

小峰熊蜂工蜂触角传感器的扫描电镜观察^{*}

罗术东^{**} 安建东 彭文君 李继莲 黄家兴 吴杰^{***}

(中国农业科学院蜜蜂研究所 农业部授粉昆虫生物学重点实验室 北京 100093)

摘要 利用扫描电镜对小峰熊蜂 *Bombus hypocrita* 的触角形态和传感器进行了观察。结果表明:小峰熊蜂触角呈膝状,由柄节、梗节和鞭节组成。工蜂的柄节约为触角全长的三分之一,其长度约为 $(2\,099.40 \pm 112.26) \mu\text{m}$,梗节呈方形,最短,长度为 $(212.86 \pm 12.51) \mu\text{m}$ 。鞭节全长为 $(3\,861.43 \pm 137.86) \mu\text{m}$,共由 10 节组成。触角上广布 11 种类型的感受器,即板形感器、坛形感器、钟形感器、锥形感器、腔锥形感器、毛形感器、刺形感器、芽形感器、端指形感器、缘感器和刚毛,不同感器在触角上的分布部位不同。其中,芽形感器和端指形感器在膜翅目昆虫中属首次发现。

关键词 小峰熊蜂,触角,感器,超微结构

Antennal sensilla of *Bombus hypocrita* (Hymenoptera: Apidae) worker observed under scanning electron microscopy

LUO Shu-Dong^{**} AN Jian-Dong PENG Wen-Jun LI Ji-Lian HUANG Jia-Xing WU Jie^{***}

(Institute of Apiculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory for Biology of Insect-Pollinator,
Ministry of Agriculture, Beijing 100093)

Abstract Antennal morphology and sensilla of *Bombus hypocrita* workers were observed under scanning electron microscopy. The results show that the antenna is made up of three parts; scape, pedicel and a 10 segmented flagella, the respective lengths of which were $(2\,099.40 \pm 112.26) \mu\text{m}$, $(212.86 \pm 12.51) \mu\text{m}$ and $(3\,861.43 \pm 137.86) \mu\text{m}$. 11 types of sensillum were observed on the antennae; sensilla placodea, sensilla ampullaceous, sensilla campaniformia, sensilla basiconica, sensilla coeloconica, sensilla trichodea, sensilla chaetica, bud-like sensilla, finger-like sensilla, sensilla margin and setae. This is the first report of bud-like and finger-like sensilla in the Hymenoptera.

Key words *Bombus hypocrita*, antenna, sensilla, ultrastructure

触角是昆虫感觉系统的重要组成部分,其上着生许多不同种类、不同功能的感器。这些感器由表皮特化而成,是昆虫感知外部环境并进行化学通讯的重要结构,因而,在搜索生境、寄主定位与选择、求偶与交配、感受环境(气流、CO₂和温湿度等)以及主动防御与迁移等一系列适应性行为过程中起着重要的作用,调节着昆虫行为与化学、物理等各种环境刺激因子的关系(Schneider and Seibt, 1969; Clyne *et al.*, 1997; 马瑞燕和杜家纬, 2000)。昆虫触角感器有 10 余种类型,常见的感

器有板形感器(sensilla placodea)、毛形感器(sensilla trichodea)、刺形感器(sensilla chaetica)和锥形感器(sensilla basiconic)等,各种感器在结构和功能上各不相同,不同类型昆虫的感器不同,不同昆虫同一类型感器的大小和数量也因昆虫种类不同而异。因此,研究昆虫的感器将有助于了解昆虫的化学感受系统,探究其类型、数量、分布和功能则可进一步了解昆虫触角感器与行为反应之间的关系,同时,也有助于了解昆虫与其他生物的协同进化关系(弓淑芬等, 1989)。

