

大豆食心虫触角传感器的扫描电镜观察^{*}

杨 啸¹ 赵奎军^{1**} 王克勤^{2**} 韩岚岚¹ 杨 帅¹

(1. 东北农业大学农学院 哈尔滨 150030; 2. 黑龙江省农业科学院植物保护研究所 哈尔滨 150086)

摘 要 利用扫描电镜观察了大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* Matsumura 成虫的触角传感器的形态和分布。结果表明,大豆食心虫成虫触角呈线型,传感器包括毛型传感器、耳型传感器、刺型传感器、腔锥型传感器、栓锥形传感器、鳞型传感器和 Böhm 氏鬃毛,共 7 种。雌雄个体之间触角传感器的分布特点基本相同,但是种类、数量有差异,存在性二型现象。

关键词 大豆食心虫, 触角, 传感器, 扫描电镜

Observation on antennal sensilla of *Leguminivora glycinivorella* with scanning electron microscope

YANG Xiao¹ ZHAO Kui-Jun^{1**} WANG Ke-Qin^{2**} HAN Lan-Lan¹ YANG Shuai¹

(1. Northeast Agricultural University, College of Agricultural Sciences, Haerbin 150030, China;

2. Institute of Plant Protection, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Haerbin 150086, China)

Abstract The appearance and distribution of sensilla on the antenna of *Leguminivora glycinivorella* Matsumura were observed with a scanning electron microscope. The results show that the antenna of *L. glycinivorella* adults were filiform, and were of seven types; sensilla trichodea, sensilla chaetica, sensilla squamiformia, sensilla styloconica, sensilla coeloconica, sensilla auricillica and Böhm bristles. Though the distribution of sensilla in both genders was the same, the types and numbers of sensilla differed in males and females.

Key words *Leguminivora glycinivorella*, antenna, sensilla, scanning electron microscopy

随着分子生物学的崛起,利用昆虫自身的生理生化微观特性探索其宏观行为的研究,已成为很多害虫生物防治的主要方向,其中触角传感器的研究备受重视,而且已取得显著进展(马瑞燕和杜家纬,2000)。昆虫的触角是接受外来信号的主要器官。昆虫对化学信号识别依赖触角上的嗅觉感受器,这些传感器具有特异感受不同气味的功能。

大豆食心虫 *Leguminivora glycinivorella* Matsumura 又名小红虫,属鳞翅目(Lepidoptera),小卷蛾科(Olethreutidae)。是大豆田主要害虫之一,主要以幼虫蛀食豆粒,影响大豆品质,造成大豆减产。成虫高峰期施用杀虫剂为目前主要的防治方法。化学防治带来的环境污染不言而喻,我国正处在转变农业发展方式时期,迫切需要改变传统的农药使用方式,逐步实施安全的控害技术。

化学信号是昆虫种群之间及与其他生物之间最普遍的联系,信息化学物质直接影响着昆虫觅食、交配、聚集、产卵等诸多行为。目前利用人工合成性诱剂对大豆食心虫的预测预报和防治效率有很大的提升。大豆食心虫的触角传感器作为信息接收器官在性诱剂应用中起到了重要作用。国内外已对鳞翅目蛾类昆虫的触角传感器进行了广泛研究,但大豆食心虫的触角传感器未见报道。本研究利用扫描电镜对大豆食心虫触角传感器超显微结构进行观察研究,了解其传感器类型和分布,并依据雌雄触角传感器的差异推测其生理功能,为今后利用新的信息化学物质防治大豆食心虫提供参考。

1 材料与方法

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201103002)、现代农业产业技术体系建设专项资金资助。

**通讯作者, E-mail: kjzhao@neau.edu.cn; wang.keqin@163.com

收稿日期:2011-03-13, 接受日期:2011-05-12

1.1 供试昆虫

大豆食心虫成虫采自黑龙江省农科院试验基地大豆田,在成虫刚刚出土活动时期用试管人工采集。

1.2 样品的制备与观察

将完整取下的触角样品分别侵入清水、25%酒精、50%酒精、75%酒精中,超声波清洗 30 s,室内自然干燥。雌雄触角各 3 根,重复 3 次。触角观察面用导电双面胶背向粘在样品台上,采用离子溅射器喷金。应用 QUANTA200 (美国 FEI 公司)扫描电镜在 10 ~ 15 kV 加速电压下观察和摄影,样品放大 100 ~ 30 000 倍。

