

钩纹皮蠹触角感器的扫描电镜观察

段云博¹, 吴海盼¹, 刘俊延¹, 董子舒¹, 李俊², 郑霞林¹, 陆温^{1*}

(1. 广西农业环境与农产品安全重点实验室培育基地, 广西大学农学院, 南宁 530004;

2. 植物科学国家级实验教学示范中心, 广西大学农学院, 南宁 530004)

摘要 本文采用扫描电镜技术对钩纹皮蠹雌、雄成虫触角的形态特征及其上感器的种类、分布和数量进行研究。结果表明, 钩纹皮蠹雌、雄成虫触角均为锤状, 共有 4 种感器类型, 即刺形感器、锥形感器、毛形感器和 Böhm 氏鬃毛, 其中, 刺形感器有 3 种亚型, 锥形感器有 2 种亚型。钩纹皮蠹雌、雄成虫触角的鞭节 7~9 节(F7~F9)上有丰富的感器, 是感知外界信息刺激最敏感的部位, 雌、雄成虫触角间感器的类型及分布位置没有明显的差异, 但各感器的数量存在性二型现象; 锥形感器为嗅觉感器, 可以辨别不同寄主的气味, 毛形感器可以感受性信息素, 在寻找配偶方面扮演重要角色。

关键词 钩纹皮蠹; 扫描电镜; 触角; 感器; 超微结构

中图分类号: S 433.5 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2017384

Observation on antennal sensilla of *Dermestes ater* De Geer with scanning electron microscope

DUAN Yunbo¹, WU Haipan¹, LIU Junyan¹, DONG Zishu¹, LI Jun², ZHENG Xialin¹, LU Wen¹

(1. Guangxi Key Laboratory of Agric-Environment and Agric-Products Safety, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Plant Science Education, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract The external morphological characteristics, types and distribution of antennal sensilla of *Dermestes ater* De Geer were observed under scanning electron microscope. The results showed that the antennae of female and male adults were hammer-shaped. Four types of sensilla including sensilla chaetica, sensilla basiconica, sensilla trichodea and Böhm bristles were found, of which sensilla chaetica included three subtypes and sensilla basiconica included two subtypes. The 7th to 9th flagella (F7–F9) are most sensitive part on antennae with rich sensory receptors responding to outside information. There were no obvious difference in the types and distribution of antennal sensilla for male or female, while significant sexual differences were observed in the numbers of each type of sensilla. Sensilla basiconica is an olfactory sensor that can identify the smell of different hosts, and sensilla trichodea is responsible for perceiving sex pheromones and plays an important role in spouse finding.

Key words *Dermestes ater*; scanning electron microscope; antenna; sensilla; ultrastructure

钩纹皮蠹 *Dermestes ater* De Geer 属于鞘翅目 Coleoptera 皮蠹科 Dermestidae, 最早发现于我国 2100 多年前的长沙马王堆一号墓, 目前我国各地均有有害报道^[1-3]。该虫在我国通常一年发生 2 代, 主要取食动物性物质, 例如鱼干及动物皮毛等产品, 亦可害蚕蛹和干茧, 降低出丝率和茧质, 同时又蛀食标本、丝绸制品和衣物等, 造成严重的经济损失^[4-5]。目前针对皮蠹科害虫的防治主要依赖化学药剂^[6-9], 例如杨桂绒等研究用溴甲烷和磷化氢混用防治花斑

皮蠹^[9]。但是, 大量频繁地使用化学农药易对环境造成污染。所以, 迫切需要寻找一种环境友好型的防治方法。近年来, 利用绿色环保的昆虫性信息素来防治害虫逐步成为研究热点^[10-12]。

明确昆虫触角上感受器的种类、分布和功能等是研究其两性交流机制的关键, 也是研究利用其性信息素开展防治工作的前提。近年来, 随着扫描电镜技术在昆虫学领域应用的飞速发展, 越来越多的学者利用这项技术对昆虫的触角感器进行了研