^{*} 资助项目:公益性行业(农业)科研专项经费项目(nyhyzx07-041)和国家蜜蜂产业技术体系建设专项经费。

^{**} E-mail: shudongluo@126.com

^{***} 通讯作者, E-mail: apis@vip.sina.com

收稿日期: 2010-07-10, 接受日期: 2010-12-09

目前,对昆虫触角感器的研究主要集中在膜翅目、鳞翅目、鞘翅目、双翅目及同翅目等昆虫上,其中,对膜翅目昆虫的触角感器研究则主要集中在意大利蜜蜂和中华蜜蜂上(杜芝兰,1989;杨嘉理,2004),而对熊蜂触角感器的研究尚未有相关报道。熊蜂隶属于昆虫纲,膜翅目,蜜蜂科,熊蜂属。目前,全世界已知约 250 种,分属于 15 个亚属(Williams *et al.*, 2008)。经中国农业科学院蜜蜂研究所多年来的资源调查和中国科学院的馆藏标本表明,我国已知熊蜂 115 种(Williams *et al.*, 2010)。同时,进一步的人工繁育与授粉实验表明,小峰熊蜂 *Bombus hypocrita* 因其易于人工饲养、环境适应能力强和种群数量大、授粉性能优越等特点而成为我国设施农业的常用优良授粉蜂种,具有很好的推广与应用价值(安建东等,2010)。室内研究表明:小峰熊蜂对花朵的偏爱程度与花的颜色、花瓣大小以及形态和气味密切相关(施海燕等,2008),同时,野外考察发现,小峰熊蜂对某些蜜源植物表现出特殊的选择偏爱性。因此,探明小峰熊蜂的访花偏爱性对研究小峰熊蜂与蜜源植物的协同进化关系以及合理利用小峰熊蜂为设施果蔬授粉有着重要的意义。而这些研究的前提是要了解熊蜂触角上感器的种类和分布,为此,作者对小峰熊蜂工蜂触角上各种类型感器的形态和分布进行了扫描电镜观察,以期为今后研究熊蜂的授粉生物学、行为学、电生理学和分类学提供参考。

1 材料与方法

1.1 虫源

实验采用的小峰熊蜂蜂王于 2008 年 4 月捕于河北雾灵山自然保护区,然后带回室内用 50% 的糖水 and 新鲜杏花粉作为饲料进行人工饲养,饲养温度为 $(29 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $60\% \pm 5\%$,全暗环境。

1.2 样品的制备与观察

取新羽化的工蜂 10 头,用昆虫针将其固定在木板或软泡沫上,在解剖镜下用镊子和手术刀将触角与头部分离。将取下的触角单个浸入 70% 的乙醇溶液中,用超声波清洗仪超洗 10 s,以除去表面粘附物(如糖浆等)。然后依次用 80%、90%、95%、100% 的乙醇溶液梯度脱水,再在 25°C

的恒温箱中干燥 10 h。将干燥好的触角样品用导电银胶粘于样品台上,在真空喷涂仪内喷金。喷金后,用日立 S-570 型扫描电镜观察小峰熊蜂工蜂触角的柄节、梗节和鞭节的各亚节,同时照相。加速电压为 12 kV。

1.3 触角感器的鉴定与命名

触角感器的鉴定和命名主要参照 Schneider (1964) 和 Chinta 等(1997)的标准进行。

1.4 数据统计与分析

每种感器选取 10 个以测定相应的参数,采用 SPSS 16.0 软件进行统计分析,求得平均值和标准误。

2 结果与分析

小峰熊蜂的触角呈膝状,由柄节(scape, SC)、梗节(pedicel, PE)和鞭节(flagellomeres, FL) 3 个部分组成(图版 I:1)。工蜂的柄节长为 $(1\,990.60 \pm 148.88) \mu\text{m}$,约为全长的三分之一。梗节呈方圆形,长为 $(213.42 \pm 12.01) \mu\text{m}$,是 3 个部分中最短的一个部分;鞭节由 10 个亚节组成(图版 I:1),各亚节长度依次为: $(444.29 \pm 21.77) \mu\text{m}$ 、 $(337.14 \pm 15.36) \mu\text{m}$ 、 $(425.71 \pm 33.54) \mu\text{m}$ 、 $(401.43 \pm 30.45) \mu\text{m}$ 、 $(367.14 \pm 23.38) \mu\text{m}$ 、 $(358.57 \pm 20.70) \mu\text{m}$ 、 $(367.14 \pm 22.39) \mu\text{m}$ 、 $(364.29 \pm 19.34) \mu\text{m}$ 、 $(358.57 \pm 18.38) \mu\text{m}$ 、 $(437.14 \pm 15.36) \mu\text{m}$ 。由方差分析可知,第 1、3 和最末一节(第 10 亚节)显著长于其它亚节,而第 2 亚节则显著短于其它亚节,第 4 亚节虽显著短于第 1、3 和 10 亚节,但显著长于第 5、6、7、8 和 9 亚节。