1.3 图像处理及命名方法

用 PhotoshopCS3 处理图片,用 Motic Images Advanced 3.2 测量感器大小。触角感器类型的鉴定参照 Schneider (1964)。

2 结果与分析

2.1 触角的基本形态

大豆食心虫雌、雄蛾触角均为线状,浅灰色,分为柄节(scape)、梗节(pedicel)、鞭节(flagellum)3 部分,其中柄节较长,长约 210 μm ,基部着生于触角窝内。梗节较柄节短小,长度仅为柄节的一半,约 112 μm 。鞭节长 2 500 ~ 2 900 μm ,由 42 ~ 45 个亚节组成,两性间无显著区别。触角总长度约为 2.8 ~ 3.1 mm (图 1:A)。触角鞭节的表皮上有连续隆起的网纹,触角的迎风面为感器密集区,背风面包被鳞片,鳞片排列整齐,层层相叠,后排鳞片前缘盖着前排鳞片基部,感器数量较少。

2.2 触角感器的分布与类型

2.2.1 毛形感器(sensilla trichodea, ST) 毛型感器是大豆食心虫触角上数量最多的感器。主要分布在各鞭节,梗节、柄节分布较少,着生于表皮形成的凹窝内,感器壁上有螺纹,基部无白状窝(亦称表皮领, cuticular collar)。根据其外形和长度可分为 ST I 和 ST II 2 种类型,ST I 型基部直径约 1.8 ~ 2.0 μm ,长约 34.1 ~ 37.3 μm ,与触角表面成约 60°倾斜,略呈弧形弯曲,顶端尖细(图 1:B, C); ST II 型基部直径约 2.1 ~ 2.7 μm ,长约 40.4 ~ 44.1 μm ,在近基部处突然弯曲,整个毛体几乎与触角表面平行,向顶端逐渐变细(图 1:C)。

2.2.2 刺形感器(sensilla chaetica, SCH) 刺形感器细长如刺,比毛形感器粗壮,基部有一向上突出的白状窝,刚直挺立,基部不发生弯曲,几乎垂直于触角表面,端部圆盾,有时弯曲。表面有明显的环纹或斜螺纹,其长度变化很大,25.2 ~ 40.7 μm 不等,基部直径约 2.0 ~ 2.4 μm ,白状窝直径约 3.9 ~ 5.8 μm ,分布于触角各鞭节的中部(图 1:D)。

2.2.3 鳞形感器(sensilla squamiformia, SQ)

鳞形感器表面结构与鳞片相似,其上有明显纵脊,且比一般鳞片狭窄且端部尖细。鳞形感器长约 26.4 ~ 31.4 μm ,中间宽约 2.1 ~ 2.4 μm ,分布在柄节和梗节,着生在基部白状窝中,鞭节上无分布(图 1:E)。

2.2.4 栓锥型感器(sensilla styloconica, SST)

栓锥感器呈拇指状,是所有感器中最粗壮的,从表皮隆起,表面具有纵横纹脊,它是触角表皮上网纹的延续,端部有锥状突起。栓锥型感器长约 18.2 μm ,直径约 3.8 μm ,常伴随腔锥形感器出现,几乎每亚节末端都有 1 个分布,方向由前一亚节伸向下一亚节(图 1:F)。

2.2.5 腔锥形感器(sensilla coeloconica, SCO)

腔锥形感器形态象一朵菊花,着生在由表皮内陷而成的、开口在表面上的腔内,腔中央着生似五指并拢的感觉锥,感觉锥端部平圆,表面形成凹槽,腔的四周着生长的缘毛,几个缘毛相互聚拢在一起形成束,向中心弯曲,因此有的锥体被覆盖,隐约可见或不可见,常伴随栓锥型感器出现在鞭亚节远端,常几个聚集在一起(图 1:G)。