收稿日期: 2017-10-09

修订日期: 2017-10-29

基金项目: 国家产业技术体系广西柑橘产业创新团队项目(nyeytxgextd-05-03)

* 通信作者 E-mail: luwenlwen@163.com

究^[13]。但国内外对于皮蠹科昆虫触角感器的研究却极少,已知对白腹皮蠹 *Dermestes maculatus* De Geer^[14]、拟白腹皮蠹 *D. frischii* Kugelann^[14]、花斑皮蠹 *Trogoderma variabile* Ballion^[15]、谷斑皮蠹 *T. granarium* Everts^[15] 等的触角感器进行了研究。例如,白腹皮蠹和拟白腹皮蠹触角上有 4 种类型感器,分别为刺形感器、锥形感器、毛形感器和 Böhm 氏鬃毛^[14],为深入研究皮蠹科昆虫的触角感器提供了宝贵的资料。但目前尚不清楚钩纹皮蠹触角感器的种类和分布,以至于阻碍了研究利用性信息素防治钩纹皮蠹的进程。

鉴于此,本文利用扫描电子显微镜研究了钩纹皮蠹雌、雄成虫触角的形态、感器类型及分布,以期为进一步探索钩纹皮蠹两性交流机制和利用性信息素开展其防治工作奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

钩纹皮蠹成虫于 2016 年 5 月从广西南宁市武鸣区天景山丝绸有限公司蚕茧仓库采集,在温度(25±1)℃、相对湿度 70%±5%和光周期 L//D=14 h//10 h 条件下用玻璃培养皿(*d*=10 cm, *h*=2 cm)单头饲养,每天用洁净、无病虫害的干蚕蛹饲养待用。

1.2 试验方法

随机选取触角完整的钩纹皮蠹雌、雄成虫各 10 头,在解剖镜下用镊子和解剖刀剪取整个触角。在 2.5%戊二醛磷酸缓冲液(pH 7.4)中固定 5 h 后,将样品侵入 70%乙醇溶液中,用超声波振荡仪(JP-010T,斯凯清洁设备有限公司)振荡清洗 10 min,除去表面黏附物,重复 3 次。经上述处理后,将样品依次

放入 70%、80%、90%和 100%的乙醇溶液中逐级脱水,每个梯度脱水 30 min。将脱水后的样品自然干燥,最后将触角样品按照背面、腹面、内侧面和外侧面四个角度贴于粘有导电胶的样品台上,经离子溅射仪喷金后,置于扫描电子显微镜(SU8020,Hitachi Ltd.,Tokyo,Japan)下进行观察和拍照,电子显微镜工作电压为 10.0 kV。利用 Adobe Photoshop CS5(Adobe, San Jose, USA)软件处理图片及测量成虫触角各节的长度和直径^[16],每头虫重复测量 3 次取平均值。所有刺形感器和 Böhm 氏鬃毛均在其着生的整个小节计数,毛形感器和锥形感器均在触角第 7~9 鞭亚节(F7~F9)的相同部位(基部、中部和端部)各选取 2 500 μm² 面积内计数,每头虫重复计数 3 次取平均值。