通过电镜观察,作者在小峰熊蜂工蜂的触角上共发现了 11 类感器,即板形感器(sensilla placodea, Spl)、坛形感器(sensillum ampullaceum, Sam)、钟形感器(sensilla campaniformia, Sca)、锥形感器(sensilla basiconicum, Sba)、腔锥形感器(sensillum coeloconica, Sco)、毛形感器(sensilla trichodea, Str)、刺形感器(sensilla chaotic, Sch)、芽形感器(bud-like sensilla, Sbl)、缘感器(margin sensilla, Sma)、端指形感器(finger-like sensilla, Sfl)以及各种类型的刚毛(setae, S)等,不同感器在各节的分布位置和数量不一致,尤以第 10 亚节感器的种类和数量最为丰富(图版 I:2)。

2.1 板形感器

板形感器是小峰熊蜂工蜂触角上最多的一种感受器。从第二鞭节到第十鞭节均有分布,紧密排列,覆盖在各鞭节的表面上,呈椭圆形的盘状结构(图版 I:3),且在鞭节的末节分布较多。板形感器的长轴与触角走向一致,长为 $(14.65 \pm 0.29) \mu\text{m}$,短轴长为 $(8.64 \pm 1.84) \mu\text{m}$ 。在扫描电镜下能清晰的看到它分为 3 个区域:最核心的部分呈椭圆形,面积较大;最外侧呈一个椭圆的环形围绕在最外层,边较宽,上面有许多辐射状的沟延伸到盘中央,但不很明显,在高倍放大下能够看到;介于最外层与最内层之间的环形相对较少,但颜色最深。在板形感器密集的区域,能见到板形感器间着生许多毛形感器与锥形感器,三者混合分布。同时,观察还发现,板形感器仅分布于触角的背面,腹面没有分布。

2.2 钟形感器

钟形感器呈圆形,形似纽扣,周围表皮隆起,中央有一个纽扣样的节,结构明显,直径约为 $(1.80 \pm 0.10) \mu\text{m}$ (图版 I:4),除第一鞭节外,其它各亚节上均有分布。

2.3 锥形感器

锥形感器的外形较直,端部钝形,形状粗大而直立,似木桩,基部无突起的臼状窝。锥形感器的顶端相当钝,非中空,有几种大小不同的类型。基部周围的膜一般不像毛形感器 A 下沉的那样深,槽呈圆形,表面光滑,无纵脊,一般长度约为 $(11.31 \pm 6.13) \mu\text{m}$,基部直径约为 $(2.95 \pm 1.33) \mu\text{m}$,顶部直径为 $(1.68 \pm 0.77) \mu\text{m}$ (图版 I:5),第 3 鞭节到第 10 鞭节均有分布。

2.4 毛形感器

这类感器长度在形态上差异比较大。为方便描述,作者根据其形态的差异,将其分为毛形感器 A、毛形感器 B、毛形感器 C 和毛形感器 D 4 种(图版 I:6)。其中,毛形感器 A 是触角上最普通的一种感受器,呈毛状,整个感器自基部向顶端逐渐而均匀地变细,显 S 形,略向平行表面的一侧弯曲,末端不像刚毛那样尖,略钝。

毛形感器 B 细而尖,与毛形感器 A 相比,卷曲程度略大,顶部与基部呈 90° ,但末端稍向下弯曲,一般在靠近末端的鞭节上分布比较丰富。毛形感器 C 的顶部与基部的弯曲角度小于 90° ,其它与毛

形感器 B 无差别。毛形感器 D 为长毛状,呈钩状,两端垂直于触角表面,而且较细,末端稍钝,有的尖端常粘附碎片。毛形感器在触角的各个鞭节上均有分布,尤以末端显得更为丰富,且它们多数分布在鞭节的中央位置上。