2.2.6 耳形感器(sensilla auricillica, SA)

耳型感器外形似兔耳,感器表面有纵向纹理,沿触角远端弯曲。根据其外形和长度可分 3 种类型,SA I 型先膨大后收拢,基部不向内卷曲,端部钝圆,无分叉,中间形成的凹陷较浅(图 1:H) 数量少,有的散生在鞭亚节中部,为雌性特有。SA II 型由基部向端部逐渐膨大,看起来很厚重,远端钝圆,向内微微凹陷,数量多,常分布在鞭亚节中端,为雄性特有(图 1:I)。SA III 型基部向内强烈卷曲,有的几近愈合,远端尖细,数量多,散生在触角鞭亚节,有的伴随腔锥形感器出现,为雌雄共有,其中雌性比雄性细小,雄性长约 17.9 ~ 21.5 μm ,最大宽度约 2.4 ~ 5.5 μm (图 1:J)。雌性长约 11.6 ~ 17.5 μm ,最大宽度约 1.2 ~ 1.8 μm (图 1:K)。

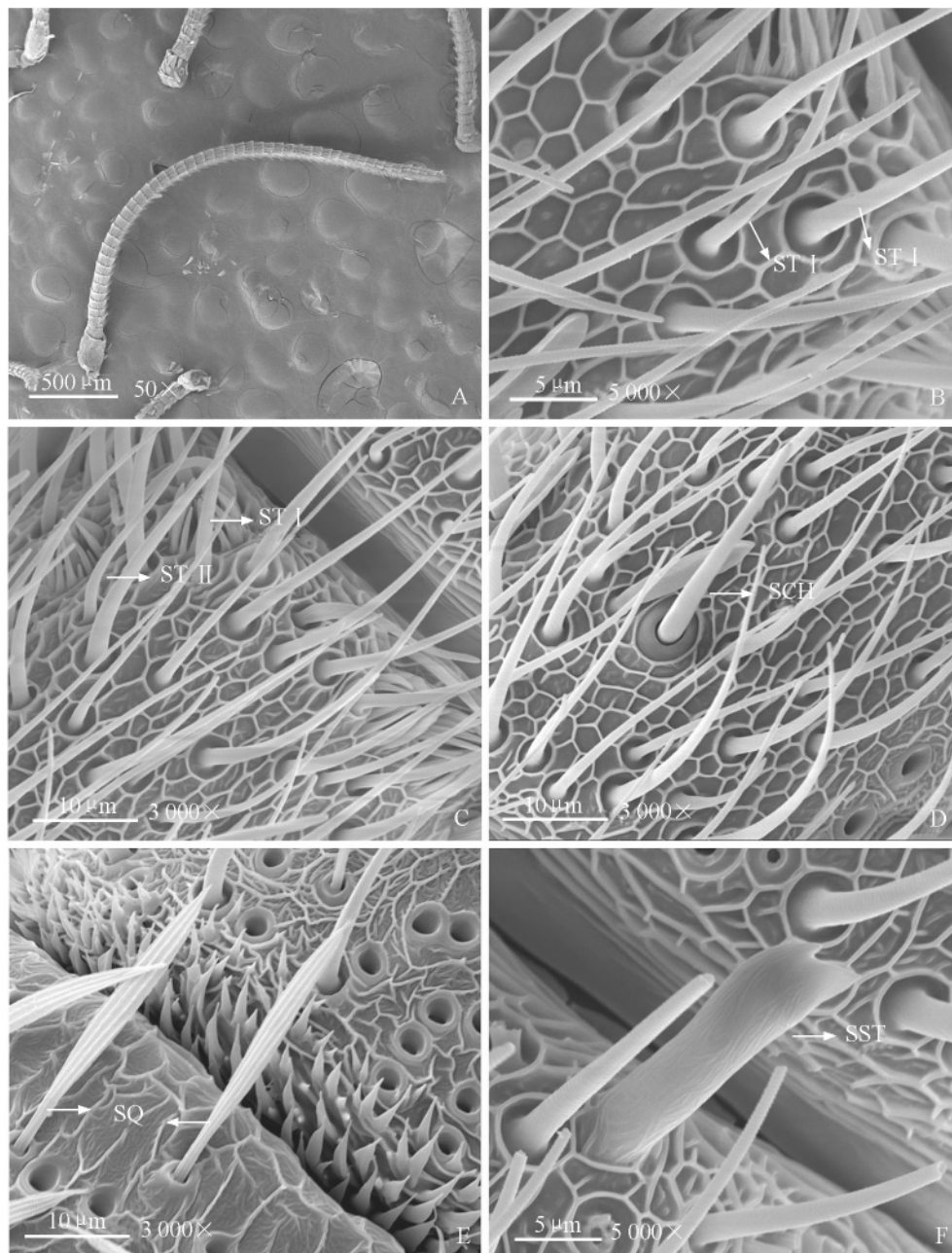
2.2.7 Böhm 氏鬃毛 (Böhm bristles, BB)