1.3 特征描述

钩纹皮蠹触角感器的分类及命名依据 Schneider^[17]命名系统进行。

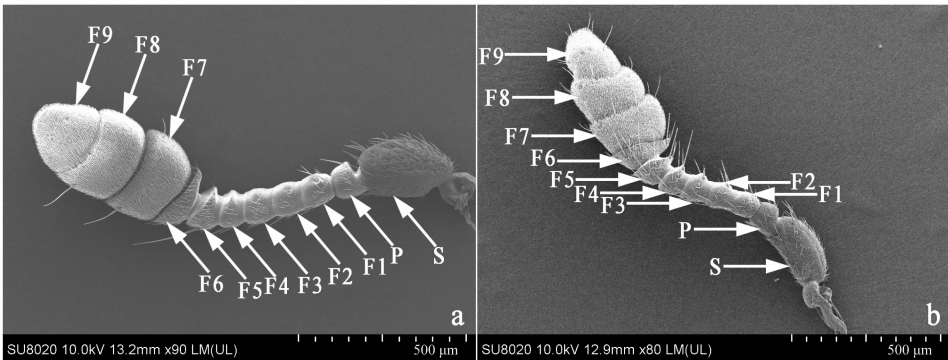
1.4 数据分析

所有数据均利用 SPSS 21.0 (IBM, Chicago, USA)软件进行数据计算与分析,采用独立样本 *t* 检验方法比较触角各节的长度、直径和感器数量在雌、雄虫间的差异,显著性水平 *P*<0.05。

2 结果与分析

2.1 触角的形态特征

钩纹皮蠹雌、雄成虫触角形态一致,为锤状,分为柄节(scape)、梗节(pedicel)和鞭节(flagellum)3 部分,共 11 节。其中柄节占触角长度的 20%,梗节较短小,与第 1~4 鞭亚节形态类似,鞭节包括 9 个鞭亚节,第 6~9 鞭亚节膨大呈锤状且长度占整个触角长度的 41%(图 1)。



a: 雌虫触角背面形态特征; b: 雄虫触角背面形态特征; S: 柄节; P: 梗节; F1~F9: 第1~第9鞭亚节
a: Morphological characteristics of the reverse side of female antennae; b: Morphological characteristics of the reverse side of male antennae; S: Scape; P: Pedicel; F1~F9: First flagellum-ninth flagellum

图 1 钩纹皮蠹雌(a)雄(b)成虫触角的形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of the antennae of female (a) and male (b) *Dermestes ater* adults

2.1.1 雌、雄虫触角各节长度比较

触角各节长度的测量结果表明(表 1),雌虫触角柄节、F1~F3 节和 F7~F9 节的长度均显著长于雄虫($P<0.05$),而雄虫触角 F4~F6 节的长度显著长于雌虫($P<0.05$)。

表 1 钩纹皮蠹雌雄成虫触角各节的长度¹⁾

Table 1 Lengths of antennal segments of female and male *Dermestes ater*

性别 Sex	柄节/ μm Scape	梗节/ μm Pedicel	鞭节/ μm Flagellum								
			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
雌虫 Female	(279.53±0.74)a	(81.44±0.65)a	(102.01±0.43)a	(89.21±0.82)a	(90.21±0.53)a	(70.43±0.45)b	(74.43±0.85)b	(65.35±0.96)b	(145.69±7.26)a	(154.41±0.89)a	(195.71±0.81)a
雄虫 Male	(248.24±4.19)b	(81.08±0.38)a	(88.11±0.53)b	(84.44±0.57)b	(85.94±0.84)b	(78.66±0.61)a	(82.02±0.61)a	(75.64±0.74)a	(118.35±1.74)b	(129.21±1.57)b	(179.24±1.03)b

1) 表中数据为平均值±标准误。同列不同字母表示经独立样本 t 检验存在显著性差异($P<0.05$)。下同。
The data in this table are mean±SE. The different letters of the same column indicate significant difference based on t -test ($P<0.05$). The same below.

表 2 钩纹皮蠹雌雄成虫触角各节的直径

Table 2 Diameters of antennal segments of female and male *Dermestes ater*

性别 Sex	柄节/ μm Scape	梗节/ μm Pedicel	鞭节/ μm Flagellum								
			F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
雌虫 Female	(173.36±1.03)a	(108.63±0.57)a	(100.07±0.46)a	(101.66±0.53)a	(108.22±0.85)a	(108.70±0.77)b	(133.01±1.15)b	(196.84±0.89)b	(267.11±1.02)a	(265.32±0.83)a	(217.06±1.02)a
雄虫 Male	(132.53±0.74)b	(99.24±0.43)b	(84.38±0.56)b	(91.50±0.68)b	(105.23±1.00)b	(113.93±0.83)a	(138.66±0.87)a	(202.91±1.51)a	(243.56±1.46)b	(235.36±1.35)b	(157.41±1.04)b

