

樟巢螟成虫触角传感器的扫描电镜观察^{*}

王 焱¹ 穆兰芳² 曾凡荣³ 董双林^{1**}

(1. 南京农业大学植保学院昆虫系/农业部病虫害监测与防治重点开放实验室 南京 210095;

2. 江苏省吴江市植保植检站 吴江 210036;

3. 中国农业科学院植物保护研究所农业部生物防治重点开放实验室 北京 100081)

摘 要 利用扫描电镜观察了樟巢螟 *Orthaga achatina* Butler 成虫触角的外部形态、感器类型及其分布。樟巢螟成虫触角由柄节、梗节和分为 75~85 个亚节的鞭节组成;触角背面被覆鳞片,绝大部分感器位于触角的腹面和侧面。樟巢螟成虫触角上都分布有以下 8 种感器:毛形感器、刺形感器、腔锥形感器、耳形感器、鳞形感器、栓锥形感器、Böhm 氏鬃毛和腔乳头状感器,其中以毛形感器的数目最多,并可分为 I 型和 II 型。除 Böhm 氏鬃毛外,所有的感器都分布在触角鞭节的网纹区上。感器的类型及其分布位置无性别差异。

关键词 樟巢螟,触角,感器,扫描电镜

Ultrastructure of antennal sensilla of adult *Orthaga achatina* with a scanning electromicroscope

WANG Yan¹ MU Lan-Fang² ZENG Fan-Rong³ DONG Shuang-Lin^{1**}

(1. Department of Entomology, Nanjing Agricultural University / Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China;

2. Wujiang Station of Plant Protection and Inspection, Wujiang 210036, China;

3. Key Laboratory for Biological Control of Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract The morphological structure of the antennae in adult *Orthaga achatina* Butler were observed with a scanning electron microscope. The antennae of both male and female moths consisted of scape, pedicel and flagellar segments, the flagellar segment containing 75–85 subsegments. The dorsal side of the antennae is covered by dense scales, while the ventral and lateral sides possess the most sensilla. The surface of the flagellar segment is characterized by reticular cuticle, but the scape and pedicel segments lack this characteristic. There are 8 types of sensilla found on the antennae of males and females; sensilla trichodea, sensilla chaetica, sensilla coelocnica, sensilla auricillica, sensilla squamiformia, sensilla styloconica, Böhm bristles and sensilla cavitata-peg. Of these, the sensilla trichodea are the most abundant and can be morphologically subdivided into two distinct types (Type I and Type II). All sensilla, with the exception Böhm bristles, occur on the reticular area of the flagellar segment. There is no difference in sensilla types and their distribution between male and female.

Key words *Orthaga achatina*, antenna, sensilla, scanning electromicroscope (SEM)

昆虫在长期进化过程中形成了独特的环境适应能力,表现在择食、取食、觅偶、交配、繁殖、栖息、防御、迁移等各个方面。这些适应性均依赖于昆虫高度发达的感觉系统,特别是针对化学信号的化学感受系统。昆虫触角无疑是最主要的感觉

器官,其上分布有数量众多、形态和功能各异的感器,并随昆虫种类的不同而存在差异。研究触角感器的结构、类型和分布,可为进一步研究昆虫的感受机制,并为开发基于昆虫感受的行为调控技术提供基础。

^{*} 资助项目:农业部生物防治重点开放实验室基金(KLBC-09-03)。

^{**}通讯作者, E-mail: sldong@njau.edu.cn

收稿日期:2010-04-14,接受日期:2010-09-21

Hauser(1880)最早描述了直翅目、脉翅目、半翅目、双翅目、鳞翅目和膜翅目昆虫触角的解剖结构,此后国内外科学家先后对很多种昆虫触角上感器的超微结构进行了研究(尹文英和酆一平,1980;赵博光等,1986;任自立等,1987;杜芝兰,1989;李朝达等,1994;张善干等,1995;Saïd *et al.*, 2003;尹姣等,2004;陆宴辉等,2007;杨立军和李新岗,2007;邵淑霞等,2008;王霞等,2008;温衍生和赵冬香,2008;杨慧等,2008)。