Böhm 氏鬃毛外形似短刺,比刺形感器短而尖,直立着生于表皮,基部粗,端部细,感器壁表面光滑(图 1:L)。长约 $7.6 \sim 8.6 \mu\text{m}$,基部直径约 $1.1 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 。数量较少,在柄节基部呈聚集分布,鞭节无分布。

3 讨论

国内外对昆虫触角传感器的形态结构与功能关系的研究已有很多报道。毛形感器是昆虫触角上数量最多的感器。植食性昆虫触角上的毛形感器

主要具有感受信息化合物的作用 (Almaas and Mustaparta, 1991; 吴才宏, 1993; 杜永均等, 1995; 金鑫等, 2004)。例如雌性烟草天蛾 *Manduca sexta* 触角上毛型感器能对多种植物挥发物产生电生理反应 (Shields and Hildebrand, 2001); 毛型感器也是感受性信息素的主要器官 (Dolzer *et al.*, 2003; Maida *et al.*, 2005)。刺形感器属于触觉感器和机械感器 (杨广等, 2001; 李坤等, 2006), 推测此种感器可能还具有定位功能 (Cönsoli *et al.*, 1999)。鳞形感器在鳞翅目昆虫中分布较普遍, 如在黄斑长翅卷蛾 *Acleris fimbriana*、虫草蝠蛾 *Hepialus*