2.2 触角传感器的种类、形态和分布

钩纹皮蠹雌、雄成虫触角上共有 4 种传感器,分别为刺形传感器、锥形传感器、毛形传感器和 Böhm 氏鬃毛(图 2)。

2.2.1 刺形传感器(sensilla chaetica, SC)

钩纹皮蠹雌、雄成虫触角上的刺形传感器共有 3 种亚型,分别为刺形传感器 I 型(SC I)、刺形传感器 II 型(SC II)和刺形传感器 III 型(SC III)。SC I:长毛状,表面具纵棱,底部无基座但有臼状窝,顶部钝圆,较长,稍有弯曲,与触角表面角度大于 60°,仅见于雌、雄成虫触角 F7~F9 节,且数量极少(图 2a,e);SC II:外形如钢刺,表面具纵棱,底部有基座和臼状窝,在所有传感器中最长,一般与触角表面角度大于 30°,除 F7~F9 节外,雌、雄虫触角各节均有分布(图 2b,c);SC III:长度较短,表面具纵棱,底部有基座和臼状窝,顶部较尖,一般与触角表面角度小于 30°或几乎紧贴于触角表皮,除 F7~F9 节外,雌、雄成虫触角各节均有分布(图 2c)。

2.2.2 锥形传感器(sensilla basiconica, SB)

钩纹皮蠹雌、雄成虫触角上的锥形传感器共有

2.1.2 雌、雄虫触角各节直径比较

触角各节直径的测量结果表明(表 2),雌虫触角柄节、梗节、F1~F3 节和 F7~F9 节的直径均显著大于雄虫($P<0.05$),而雄虫 F4~F6 节的直径显著大于雌虫($P<0.05$)。

2 种亚型,分别为锥形传感器 I 型(SB I)和锥形传感器 II 型(SB II),均仅见于触角 F7~F9 节上。SB I:顶部有小尖,较短小,一般直立或稍弯曲于触角表面,多密集分布于 F7~F9 节基部(图 2d,e);SB II:外形似一颗钉子,周围一般布满毛形传感器,多见直立于触角表面,数量较少(图 2d,e)。

2.2.3 毛形传感器(sensilla trichodea, ST)

