. 黑肾卷裙夜蛾触角感器与雌性腺超微结构观察. 山东林业科技 (1): 1-4.
邓顺, 舒金平, 董双林, 王浩杰, 2010. 笋秀夜蛾触角感器的扫描电镜观察. 林业科学, 46(12): 101-105.
陈佩珍, 顾茂彬, 郑日红, 严培吉, 1997. 桉小卷蛾发生规律与防治的研究. 林业科学研究, 10(1): 100-103.
郭振营, 王振军, 2015. 鳞翅目昆虫的触角感器. 生物学通报, 50(2): 13-15.

郝家胜, 殷先兵, 苏成勇, 黄敦元, 许丽, 2007. 12 种国产蝶类代表种类触角的扫描电镜观察及其系统学意义. 安徽师范大学学报(自然科学版), 30(3): 354-360.
胡文静, 陈文龙, 韦卫, 许晓青, 2010. 茶银尺蠖雄蛾触角的扫描电镜观察. 昆虫知识, 47(5): 938-940.
蒋振环, 吴梅香, 肖锦钰, 郭莹, 刘长明, 2014. 12 种杀虫剂对桉小卷蛾的室内毒力测定. 福建农林大学学报(自然科学版), 43(2): 128-131.
李倩, 张天涛, 白树雄, 何康来, 王勤英, 李云龙, 王振营, 2014. 桃蛀螟成虫触角超微结构观察及对玉米花丝挥发物的电生理反应. 植物保护, 40(1): 70-76.
刘友樵, 1997. 桉小卷蛾是我国一新纪录种. 森林病虫通讯 (4): 10-11.
卢川川, 1985. 桉小卷蛾的生物学和防治. 林业科学, 21(1): 97-101.
马瑞燕, 杜家纬, 2000. 昆虫的触角感器. 昆虫知识, 37(3): 179-183.
那杰, 于维熙, 李玉萍, 董鑫, 焦娇, 2008. 昆虫触角感器的种类及其生理生态学意义. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 26(2): 213-216.
庞正轰, 1992. 桉小卷蛾的危害和防治方法. 广西林业 (2): 17.
庞正轰, 2001. 中国桉树害虫现状和防治对策. 广西林业科学, 30(4): 169-178.
王桂荣, 郭予元, 吴孔明, 2002. 棉铃虫触角感器的超微结构观察. 中国农业科学, 35(12): 1479-1482.
吴梅香, 傅建伟, 占志雄, 李建宇, 张莉, 邱良妙, 刘长明, 2011. 闽南番石榴园树冠节肢动物群落的结构与动态. 热带作物学报, 32(3): 495-499.
杨慧, 严善春, 彭璐, 2008. 兴安落叶松鞘蛾触角及其感器的扫描电镜观察. 昆虫知识, 45(3): 405-417.
尹姣, 曹雅忠, 罗礼智, 胡毅, 2004. 草地螟触角化学感受器的电镜观察. 昆虫知识, 41(1): 56-59.
余海忠, 2007. 昆虫触角感受器研究进展. 安徽农业科学, 35(14): 4238-4240, 4243.
袁向群, 高可, 张国云, 杜潇, 袁锋, 2013. 曲纹稻弄蝶触角感器超微结构观察. 中国植保导刊, 33(12): 18-20.
张国辉, 宋月芹, 田晓丽, 仵均祥, 2014. 梨小食心虫触角感器的超微结构. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 42(10): 51-56, 62.
张蒙, 靳秀芳, 常明山, 温秀军, 李奕震, 2014. 柑橘长卷蛾触角感器种类与分布的形态学研究. 江苏林业科技, 41(4): 7-10, 20.
EBBINGHAUS D, LOSEL P M, LINDEMANN M, SCHERKENBECK J, ZEBITZ C P W, 1997. Detection of major and minor sex pheromone components by the male cod-

- ling moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Insect Physiology*, 44(1): 49–58.
- FAUCHEUX M J, 1992. Structure sensorielles et glandulaires particulieres de l'antenne de *Micropterix calthella* L. (Lepidoptera: Micropterigidae). *Bulletin de la Societe des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France*, 14: 114–118.
- FAUCHEUX M J, KRISTENSEN N P, YEN S H, 2006. The antennae of neopseustid moths: morphology and phylogenetic implications, with special reference to the sensilla (Insecta, Lepidoptera, Neopseustidae). *Zoologischer Anzeiger*, 245: 131–142.