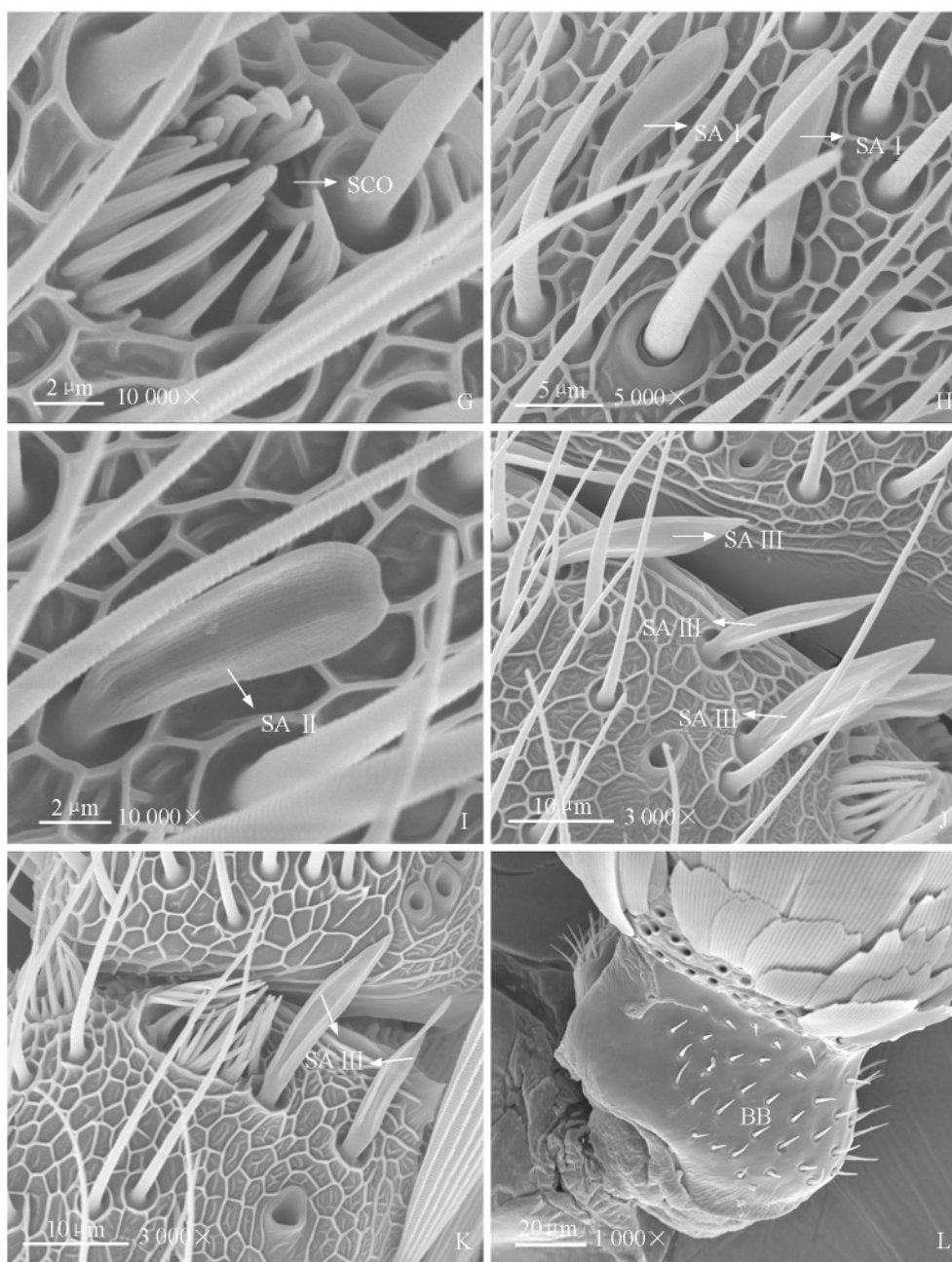


图 1 大豆食心虫触角传感器的超显微结构观察

Fig. 1 Ultrastructures of antennal, sensilla in *Leguminivora glycinivorella*

- A. 雄性触角 male antennae; B. 毛型感器 sensilla trichodea (ST I); C. 毛型感器 sensilla trichodea (ST I、ST II);
 D. 刺型感器 sensilla chaetica (SCH); E. 鳞型感器 sensilla squamiformia (SQ); F. 栓锥形感器 sensilla styloconica (SST);
 G. 腔锥型感器 sensilla coeloconica (SCO); H. 雌性触角耳型感器 sensilla auricillica of female antennae (SA I);
 I. 雄性触角耳型感器 sensilla auricillica of male antennae (SA II);
 J. 雄性触角耳型感器 sensilla auricillica of male antennae (SA III);
 K. 雌性触角耳型感器 sensilla auricillica of female antennae (SA III); L. Böhm 氏鬃毛 Böhm bristles (BB).

armoricanus、金斑喙凤蝶 *Teinopalpus aureus*、小菜蛾 *Plutella xylostella* (沈杰等, 2005), 夜蛾科昆虫 *Copitarsia consueta* (Gómez et al., 1999)、食杉蛾科

昆虫 *Agathiphaga vitiensis*、*A. queenslandensis* (Faucheux, 1990)、螟蛾科昆虫 *Zamagiria dixolophella* (Gómez et al., 2003)、粘虫 *Pseudaletia*