钩纹皮蠹雌、雄成虫触角上的毛形传感器仅着生于 F7~F9 节上,其底部有臼状窝但无基座,长毛状,顶端尖,几乎布满整个 F7~F9 节表面(图 2d,e)。

2.2.4 Böhm 氏鬃毛(Böhm bristles, BB)

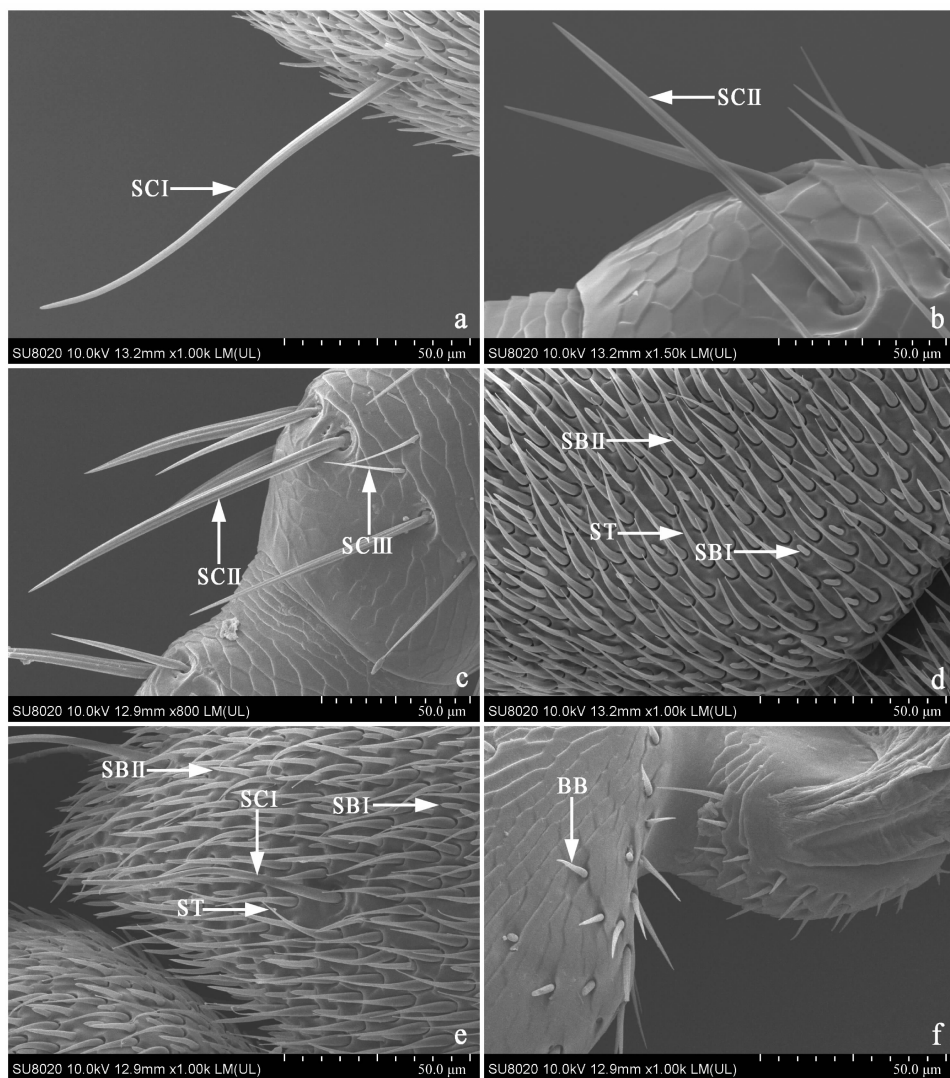
钩纹皮蠹雌、雄成虫触角上的 Böhm 氏鬃毛仅着生于柄节基部,长度较短,表面光滑,顶端较钝圆,一般垂直或倾斜于触角表皮,数量较少(图 2f)。

2.3 雌、雄虫触角各节传感器的数量比较

从表 3 结果可以看出,雄虫触角 F7~F9 节上 SC I 的数量均显著多于雌虫($P<0.05$);雌虫触角柄节上 SC II 和 SC III 的数量均显著少于雄虫($P<0.05$);雌虫触角 F7~F9 节上 SB II 的数量均显著多于雄虫($P<0.05$);雄虫触角 F7~F9 节上 SB I 的

数量虽多于雌虫,但差异不显著($P>0.05$);雌虫触角 F7~F9 节上 ST 的数量显著少于雄虫($P<$

0.05);雌虫触角柄节上 BB 的数量虽少于雄虫,但差异不显著($P>0.05$)。



a: 雌虫F8上的SC I; b: 雌虫F1上的SC II; c: 雄虫F2上的SC II和SC III; d: 雌虫F9上的SB I、SB II和ST; e: 雄虫F8上的SC I、SB I、SB II和ST; f: 雄虫柄节上的BB
a: SC I on female F8; b: SC II on female F1; c: SC II and SC III on male F2; d: SB I, SB II and ST on female F9; e: SC I, SB I, SB II and ST on male F8; f: BB on male scape

图2 钩纹皮蠹成虫触角感器的形态特征

Fig. 2 Morphological characteristics of antennal sensilla of *Dermestes ater* adults

3 讨论

本研究首次通过扫描电子显微镜对钩纹皮蠹成虫触角感器的超微结构进行观察,结果显示该虫触角共有3种刺形感器、2种锥形感器、1种毛形感器和Böhm氏鬃毛,发现与同科昆虫白腹皮蠹和拟白腹皮蠹成虫触角的感器类型一致^[14]。锥形感器在昆虫触角感器类型中较为常见,一般认为其具有嗅觉功能,在气味识别方面发挥重要作用^[18-19],例如在对红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte 的研究