2.5 刺形感器

刺形感器的感器细长,外形刚直如刺,着生于触角表皮的浅窝内,与触角表面成 $20 \sim 30^\circ$ 夹角或者甚至几乎紧贴表皮,指向触角端部,由基部向端部逐渐变细,表面具有明显的纵脊。小峰熊蜂触角上的刺形感器主要是长直刺形感器(图版 I:7),在触角各节上均有分布,感器的长度为 $(1.63 \pm 0.18) \mu\text{m}$,基部直径为 $(2.59 \pm 0.16) \mu\text{m}$ 。

2.6 芽形感器

这类感器在中华蜜蜂和意大利蜜蜂中均未见报道。这种芽形感器有 3 种形态,即芽形感器 A(图版 I:9)、芽形感器 B(图版 I:8)和芽形感器 C(图版 I:8)。其中,芽形感器 A 短小,感器壁光滑,形似禾谷类种子刚发出来的芽,着生于梗节基部,数量较少。芽形感器 B 有点类似于芽形感器 A,着生于梗节基部触角表面的凹窝中,在顶端或靠近顶端的地方分叉,形似 2 个芽,数量较芽形感器 A 多。芽形感器 C 主要分布在柄节和第 1、2 鞭节表面的凹陷处,数量也较多,该感器的特点是感器较细长,感器自基部向端部逐渐变细,但幅度不大,感器的表面具有纵脊,在细长感器上有数个分支,形似树枝上的新芽,且每个分支的顶端很尖锐,全部指向触角端部,其整个形状有点类似于锯齿。

2.7 端指形感器

形似微管束,感器上无纵脊,从基部至端部大小基本一致,端部则分化成几个分支,分支长短不尽相同,该感器仅着生在触角鞭节的第一、二节上,且数量甚少(图版 I:9)。

2.8 缘感器

缘感器是一种小型的毛状结构,末端尖而锐。在鞭节与鞭节之间相连处有一排缘感器,没有槽,长度不等(图版 I:10)。

2.9 坛形感器

坛形感器同样为小孔状结构,小孔呈圆形。有的孔内有絮状物伸出,孔的直径为 $(1.22 \pm$

0.11) μm ,比腔锥感器的小,每个坛形感器就像火山口一样鼓起(图版 I:11)。鞭节各亚节大部分有分布,但数量不多。

2.10 腔锥形感器

这类感器是由表皮凹陷而成的一类感器,呈小孔状结构,孔中央着生的感觉锥可见或不明显,腔的四周着生有十几根缘毛,四周的缘毛略高于感觉锥(图版 I:11)。腔锥形感器在柄节和梗节上均有分布,且主要分布于鞭节的外侧面,这类感器的数量较少,这种感器与坛形感器很难区分,主要体现在其感器孔的直径较坛形的大,前者约为 $2.5 \mu\text{m}$,而后者只有 $0.75 \mu\text{m}$ 左右。

2.11 刚毛

刚毛有针状、刀状等不同类型。刚毛数量多,在各节上均有分布,有的密集成簇,有的疏散而整齐的排列,末端一般较尖锐且尖端弯向触角的表面(图版 I:12)。

3 结论与讨论

昆虫通过特定的化学感觉机制来感知来自种内、种间以及环境中的各种化学信息,并做出相应的反应,为自身寻找适宜的食物、配偶以及生存与繁殖场所,其中,化学感受器是昆虫与周围环境中的大量化学信息发生联系的纽带。化学感应器的种类、数量、分布以及发达程度等都因昆虫的种类不同而已,而且有的昆虫在雌雄性成虫间的触角感器具有一定的性二型特征(马瑞燕和杜家纬,2000;孙凡等,2007;杨慧等,2008;顾丁等,2009;路常宽和王晓勤,2009)。

本文利用扫描电镜对我国温室主要授粉蜂种——小峰熊蜂工蜂的触角进行了超微结构观察,研究结果表明:小峰熊蜂的触角同样分为三个部分,即柄节、梗节和鞭节,其中,柄节约占触角全长的三分之一,显著长于意大利蜜蜂和中华蜜蜂;但小峰熊蜂的梗节较短,甚至短于意大利蜜蜂和中华蜜蜂;小峰熊蜂工蜂的鞭节同样分为 10 个亚节,不同亚节上的感器的种类和数量不一样,具体而言,小峰熊蜂工蜂触角具有板形感器、钟形感器、锥形感器、毛形感器、刺形感器、芽形感器、端指形感器、缘感器、坛形感器、腔锥形感器和刚毛 11 种感器,每种感器在触角各节上的数量和分布均不同。其中,数量较多的感器是板形感器、刺形