unipuncta (Lavoie-Dornik and McNeil, 1987) 中均有分布。目前对其功能的相关报道比较少,有待进一步的电生理试验来验证。栓锥形感器多为双壁,内有丰富的神经细胞,具有感受湿度、嗅觉、味觉等功能(Razowski and Wojtusiak, 2004),在卷蛾科 Tortricidae (Wall, 1978) 和夜蛾科 Noctuidae (Gómez *et al.*, 1999) 昆虫中比较常见,并且发现其顶端具孔,具有接触化学感受功能(Jefferson *et al.*, 1970)。腔锥形感器能感受水蒸气、二氧化碳、植物气味等(Bruce and Cork, 2001; Park and Hardie, 2002)。腔锥形感器接触面积大,感觉锥的指状结构之间有些留有空隙,外界的气味分子可能通过这些空隙或孔道进入感受器内部(Ameismeier, 1985)。耳形感器在雌性寻找寄主及合适的产卵场所方面起到重要作用。棘翅夜蛾 *Scoliopteryx libatrix* 耳形感器能够感受 3-萜烯、(±)-芳樟醇、 α -蒎烯及绿叶气味等植物挥发性物质(Anderson *et al.*, 2000)。苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 耳形感器能对多种植物挥发物产生反应,对同一种物质能激发 3 个神经元产生兴奋性反应(Ansebo *et al.*, 2005)。Böhm 氏鬃毛在昆虫触角感器中较常见,一般位于触角柄节和梗节基部,鞭节无分布(马瑞燕和杜家纬,2000)。有报道称其是感受重力的机械感受器(李欣和白素芬, 2004)。

雌雄二型(sexual dimorphism)是指同种昆虫的雌雄两性个体间,除内、外生殖器官构造不同外,在个体大小、体型、体色等形态结构方面存在明显差异的现象称为雌雄二型。所以昆虫触角及其感器在大小、形态、结构等方面也应存在性二型现象。雌虫感知寄主植物挥发性物质来完成远距离寄主的识别,雄虫通过感知雌虫释放的性信息素来完成交配,触角及其感器雌雄之间的差异使得化学通讯更加精确和灵敏。

研究表明,大豆食心虫的触角具有 2 种毛形感器、1 种刺形感器、1 种鳞形感器、1 种栓锥型感器、1 种腔锥形感器、3 种耳型感器以及 Böhm 氏鬃毛,每种感器在触角各节上的数量和分布均不同。数量最多的感器是毛形感器,其次是耳型感器、刺形感器、腔锥形感器,而鳞型感器、刺形感器、栓锥型感器和 Böhm 氏鬃毛的数量较少。其中鳞型感器只分布在柄节和梗节,Böhm 氏鬃毛只分布在柄节基部。大豆食心虫成虫飞行能力不强,卵产在

豆荚上,幼虫期全部在豆荚中,因此如何选择适合产卵的寄主,对其后代的生长发育至关重要。本研究观察发现耳型感器 SA I 型为雌性独有,可能与雌虫感受寄主挥发物有关。大豆食心虫飞翔能力不强,而又能准确的在高密度豆荚中定位适合的寄主,这可能与耳型感器 SA I 型有很大联系。大豆食心虫在交配高峰期田间出现“团飞”现象,与报道的毛型感器和独有的耳型感器 SA II 型的功能相符合。昆虫触角的部位,感器的类型、数量都有可能不同,这种差异利于昆虫最大限度发挥其化学感受器功能,结构和行为相适应,从而更好的适应环境。

参考文献(References)

- Almaas TJ, Mustaparta H, 1991. *Helionthis virescens*: Response characteristics of receptor neurons in sensilla trichodea Type 1 and 2. *J. Chem. Ecol.*, 17:953—972.
- Ameismeier F, 1985. Embryonic development and molting of the antennal coeloconic no pore-and double-walled wall pore sensilla in *Locusta migratoria* (Insecta, Orthopteroidea). *Zoo Morphol. (Berlin)*, 105:356—366.
- Anderson P, Hallberg E, Subchev M, 2000. Morphology of antennal sensilla auricillica and their detection of plant volatiles in the herald moth, *Scoliopteryx libatrix* L. (Lepidoptera: Noctuidae). *Arthropod Struct. Dev.*, 29: 33—41.
- Ansebo L, Ignell R, Löfqvist J, Hansson BS, 2005. Responses to sex pheromone and plant odours by olfactory receptor neurons housed in sensilla auricillica of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). *J. Insect Physiol.*, 51:1066—1074.
- 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.
- Cönsoli FL, Kitajima EW, Parra JR, 1999. Sensilla on the antenna and ovipositor of the parasitic wasps *Trichogramma galloi* Zucchi and *T. pretiosum* Riley (Hym: Trichogrammatidae). *Microsc. Res. Tech.*, 45 (4/5): 313—324.
- Dolzer J, Fischer K, Stengl M, 2003. Adaptation in pheromone-sensitive trichoid sensilla of the hawkmoth *Manduca sexta*. *J. Exp. Biol.*, 206:1575—1588.
- Faucheux MJ, 1990. Antennal sensilla in adult *Agathiphaga vitiensis* Duml. and *A. queenslandensis* Duml.