中证实该感器为主要的嗅觉感器,在寄主搜寻和危险趋避等行为中起到了关键的作用^[20],又如在对接嗜木天牛 *Phoracantha semipunctata* Fabricius 的研究中,Lopes 等人利用电生理试验证明锥形感器具有识别植物气味分子的功能^[21],而在对四纹豆象 *Callosobruchus maculatus* Fabricius、绿豆象 *Callosobruchus chinensis* Linnaeus、曲纹花天牛 *Leptura arcuata* Panzer 和橡黑花天牛 *Leptura aethiops* Poda 的研究中均发现雄性个体锥形感器的数量显著高于雌性,认为该感器还具有感受性信息素的

功能^[22-24]。本研究中认为钩纹皮蠹触角上的锥形传感器具有嗅觉功能,可以识别不同的寄主气味,由于雌虫触角 F7~F9 节上 SBⅡ 的数量显著多于雄虫,故雌虫的嗅觉能力要比雄虫强,认为可能与雌虫在产卵时需要辨别不同的寄主以寻找合适的产卵场所有关。毛形传感器几乎存在于每一种昆虫的触角上,一般认为其具有感受机械刺激和化学信息素刺激的功能^[25-26],有学者在对云斑天牛 *Batocera lineolata* Chevrolat 的研究中证实该传感器具有嗅觉功能,在对寄主气味的识别方面起重要作用^[27],还有学者在对

桉嗜木天牛的研究中证实毛形传感器同时具有触觉感受的功能^[21],而在对绒毛梳爪叩甲 *Melanotus villosus* Geoffroy 的研究中发现雌雄个体间毛形传感器的数量存在性二型现象,且雄虫触角上毛形传感器的数量显著多于雌虫,认为毛形传感器具有感受性信息素的功能^[28],其后也有诸多学者证实毛形传感器是昆虫感受性信息素的主要传感器^[19, 29],本研究中雌雄虫触角 F7~F9 节上 ST 的数量存在明显的性二型现象,且雄虫触角 F7~F9 节上 ST 的数量显著多于雌虫,推测该传感器很可能与雄虫感受性信息素寻找配偶有关。

表 3 钩纹皮蠹雌雄成虫触角各节传感器的分布及数量¹⁾

Table 3 Numbers and distribution of sensilla on the antennae of female and male *Dermestes ater*

触角节 Segment of antennae	性别 Sex	感器数量/个 Number of sensilla						
		SC I	SC II	SC III	SB I	SB II	ST	BB
柄节 Scape	♀	0	(74.45±1.61)b	(76.27±1.97)b	0	0	0	(27.73±3.35)a
	♂	0	(95.18±1.84)a	(84.73±1.05)a	0	0	0	(32.55±1.06)a
梗节 Pedicel	♀	0	(9.09±0.69)a	(11.64±0.92)a	0	0	0	0
	♂	0	(7.45±0.37)a	(7.45±0.34)b	0	0	0	0
鞭节 Flagellum	F1	♀	0	(11.18±0.66)a	(7.00±0.36)b	0	0	0
		♂	0	(6.45±0.25)b	(10.55±0.41)a	0	0	0
	F2	♀	0	(7.18±0.40)a	(8.09±0.34)a	0	0	0
		♂	0	(7.45±0.31)a	(7.18±0.35)a	0	0	0
	F3	♀	0	(6.73±0.41)a	(20.27±0.65)a	0	0	0
		♂	0	(7.09±0.39)a	(7.27±0.27)b	0	0	0
	F4	♀	0	(7.27±0.30)b	(7.91±0.34)b	0	0	0
		♂	0	(10.82±0.40)a	(9.27±0.43)a	0	0	0
	F5	♀	0	(8.00±0.36)b	(41.18±0.70)a	0	0	0
		♂	0	(19.45±0.45)a	(35.91±1.28)b	0	0	0
	F6	♀	0	(10.36±0.41)b	(91.55±0.72)b	0	0	0
		♂	0	(22.00±0.65)a	(94.91±1.08)a	0	0	0
F7	♀	(6.55±0.52)b	0	0	(25.64±5.06)a	(14.55±0.73)a	(34.73±1.06)b	0
	♂	(14.09±0.34)a	0	0	(30.73±2.38)a	(4.64±0.43)b	(39.73±1.18)a	0
F8	♀	(5.10±0.38)b	0	0	(15.73±0.79)a	(19.09±1.44)a	(38.45±2.36)b	0
	♂	(10.18±0.35)a	0	0	(18.91±1.88)a	(14.45±0.91)b	(47.09±2.52)a	0
F9	♀	(3.35±0.41)b	0	0	(16.45±0.78)a	(25.18±3.37)a	(36.00±0.93)b	0
	♂	(7.55±0.25)a	0	0	(17.91±0.77)a	(14.82±0.72)b	(47.82±2.59)a	0