感器、毛形感器和刚毛,其次是锥形感器、芽形感器和缘感器,而坛形感器、腔锥形感器、端指形感器和钟形感器感器的数量较少。

板形感器是膜翅目蜜蜂总科昆虫触角上最多的一种感器,也是蜜蜂最主要的嗅觉器官。前人研究表明,板形感器并没有分布于整个触角,并推测腹面不具板形感器的面积大小与蜂嗅觉的灵敏程度相关,如意大利蜜蜂触角腹面不具板形感器的面积大于中华蜜蜂,因此,认为这是造成中华蜜蜂比意大利蜜蜂对蜜粉源灵敏度更高的主要原因(杨嘉理,2004)。本研究也发现在小峰熊蜂的腹面存在不具板形感器的区域,但未在数量上将其与中华蜜蜂和意大利蜜蜂的板形感器进行比较,因此,熊蜂触角上无板形感器区域面积大小是否与熊蜂嗅觉灵敏程度相关有待于进一步研究。

刺形感器的超微结构显示,其壁很厚,但属于无孔的结构,因此不是化学感器。刺形感器在结构上与毛形感器类似,但刺形感器看起来更短,且其刚直如刺,有较厚的壁围绕,基部一般有一向上突起的臼状窝,顶部钝圆,表面有明显的纵纹。刺形感器具有感受机械刺激的功能(Schneider, 1964; 金鑫等,2004)。单感器试验证明,性信息素刺激无电位反应,而对机械振动有反应(杜永均等,1995),在选择行为环境和求偶微环境以及适宜场所的选择等方面均具有重要的功能。

毛形感器是植食性昆虫触角上分布最广,数量最多的感器。这是因为毛形感器主要具有感受信息化合物(如:性信息素和萜烯类化合物)的作用(Alaams and Mustaparta, 1991; 吴才宏,1993;杜永均等,1995;金鑫等,2004)。其一般特点是形状如毛状,基部具窝或突起,是膜翅目和鳞翅目昆虫中一种主要的感受器。前人的研究表明,意大利蜜蜂工蜂的毛形感器具有机械和味觉的功能(杜芝兰,1989),本研究也发现了在小峰熊蜂的触角上存在大量的毛形感器,但其是否具有嗅觉功能还有待于进一步研究。

锥形感器具有丰富的小孔,超薄切片证明其壁很薄,里面有丰富的神经细胞,因而具有识别气味的能力,是一种嗅觉感器,对植物气味刺激有感受作用(Cônsoli *et al.*, 1999; Ochieng *et al.*, 2000; 金鑫等,2004; Bleeker *et al.*, 2004)。本研究发现在鞭节的末节具有丰富的锥形感器。

对芽形感器和端指形感器的报道很少,杨燕

等(2009)在鞘翅目昆虫中曾发现这2种传感器,在鳞翅目等其它昆虫中未见相关报道,本研究首次发现在小峰熊蜂的触角中也存在这2种传感器。同时,作者对小峰熊蜂鞭节传感器上的数目与种类观察发现:其传感器种类与数量的分布与距柄节的距离呈负相关,即越靠近末节,其种类与数量越丰富,这可能与熊蜂的访花生物学学习性相关,但具体结论有待于进一步的研究。同时,本文仅对小峰熊蜂触角传感器的超微结构进行了扫描电镜观察,而对更深层次的研究(诸如探讨各传感器在感知环境条件及觅食中的功能和分子机制)则有待于借助单细胞记录、触角电位技术以及分子生物学等诸多实验技术和手段从本质上来加以揭示。