- (Lepidoptera: Agathiphagidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.*, 19 (5/6): 257—268.
- Gómez VRC, Nieto G, Valdes J, Castrejón F, Rojas JC, 2003. The Antennal sensilla of *Zamagiria dixolophella* Dyar (Lepidoptera: Pyralidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 96 (5): 672—678.
- Gómez VRC, Valdez-Carrasco J, Cibrian-Tovar J, Camino-Lavin M, Osorio RO, 1999. Morphology and distribution of the sense organs on the antennae of *Copitarsia consueta*. *Florida Entomol.*, 82: 546—555.
- Jefferson RN, Rubin RE, McFarlands 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. Entomol. Soc. Am.*, 63: 1227—1238.
- Lavoie-Dornik J, McNeil JN, 1987. Sensilla of the antennal flagellum in *Pseudaletia unipuncta* (Haw.) (Lepidoptera: Noctuidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.*, 16 (2): 153—167.
- Maida R, Mameli M, Müller B, Krieger J, Steinbrecht RA, 2005. The expression pattern of four odorant-binding proteins in male and female silk moths, *Bombyx mori*. *J. Neurocytol.*, 34 (1/2): 149—163.
- Park KC, Hardie J, 2002. Functional specialization and polyphenism in aphid olfactory sensilla. *J. Insect Physiol.*, 48 (5): 527—535.
- Razowski J, Wojtusik J, 2004. Some data on sensilla and sculpture of antenna in adult Tortricidae (Insecta: Lepidoptera). *Genus*, 15 (2): 257—266.
- Schneider D, 1964. Insect antennae. *Annu. Rev. Entomol.*, 9: 103—122.
- Shields VDC, Hildebrand JG, 2001. Responses of a population of antennal olfactory receptor cells in the female moth *Manduca sexta* to plant-associated volatile organic compounds. *J. Comp. Physiol.*, 186: 1135—1151.
- Wall C, 1978. Morphology and histology of the antenna of *Cydia nigricana* (F.) (Lepidoptera: Tortricidae). *Int. J. Insect Morphol. Embryol.*, 7 (3): 237—250.
- 杜永均, 严福顺, 唐觉, 1995. 大豆蚜触角嗅觉感器结构及其功能. *昆虫学报*, 38 (1): 1—7.
- 金鑫, 张善干, 张龙, 2004. 东亚飞蝗四种类型的触角感受器超微结构 (昆虫纲: 直翅目). *农业生物技术学报*, 12 (3): 300—305.
- 李坤, 罗梅浩, 赵国强, 刘晓光, 2006. 烟实夜蛾触角感器的超微结构观察. *河南农业大学学报*, 40 (3): 250—253.
- 李欣, 白素芬, 2004. 半闭弯尾姬蜂触角感觉器的超微结构研究. *河南农业大学学报*, 38 (1): 45—48.
- 马瑞燕, 杜家纬, 2000. 昆虫的触角感器. *昆虫知识*, 37 (3): 179—183.
- 沈杰, 楼兵干, 沈幼莲, 高其康, 2005. 蔗扁蛾触角扫描电镜观察. *浙江林业科技*, 25 (6): 27—30.
- 吴才宏, 1993. 棉铃虫雄蛾触角的毛形感器对其性信息素组分及类似物的反应. *昆虫学报*, 36: 385—388.
- 杨广, 黄桂诚, 尤民生, 2001. 小菜蛾触角的显微结构及其作用. *福建农业大学学报*, 30 (1): 75—79.