1) 表中数据为平均值±标准误,同种传感器雌雄后不同字母表示经独立样本 *t* 检验存在显著性差异($P<0.05$)。
The data in this table are mean±SE, The different letters of the same type of sensillum indicate significant difference based on *t*-test ($P<0.05$).

本文利用扫描电镜观察钩纹皮蠹雌、雄成虫触角的外部形态特征及其上传感器的种类、分布和数量,并根据前人的研究推测部分传感器潜在的功能,下一步需要通过单细胞记录、触角电位和透射电镜等电生理技术去验证各传感器的功能,从而为开发利用性信息素防治钩纹皮蠹奠定基础。

参考文献

[1] 朱弘复,王林瑶.长沙马王堆一号汉墓中出土的昆虫尸体[J].考古,1973(1):62-64.
[2] 黄敏,陈志麟,方晋治.进境动物干产品带虫规律初探[J].深圳特区科技,1995(3):22-23.

[3] 何美长,洪树毅,瞿俊杰.皇岗口岸进境植检截获害虫概况[J].广东农业科学,1997(2):42.
[4] 张生芳,刘永平,武增强.中国储藏物甲虫[M].北京:中国农业科技出版社,1998:126-127.
[5] 叶澄宇.皮蠹科蛀虫对蚕茧的危害及防治方法的调研报告[J].中国纤检,2007(12):45-47.
[6] 乐海洋,朱绍智,李冠雄,等.二氧化碳对硫酰氟毒杀谷斑皮蠹的增效作用[J].植物检疫,1998,12(5):2-4.
[7] 张生芳.谷斑皮蠹的世界分布及化学防治[J].植物检疫,2004,18(2):125-128.
[8] 王云果,高智辉,卜书海,等.甲酸乙酯对花斑皮蠹熏蒸防治研究[J].西北林学院学报,2008,23(6):135-137.
[9] 杨桂绒,王云果,刘亚宜,等.溴甲烷和磷化氢混用对花斑皮蠹幼