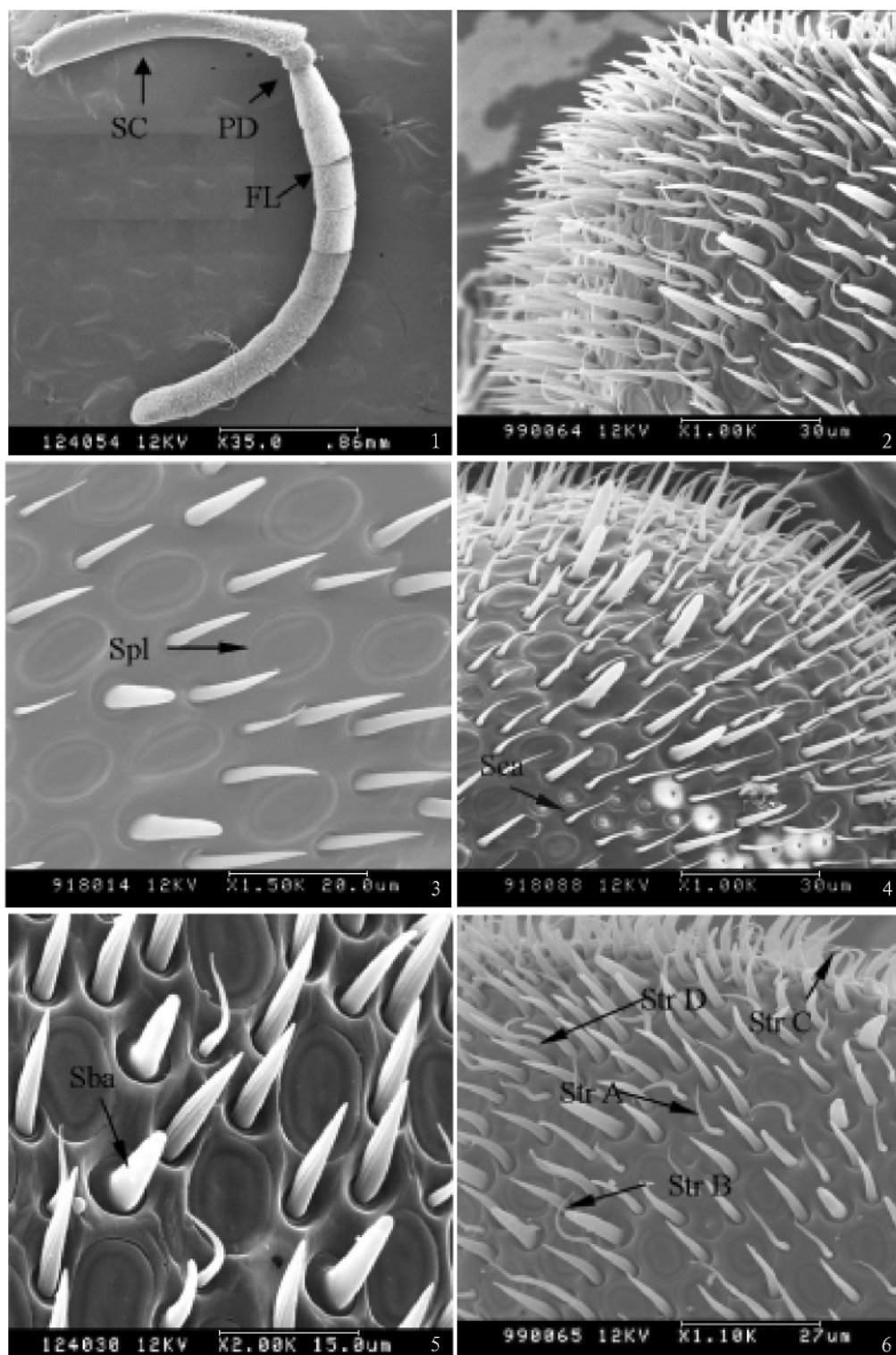
致谢:中国农业科学院农产品加工研究所电镜室郝宏京女士在电镜扫描观察中给予了诸多帮助,谨致谢意。

参考文献(References)