香樟是我国城镇园林景观和道路绿化的重要树种,樟巢螟 *Orthaga achatina* Butler 则是危害香樟树的重要害虫之一(滕金洪等,2006;王穿才和蒋德强,2008;邱娉娉等,2009)。鉴于景观树种上害虫防治的特殊性,探索和开发绿色高效的樟巢螟防治技术尤为重要。本文利用扫描电镜技术,首次对樟巢螟触角上感器的种类和分布进行了观察,以期为樟巢螟化学生态学及行为调控技术的研究提供资料。

1 材料与方法

1.1 试虫来源及饲养

2007年7月下旬从苏州吴江市香樟树上采集樟巢螟幼虫,带回养虫室继代饲养。养虫室光周期 L:D = 14:10,温度为 $(27 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $60\% \pm 10\%$ 。幼虫群养于养虫盒(长 29 cm × 宽 20 cm × 高 16 cm)中,每天下午将虫巢表面的枯枝叶取出后补充新鲜樟树叶,直至化蛹。幼虫化蛹后及时雌雄分开,放入羽化笼(长 26 cm × 宽 24 cm × 高 34 cm),置于暗室中。每天光期开始 1 h 后检查羽化情况,将未羽化的蛹移入新的笼子。成虫喂以 10% 的蔗糖水,待用。

1.2 触角准备及观察

取 2 日龄的雌、雄蛾,用刀片将头部切下后,在超声波清洗仪(KH2200B 型,昆山禾创超声仪器有限公司)里清洗 30 s,除去灰尘等杂物;随后将整个头部浸泡于 5% 的戊二醛溶液中固定备用。观察前用酒精对触角进行梯度脱水(70%、80%、90% 各脱水 1 次,100% 脱水 2 次,每次 5 min),干燥后将触角固定在样品台上。样品喷金后,置于 LEO1530VP 扫描电子显微镜下观察并拍照,加速电压为 15 kV 或 20 kV,样品放大 350 ~ 15 000 倍。

1.3 感器的命名

各种感器的命名采用 Schneider (1964) 和 Jefferson 等(1971)的命名法。

2 结果与分析

2.1 成虫触角及感器的一般特征

樟巢螟的雌雄蛾触角呈线状,由柄节、梗节和鞭节组成,鞭节又由 75 ~ 85 个亚节组成,整个触角长度在 8 ~ 10 mm,雌雄间差异不大。柄节较粗,梗节较长,两节均覆盖有鳞片。鞭节最长,其每一亚节的背面覆盖有 2 排鳞片,后排鳞片的前缘盖住前排鳞片的基部,每排鳞片有 6 ~ 7 个;大多数感器着生在触角的腹面和侧面。雌雄触角上均着生有 8 种感器,且分布位置在雌雄间相同。8 种感器中,除 Böhm 氏鬃毛分布于梗节和柄节外,其他感器均分布在鞭节上。鞭节的表皮呈连续隆起的网纹状结构,所有感器都分布在网纹区内;有些网纹内着生有微小的突起(图 1:1)。

2.2 触角上各类感器的形态及分布

2.2.1 毛形感器(sensilla trichodea, TS) 毛形感器是樟巢螟雌、雄蛾触角上数量最多的一类感器,全部分布在鞭节的腹面和侧面。其特点是:刚毛状,较细,顶端尖细,基部无臼状窝(又称表皮领, cuticular collar)。根据其长度和形状,又可分为 I 型(TS I)和 II 型(TS II)(图 1:2)。

I 型毛形感器较粗长,长度为 $87.25 \pm 5.12 \mu\text{m}$ (平均值 $\pm SD$, $N = 8$),基部直径为 $(2.78 \pm 0.27) \mu\text{m}$ ($N = 8$),基部不弯曲,近端部稍弯曲,整个感器向触角端部呈 $50 \sim 80^\circ$ 倾斜。II 型毛形感器较 I 型毛形感器细短,且在每亚节上的数量也少于 I 型;长度为 $(30.75 \pm 5.28) \mu\text{m}$ ($N = 8$),基部直径为 $(1.56 \pm 0.20) \mu\text{m}$ ($N = 8$),基部弯曲,几乎匍匐于触角表面,端部不弯曲。