- 虫的室内毒力测定[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 115 - 117.
- [10] 黄飞, 杨婉秋, 张玉顺, 等. 桃条麦蛾性信息素 5E-癸烯-1-醇及乙酸 5E-癸烯酯的简便合成[J]. 有机化学, 2017, 37(4): 1046 - 1050.
- [11] 陆爽, 朱敏敏, 武雯, 等. 性信息素迷向法防控桃树梨小食心虫效果研究[J]. 中国植保导刊, 2017, 37(1): 33 - 35.
- [12] 宋亚茹, 张蕾, 程云霞, 等. 粘虫雌蛾性信息素特征成分鉴定及其不同配比的室内引诱效果[J]. 植物保护学报, 2017, 44(3): 393 - 399.
- [13] 孙虹霞, 胡新军, 舒迎花, 等. 白背飞虱触角感器的扫描电镜观察[J]. 昆虫学报, 2006, 49(2): 349 - 354.
- [14] 闻鸣, 曲叶宽, 赵文琦, 等. 2 种鞘翅目仓储害虫触角的显微结构研究[J]. 安徽农学通报, 2015, 21(12): 36 - 38.
- [15] WEI Chunyan, REN Bingzhong, CHEN Xin, et al. Scanning electron microscope observations on the antennal sensilla of two stored grain pests *Trogoderma granarium* and *Trogoderma variabile* (Coleoptera: Dermestidae) [J]. Florida Entomologist, 2015, 98(1): 140 - 148.
- [16] 廖任娅, 张金平, 唐睿, 等. 铃木氏果蝇触角和下颚须感器的超微形态特征及分布[J]. 植物保护, 2017, 43(1): 68 - 75.
- [17] SCHNEIDER D. Insect antennae [J]. Annual Review of Entomology, 1964, 9(1): 103 - 122.
- [18] 张聪, 王振营, 何康来, 等. 双斑长跗萤叶甲触角感器的扫描电镜观察[J]. 应用昆虫学报, 2012, 49(3): 756 - 761.
- [19] 唐培安, 吴海晶, 孔德英, 等. 杂拟谷盗触角感器的扫描电镜观察[J]. 植物保护, 2016, 42(1): 99 - 105.
- [20] 王涛. 红脂大小蠹成虫触角感器的扫描电镜观察[J]. 植物保护, 2017, 43(2): 112 - 116.
- [21] LOPES O, BARATA E N, MUSTAPARTA H, et al. Fine structure of antennal sensilla basiconica and their detection of plant volatiles in the eucalyptus woodborer, *Phoracantha semipunctata* Fabricius (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. Arthropod Structure and Development, 2002, 31(1): 1 - 13.
- [22] HU Fei, ZHANG Guona, WANG Jinjun. Scanning electron microscopy studies of antennal sensilla of bruchid beetles, *Callosobruchus chinensis* Linnaeus and *Callosobruchus maculatus* Fabricius (Coleoptera: Bruchidae) [J]. Micron, 2009, 40(3): 320 - 326.
- [23] ZHANG Jian, GUAN Lin, REN Bingzhong. Fine structure and distribution of antennal sensilla of longicorn beetles *Leptura arcuata* Panzer and *Leptura aethiops* Poda (Coleoptera: Cerambycidae) [J]. Annals of the Entomological Society of America, 2011, 104(4): 778 - 787.
- [24] 张晓军, 孙伟, 张健, 等. 鞘翅目昆虫触角感器研究进展[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(7): 2932 - 2935.
- [25] HALLBERG E. Sensory organs in *Ips typographus* (Insecta: Coleoptera)-fine structure of antennal sensilla [J]. Protoplasma, 1982, 111(3): 206 - 214.
- [26] JOURDAN H, BARBIER R, BERNARD J, et al. Antennal sensilla and sexual dimorphism of the adult ladybird beetle *Semiadalia undecimnotata* Schn. (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology, 1995, 24(3): 307 - 322.
- [27] 诸葛飘飘, 罗森林, 王满国, 等. 云斑天牛头部附器感器的扫描电镜观察[J]. 林业科学, 2010, 46(5): 116 - 121, 185 - 186.
- [28] MERIVÉE E, RAHI M, LUIK A. Antennal sensilla of the click beetle, *Melanotus villosus* Geoffroy (Coleoptera: Elateridae) [J]. International Journal of Insect Morphology and Embryology, 1999, 28(1/2): 41 - 51.
- [29] ZHANG Lu, REN Lili, LUO Youqing, et al. Scanning electron microscopy analysis of the cephalic sensilla of *Chrysolina aeruginosa* Fald (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. Microscopy Research and Technique, 2013, 76(4): 423 - 431.

(责任编辑: 田 喆)