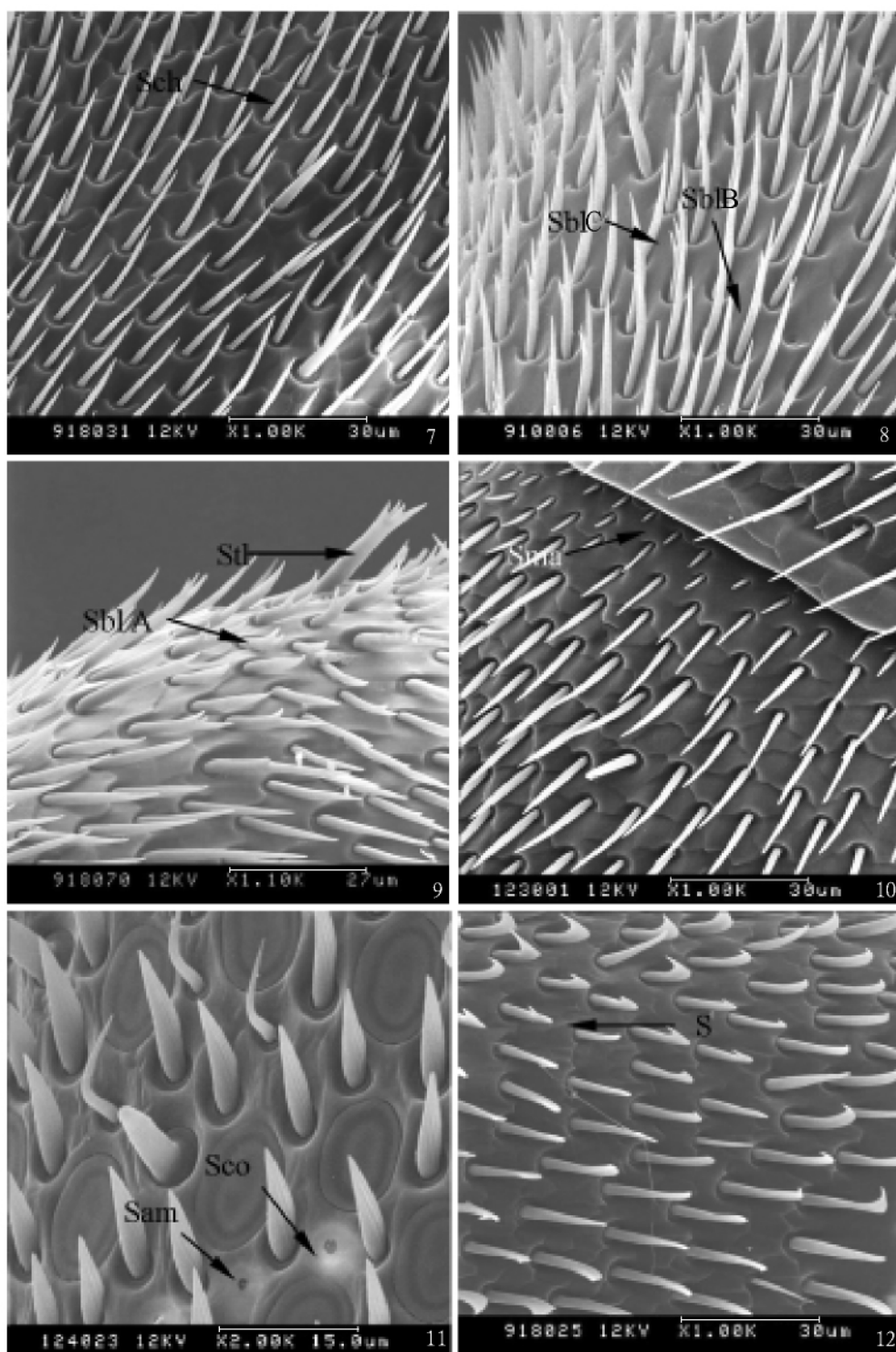
- Alaams TJ, Mustaparta H, 1991. *Heliothis virescens*: Response characteristics of receptor neurons in sensilla trichodea Type 1 and 2. *J. Chem. Ecol.*, 17: 953—972.
- 安建东,黄家兴,Williams PH, 吴杰,周冰峰,2010. 河北地区物种熊蜂多样性及其蜂群繁育特性. *应用生态学报*, 21:1542—1550.
- Bleeker MAK, Smid HM, van Aelst AC, van Loon JA, Vet Louise EM, 2004. Antennal sensilla of two parasitoid wasps: a comparative scanning electron microscopy study. *Microsc. Res. Tech.*, 63: 266—273.
- Chinta S, Dickens JC, Baker GT, 1997. Morphology and distribution of antennal sensilla of the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) (Hemiptera: Miridae). *Insect Morphol. Embryol.*, 26: 21—26.
- Clyne P, Grant A, O'Connell R, John RC, 1997. Odorant response of individual sensilla on the *Drosophila* antenna. *Invertebrate. Neuroscience*, 3: 127—135.
- Cônsoli FL, Kitajima EW, Parra JRP, 1999. Sensilla on the antenna and ovipositor of the parasitic wasps *Trichogramma galloi* Zucchi and *T. pretiosum* Riley (Hym., Trichogrammatidae). *Microsc. Res. Tech.*, 45: 313—324.
- 杜永均,严福顺,唐觉,1995. 大豆蚜触角嗅觉传感器结构及其功能. *昆虫学报*, 38:1—7.
- 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*, 32:166—169.
- Ochieng SA, Park KC, Zhu JW, Baker TC, 2000. Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae). *Arthropod Struct. Dev.*, 29: 231—240.
- 弓淑芬,戴华国,许月华,符文俊,1989. 3种赤眼蜂雌蜂触角上传感器的扫描电镜观察. *南京农业大学学报*, 27:55—59.
- 顾丁,陈文龙,高光澜,柳琼友,2009. 甘蓝潜蝇茧蜂触角感受器的扫描电镜观察. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 34:184—188.
- 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: 300—305.
- 路常宽,王晓勤,2009. 苹毛丽金龟触角嗅感器超微结构. *昆虫学报*, 52:39—45.