2.2.2 刺形感器(sensilla chaetica, CH) 刺形感器形如刺状,基部直径为 $(2.90 \pm 0.58) \mu\text{m}$ ($N = 6$),长度为 $(33.25 \pm 12.39) \mu\text{m}$ ($N = 6$)。顶端钝圆且基部有特化的臼状窝,是与毛形感器最重要的区别。臼状窝直径为 $(4.88 \pm 1.17) \mu\text{m}$ ($N = 6$)(图 1:3)。

2.2.3 腔锥形感器(sensilla coelocnica, CO)

腔锥形感器由表皮凹陷和其中着生的感觉锥组成。根据感觉锥外围有无缘毛(fringe pegs),腔锥形感器又可分为具缘毛腔锥形感器和无缘毛腔锥形感器。在樟巢螟成虫触角上,腔锥形感器均为

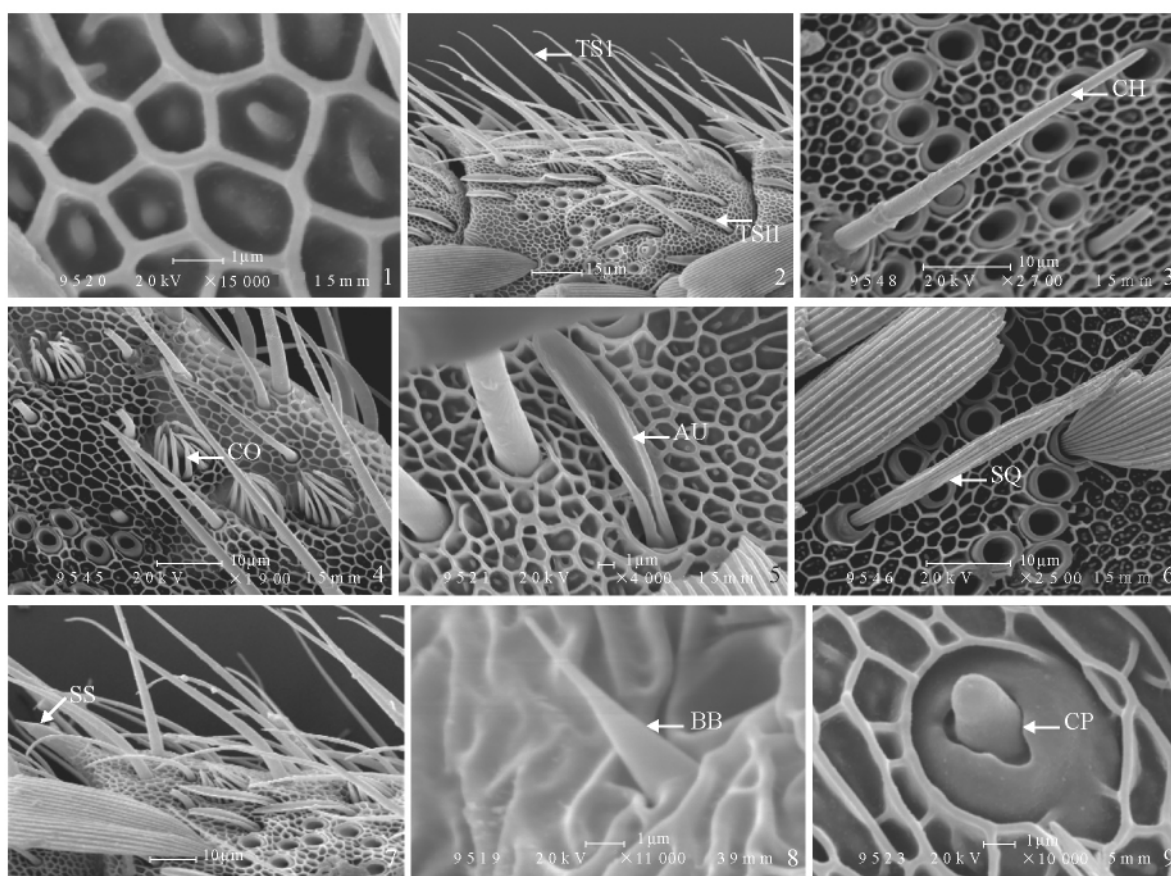


图 1 樟巢螟成虫触角上的各类感器

Fig.1 Sensilla types in antennae of adult *Orthaga achatina*

1. 鞭节表面的网纹状结构;2. I型(TSI)和II型(TSII)毛形感器;3. 刺形感器(CH);4. 腔锥形感器(CO);5. 耳形感器(AU);6. 鳞形感器(SQ);7. 栓锥形感器(SS);8. Böhm氏鬃毛(BB);9. 腔乳头状感器(CP)。