- FRANK D L, KSKEY, T C, BERGH J C, 2010. Morphological characterization of antennal sensilla of the dogwood borer (Lepidoptera: Sesiidae). *Entomological Society of America*, 103(6): 993–1002.
- MAIDA R, MAMELI M, MULLER B, KRIEGER J, STEIN-BRECHT R A, 2005. The expression pattern of four odorants binding proteins in male and female silk moths, *Bombyx mori*. *Journal of Neurocytology*, 34: 149–163.
- POPHOF B, 1997. Olfactory responses recorded from sensilla coeloconica of the silkmoth *Bombyx mori*. *Physiological Entomology*, 22(3): 239–248.
- SCHNEIDER D, 1964. Insect antennae. *Annual Review of Entomology*, 9: 103–122.
- SKIRI H T, STRANDEN M, SAUDOZ J C, MENZEL R, MÜSTAPARTA H, 2005. Associative learning of plant odorants activating the same or different receptor neurons in the moth of *Heliothis virescens*. *The Journal of Experimental Biology*, 208: 787–796.
- (责任编辑:郭莹)
- (上接第 194 页)
- 刘欢, 李磊, 张方平, 韩冬银, 龚治, 牛黎明, 符悦冠, 2016b. 不同日龄南瓜实蝇蛹对蝇蛹佣小蜂寄生选择、发育及寿命的影响. *环境昆虫学报*, 38(2): 431–436.
- 欧剑峰, 黄鸿, 吴华, 刘桂清, 郑基焕, 韩诗畴, 莫伟冬, 2008. 瓜实蝇国内研究概况. *长江蔬菜* (13): 33–37.
- 曾宪儒, 覃江梅, 龙秀珍, 高旭渊, 刘吉敏, 韦德卫, 于永浩, 2019. 我国主要瓜类实蝇的生物防治研究进展. *应用昆虫学报*, 56(3): 416–425.
- 詹月平, 周敏, 贺张, 陈中正, 段毕升, 胡好远, 肖晖, 2013. 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹佣小蜂寄生策略的影响. *生态学报*, 33(11): 3318–3323.
- 赵海燕, 2013. 两种蛹寄生蜂对寄主的适应及搜索行为机制研究. 博士学位论文. 广州: 华南农业大学.
- BAUTISTA R C, HARRIS E J, VARGAS R I, JANG E B, 2004. Parasitization of melon fly (Diptera: Tephritidae) by *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) and the effect of fruit substrates on host preference by parasitoids. *Biological Control*, 30(2): 156–164.
- BRANDAO R K, CARCAMO M C, COSTA V A, RIBEIRO P B, 2011. Occurrence of *Spalangia endius* Walker, 1839 (Hymenoptera, Pteromalidae) in pupae of *Musca domestica* L. and *Stomoxys calcitrans* L. in Southern Rio Grande do Sul, Brazil. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia*, 63(1): 270–272.
- DHILLON M K, SINGH R, NARESH J S, SHARMA H C, 2005. The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: a review of its biology and management. *Journal of Insect Science*, 5: 40.
- HARRIS E J, BAUTISTA R C, VARGAS R I, JANG E B, EITAM A, LEBLANC L, 2010. Suppression of melon fly (Diptera: Tephritidae) populations with releases of *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) in North Shore Oahu, HI, USA. *Biocontrol*, 55(5): 593–599.
- MACHTINGER E T, GEDEN C J, 2015. Comparison of the olfactory preferences of four of filth fly pupal parasitoid species (Hymenoptera: Pteromalidae) for hosts in equine and bovine manure. *Environmental Entomology*, 44(5): 1417–1424.
- LI L, CHEN J Y, NIU L M, HAN D Y, ZHANG F P, FU Y G, 2020. Field evaluation of *Spalangia endius* Walker in controlling *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett). *International Journal of Pest Management*. (2020-02-13) [2020-03-13]. <https://doi.org/10.1080/09670874.2020.1725178>.
- VARGAS R I, LEBLANC L, HARRIS E J, MANOUKIS N C, 2012. Regional suppression of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the Pacific through biological control and prospects for future introductions into other areas of the world. *Insects*, 3(3): 727–742.
- (责任编辑:郑姗姗)