- 马瑞燕,杜家纬,2000. 昆虫的触角感器. *昆虫知识*, 37: 179—182.
- Schneider D, 1964. Insect antennae. *Annu. Rev. Ent.*, 9: 103—122.
- Schneider D, Seibt U, 1969. Sex pheromone of the queen butterfly: electroantennogram responses. *Science*, 164: 1173—1174.
- 施海燕,吴杰,李继莲,安建东,2008. 小峰熊蜂访花偏爱性. *昆虫学报*, 51:946—952.
- 孙凡,胡基华,王广利,彭璐,2007. 东北大黑鳃金龟嗅感器超微结构. *昆虫学报*, 50:675—681.
- Williams PH, An JD, Huang JX, Yao J, 2010. BBCI: A new initiative to document Chinese bumble bees for pollination research. *J. Apicult. Res.*, 49: 221—222.
- Williams PH, Cameron SA, Hines HM, Cederberg B, Rasmont P, 2008. A simplified subgeneric classification of the bumblebees (genus *Bombus*). *Apidologie*, 39: 46—74.
- 吴才宏,1993. 棉铃虫雄蛾触角的毛形传感器对其性信息素组分及类似物的反应. *昆虫学报*, 36:385—388.
- 杨慧,严善春,彭璐,2008. 兴安落叶松鞘蛾触角及其传感器的扫描电镜观察. *昆虫知识*, 45:405—417.
- 杨嘉理,2004. 意蜂和中蜂触角板形感受器分布观察及其采集行为. 硕士学位论文. 福州:福建农林大学. 21—28.
- 杨燕,杨茂发,杨再华,张恒,黄吉勇,余金勇,2009. 云南木蠹象触角传感器的扫描电镜观察. *林业科学*, 45:72—77.

图版 I 小峰熊蜂工蜂触角传感器的扫描电镜观察

Plate I Antennal sensilla of *Bombus hypocrita* worker observed under scanning electron microscopy



续图版 I



1. 小峰熊蜂工蜂触角的基本形态 The general configuration of antenna (scape, SC; pedicel, PD; flagellum, FL); 2. 密布传感器的鞭节末端 The last segment densely covered with sensillums; 3. 板形感器 (sensilla placodea, Spl); 4. 钟形感器 (sensilla campaniformia, Sca); 5. 锥形感器 (sensilla basiconicum, Sba); 6. 毛形感器 (sensilla trichodea, Str); 7. 刺形感器 (sensilla chaetica, Sch); 8. 芽形感器 (bud-like sensilla, Sbl); 9. 芽形感器 (bud-like sensilla, Sbl) 和端指形感器 (finger-like sensilla, Sfl); 10. 缘感器 (sensilla margin, Sma); 11. 坛形感器 (sensillum ampullaceum, Sam) 和腔锥形感器 (sensillum coeloconica, Sco); 12. 刚毛 (setae, S).