1. The reticular surface of the flagellar segment; 2. Type I and type II sensilla trichodea (TSI and TSII); 3. Sensilla chaetica (CH); 4. Sensilla coelocnical (CO); 5. Sensilla auricillica, (AU); 6. Sensilla squamiformia (SQ); 7. Sensilla styloconica (SS); 8. Böhm bristles (BB); 9. Sensilla cavitata-peg (CP).

具缘毛的一类,感觉锥的外围由14~20个花瓣状的缘毛围成,缘毛呈弓形向中心弯曲,形如菊花;中间浅圆腔的直径为 $(10.80 \pm 1.43) \mu\text{m}$ ($N=8$);浅圆腔的中心着生有一根直立的感受锥,感受锥较长时略弯曲,但一般不突出到凹陷外。腔锥形感器在鞭节各亚节上的数量变动在3~8个,端部亚节上的数量略少于中部和基部;其在鞭节各亚节上的分布位置不太固定(图1:4)。

2.2.4 耳形感器(sensilla auricillica, AU) 耳形感器呈禾本科植物心叶状,基部表面凹陷,无臼状窝;整个感器向触角端部方向弯曲,与触角表面近于平行,长度为 $(21.50 \pm 4.44) \mu\text{m}$ ($N=8$)。其分布位置相对固定,主要在鞭节腹面两侧。数量以

基部亚节较多而端部亚节较少,变动在每亚节2~14个之间,最端部亚节(端节)没有分布(图1:5)。

2.2.5 鳞形感器(sensilla squamiformia, SQ)

鳞形感器的表面结构和鳞片相似,但远比鳞片狭窄,端部尖细,基部有柄,着生于臼状窝内,臼状窝直径为 $(3.46 \pm 0.37) \mu\text{m}$ ($N=8$)。鳞形感器长 $(54.12 \pm 4.26) \mu\text{m}$ ($N=8$)、宽 $(3.14 \pm 0.37) \mu\text{m}$ ($N=8$)。鳞形感器主要分布于触角鞭节的侧面和背面,数目相对较少,每亚节有2~4个,端节上没有分布(图1:6)。

2.2.6 栓锥形感器(sensilla styloconica, SS)

栓锥形感器呈拇指状,从触角表皮隆起,较为粗大,表面具有网纹,端部有一锥状突起,着生于凹陷

内。其基部直径(6.78 ± 1.03) μm ($N = 8$), 长度(19.62 ± 1.41) μm ($N = 8$)。栓锥形感器分布部位固定, 在鞭节各亚节腹面的端部, 且每亚节只有1个, 雌雄间相同(图1:7)。

2.2.7 Böhm 氏鬃毛 (Böhm bristles, BB)

Böhm 氏鬃毛着生于柄节和梗节, 鞭节上无此感器。它比刺形感器短而尖, 形似短刺, 不具基窝, 垂直于触角表面, 光滑。感器基部直径1.5 μm 左右, 长度为6.0 μm 左右(图1:8)。

2.2.8 腔乳头状感器 (sensilla cavitata-peg, CP)

由感器腔及其中的一个乳头状突起构成。腔的直径(5.60 ± 0.83) μm ($N = 6$), 其中的乳头状突起的端部钝圆, 略高于或接近于腔的上周, 突起的基部直径为(2.08 ± 0.08) μm ($N = 6$), 长度为(4.33 ± 0.69) μm ($N = 6$)。腔乳头状感器分布在触角侧面, 略靠腹面, 数量很少, 有些亚节不具有此感器(图1:9)。

3 讨论

就螟蛾而言, 近年已报道了亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* Guenee (任自立等, 1987)、豇豆荚螟 *Maruca testulalis* Geyer (温衍生和赵冬香, 2008)、松果梢斑螟 *Dioryctria pryeri* Ragonot (杨立军和李新岗, 2007)、草地螟 *Loxostege sticticalis* (尹姣等, 2004)、井上蛀果斑螟 *Assara inouei* Yamanaka

(邵淑霞等, 2008)和豆野螟(王霞等, 2008)等昆虫的触角感器。本研究对重要景观树种害虫樟巢螟的成虫触角进行了扫描电镜观察, 明确了其感器种类和分布特点, 为进一步探讨樟巢螟的化学通讯机制及基于化学感受的行为控制技术提供了基础。

樟巢螟雌雄蛾触角上都分布有毛形感器、刺形感器、腔锥形感器、耳形感器、鳞形感器、栓锥形感器、Böhm 氏鬃毛和腔乳头状感器8种感器, 且各类感器的分布位置在雌雄间没有差异, 但各类感器的数量在雌雄间是否差异有待进一步观察。与已报道的螟蛾科其他几种昆虫相比(表1), 感器种类有所不同。毛形感器、刺形感器、腔锥形感器、耳形感器存在于所有7种昆虫中, 说明这几种感器行使基本的感觉功能, 不可或缺; 其他几种感器则只存在于部分昆虫中, 如腔乳头状感器只在樟巢螟和井上蛀果螟中存在, 则可能与其特殊的感受需求有关。在科以下分类阶元, 感器种类和昆虫亲缘关系以及生活环境间的关系, 是一个值得深入探讨的问题, 需要对更多的昆虫进行研究和比较。此外, 樟巢螟触角鞭节的一些网纹结构内发现有很小的突起, 类似于不发达的无缘毛腔锥形感器(图1:1), 其是否具有感器功能, 有待进一步研究。

表 1 几种螟蛾科昆虫触角感器种类的比较
Table 1 Comparison of sensilla types in some reported pyralidae species

	樟巢螟 <i>Orthaga achatina</i>	亚洲玉米螟 <i>Ostrinia furnacalis</i>	豇豆荚螟 <i>Maruca testulalis</i>	松果梢斑螟 <i>Dioryctria pryeri</i>	草地螟 <i>Loxostege sticticalis</i>	井上蛀果螟 <i>Assara inouei</i>	豆野螟 <i>Maruca testulalis</i>
毛形感器 Sensilla trichodea	+	+	+	+	+	+	+
刺形感器 Sensilla chaetica	+	+	+	+	+	+	+
腔锥形感器 Sensilla coeloclnica	+	+	+	+	+	+	+
耳形感器 Sensilla auricillica	+	+	+	+	+	+	+
鳞形感器 Sensilla squamiformia	+	+	-	+	-	+	-
栓锥形感器 Sensilla styloconica	+	+	+	-	-	-	+
Böhm 氏鬃毛 Böhm bristles	+	+	+	+	+	+	-
腔乳头状感器 Sensilla cavitata-peg	+	-	-	-	-	+	-
柱形感器 Sensilla cylindric	-	-	+	-	-	-	+(♂)
钟形感器 Sensillum campaniformium	-	-	-	+	-	-	-

注: “+”表示存在, “-”表示不存在。 “+”indicates existence of the sensilla and “-”no.

就各类感器的功能而言, 目前对毛形感器的研究比较详细。毛形感器根据形状和长度一般分

为 I 型和 II 型。Schneider(1974) 证明劲直挺立、顶端弯曲的 I 型感器(长毛型感器)是性信息素感受器。蛾类昆虫的刺形感器一般是机械和味觉感器,在对异性、寄主植物和栖息场所的选择等方面起作用(杜芝兰,1989; Saïd *et al.* 2003)。腔锥形感器可分为具缘毛和无缘毛 2 种类型,具有感受水蒸气、二氧化碳、湿度变化、植物气味等作用(Bruce and Cork,2001; Park and Hardie,2002)。Böhm 氏鬃毛很常见,但只分布于触角柄节和梗节上,在鞭节无分布, Schneider(1964) 认为该感器是一种重力感受器,可用于控制触角的方向和升降速度。对其他几类感器功能的研究则较少。鉴于不同感器的功能,迄今为止只在少数虫种中得以证实,并且基于外部形态划分的感器类型和功能间并非总是一致,对于樟巢螟触角上各类感器的功能,还需要进一步采用单细胞记录等技术给予明确。

参考文献 (References)

- Bruce TJ, Cork A, 2001. Electrophysiological and behavioral responses of female *Helicoverpa armigera* to compounds identified in flowers of African marigold *Tagetes erecta*. *J. Chem. Ecol.*, 27:1119—1131.
- 杜芝兰, 1989. 中华蜜蜂工蜂触角感受器的扫描电镜观察. *昆虫学报*, 32(2):166—169.
- Hauser G, 1880. Physiologische und histiologische Untersuchungen über das Geruchsorgan der Insekten. *Z. Wiss. Zool.*, 34:367—403.
- Jefferson RN, Rubin RE, McFarland SU, Shorey HH, 1970. Sex pheromones of noctuid moths—XXII. The external morphology of the antennae of *Trichoplusia ni*, *Heliothis zea*, *Prodenia ornithogalli* and *Spodoptera exigua*. *Ann. Ent. Amer.*, 63(5):1227—1238.
- 李朝达, 杨大荣, 杨跃雄, 舒畅, 1994. 虫草蝠蛾触角感觉器的扫描电镜观察. *昆虫学报*, 37(1):59—62.
- 陆宴辉, 全亚娟, 吴孔明, 2007. 绿盲蝽触角传感器的扫描电镜观察. *昆虫学报*, 50(8):863—867.
- Park KC, Hardie J, 2002. Functional specialization and polyphenism in aphid olfactory sensilla. *J. Insect Physiol.*, 48(5):527—535.
- 邱娉娉, 包建英, 江华, 2009. 海门市樟巢螟的发生规律及防治措施. *上海农业科技*, (6):121 转 131.
- 任自立, 张清澈, 郭淑华, 1987. 亚洲玉米螟成虫触角的扫描电镜观察. *昆虫学报*, 30(1):26—30.
- Saïd I, Tauban D, Renou M, Mori K, Rochat D, 2003. Structure and function of the antennal sensilla of the palm weevil *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera, Curculionidae). *J. Physiol.*, 49:857—872.
- Schneider D, 1964. Insect antennae. *Annu. Rev. Entomol.*, 9:103—122.
- Schneider D, 1974. The sex attractant receptor of moths. *Scientific Amer.*, 231(1):28—35.
- 邵淑霞, 姜波, 蒲卫琼, 桂富荣, 李正跃, 2008. 井上蛀果斑螟触角传感器的扫描电镜观察. *昆虫知识*, 45(6):932—936.
- 滕金洪, 刘于成, 沈利明, 朱福官, 钱斌彬, 蒋维华, 2006. 樟巢螟发生原因与防治技术研究. *上海农业科技*, (1):97.
- 王穿才, 蒋德强, 2008. 樟巢螟生物学习性及发生规律. *植物保护*, 34(6):112—115.
- 王霞, 徐静, 刘凤英, 陈海滨, 吴降星, 杜永均, 2008. 豆野螟触角传感器的电镜超微结构及嗅觉功能. *昆虫学报*, 51(12):1225—1234.
- 温衍生, 赵冬香, 2008. 豇豆荚螟触角扫描电镜观察. *热带作物学报*, 29(4):525—529.
- 杨慧, 严善春, 彭璐, 2008. 兴安落叶松梢蛾触角及其传感器的扫描电镜观察. *昆虫知识*, 45(3):405—417.
- 杨立军, 李新岗, 2007. 松果梢斑螟触角感受器的扫描电镜观察. *西北林学院学报*, 22(3):127—130.
- 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.
- 尹文英, 酆一平, 1980. 棉红铃虫触角传感器的扫描电镜观察. *昆虫学报*, 23(2):123—129.
- 张善干, 马淑芳, 付宏兰, 陈德明, 1995. 马尾松毛虫雄蛾触角毛状感受器的细微结构. *昆虫学报*, 38(1):8—12.
- 赵博光, 黄金生, 张飞龙, 1986. 大袋蛾雄蛾触角的细微结构. *昆虫学报*, 29(3):327—331.