



罗家俊, 温健, 付浪, 钟宝玉, 张茂新, 陈科伟. 红彩真猎蝽成虫触角、喙和前足跗节感受器的扫描电镜观察 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1283 - 1290.

红彩真猎蝽成虫触角、喙和前足跗节感受器的扫描电镜观察

罗家俊¹, 温健¹, 付浪¹, 钟宝玉³, 张茂新¹, 陈科伟^{1,2*}

(1. 华南农业大学植物保护学院, 广州 501640; 2. 广东省生物农药创制与利用重点实验室, 广州 501640;

3. 广东省农业有害生物预警防控中心, 广州 510500)

摘要: 利用扫描电镜对红彩真猎蝽成虫的触角、喙、前足跗节感受器进行观察。结果表明: 红彩真猎蝽触角上分布 4 种类型的感受器, 分别为毛形感受器、刺形感受器、锥形感受器和腔锥形感受器。其中, 毛形感受器、刺形感受器各有 3 种形态, 锥形感受器和腔锥形感受器各有 2 种形态, 雌、雄性成虫个体间触角感受器类型、数量及分布未发现明显差异。喙的末端分布 3 种类型感受器, 分别为毛形感受器、刺形感受器和锥形感受器, 其中毛形感受器 1 种形态, 刺形感受器 2 种形态, 锥形感受器有 3 种形态。前足跗节末节存在刺形感受器和锥形感受器, 其中刺形感受器有 3 种形态, 锥形感受器有 4 种形态。

关键词: 红彩真猎蝽; 触角; 喙; 前足跗节; 感受器

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 05-1283-08

Sensillae on antenna, rostrum and protarsus of adult *Harpactor fuscipes* Fabricius observed with scanning electronic microscope

LUO Jia-Jun¹, WEN Jian¹, FU Lang¹, ZHONG Bao-Yu³, ZHANG Mao-Xin¹, CHEN Ke-Wei^{1,2*}

(1. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China; 2. Key Laboratory of Bio-Pesticide Innovation and Application, Guangzhou 510640, China; 3. Agricultural Pest Precaution and Management Center of Guangdong Province, Guangzhou 510500, China)

Abstract: Sensillae on the antenna, rostrum and protarsus of the predatory assassin bug *Harpactor fuscipes* Fabricius were observed by using the scanning electronic microscopy. The results showed that there were four types of sensillae distributed on the antennae of adult *H. fuscipes*, which were sensilla trichodea, sensilla chaetica, sensilla basiconca and sensilla coeloconica. Among them, the sensilla trichodea and chaetica both had three forms, and sensilla basiconca and coeloconica both had two forms. No significant difference was found between the male and female adults of *H. fuscipes* in the type, quantities and distribution of sensillae on the antenna. Three types of sensillae were found on the rostral apex, they were sensilla trichodea, sensilla chaetica and sensilla basiconca, respectively. Among them, sensilla trichodea had one form, sensilla chaetica had two forms, and sensilla basiconca had three forms. Sensilla chaetica and sensilla basiconca were observed on the protarsus, in which sensilla chaetica had three forms, and

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020223004); 广东省甘蔗剑麻产业技术体系创新团队项目 (2019KJ104-08); 广东省农村科技特派员项目 (2018A0137); 华南及西南水稻化肥农药减施技术集成研究与示范项目 (2018YFD0200300)

作者简介: 罗家俊, 男, 1994 年生, 广东江门人, 本科, 研究方向为害虫生物防治, E-mail: 601545492@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 陈科伟, 博士, 副教授, 研究方向为昆虫生态与害虫种群生态控制, E-mail: chenkewei@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2019-06-28; 接受日期 Accepted: 2019-10-10

sensilla basiconca had four forms.

Key words: *Harpactor fuscipes* Fabricius; antenna; rostrum; protarsus; sensillae

昆虫的感受器是组成昆虫感觉系统的基本单位, 它们广泛分布于体躯的各个部位, 接受来自体内、体外的物理或化学信号刺激, 协调昆虫的觅食、寻偶、交配、产卵、迁移和避敌等行为 (彩万志等, 2001; 李竹等, 2010)。研究昆虫主要感觉器官 (如触角、口器、足、尾须、产卵器等) 上感受器的种类、数量及其分布, 是解析昆虫寄主定位、识别、取食等行为的一个重要途径 (Zacharuk, 1980; 阎凤鸣, 2003; 那杰等, 2008)。

红彩真猎蝽 *Harpactor fuscipes* Fabricius 属半翅目 Hemiptera 猎蝽科 Reduviidae, 主要分布于广东、广西和福建等南方烟草种植区, 是一种重要的捕食性天敌 (吴钜文等, 2003), 对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 幼虫、烟蚜 *Myzus persicae* Sulzer 和烟青虫 *Heliothis assulta* Guenée 等害虫均有较强的捕食能力 (邓海滨等, 2012)。实验室饲养过程中发现, 红彩真猎蝽的触角、口器及前足均参与其觅食行为, 三者相互配合完成整个捕食行为。触角在猎物搜寻过程中极为活跃, 不停地在空中摆动; 而当接近猎物时, 主要通过口器来对猎物进行刺探; 前足则在红彩真猎蝽取食时辅助固定猎物, 以及取食完毕后梳理触角与口器。本研究采用扫描电镜对红彩真猎蝽的触角、喙及前足跗节的感受器类型、数量及其分布进行观察, 以期为更深入地了解红彩真猎蝽的捕食行为机制提供相关理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试昆虫

红彩真猎蝽: 由华南农业大学植物保护学院昆虫生态研究室提供, 在室内用黄粉虫 *Tenebrio molitor* L. 幼虫进行饲养。饲养条件为: 温度 25℃, 相对湿度 60% ~ 70%, 光周期 16 L: 8 D。

1.1.2 供试仪器

扫描电镜: 荷兰 FEI 公司生产的 Nova NanoSEM 430; 临界点干燥仪为瑞士 BAL-TEC 公

司生产的 CSK50。

1.2 试验方法

1.2.1 扫描电镜标本的制备及观察

取红彩真猎蝽雌、雄性成虫各 20 头, 分别放入盛有浓度为 70% 酒精的培养皿中, 在体视镜下用超薄刀片切取触角、口器及前足, 分别装于 0.5 mL pH 7.2 的 4% 戊二醇溶液的离心管中, 做好标记; 分别加入 75% 磷酸缓冲液 0.5 mL 至每个离心管, 离心 1 ~ 1.5 min; 用吸管将磷酸缓冲液和戊二醇固定液混合液吸去, 加入 75% 磷酸缓冲液 1 mL 清洗 3 遍, 每遍 10 min; 最后加入 0.5 mL pH 7.2 的 4% 戊二醇溶液固定, 第 2 天备用。

将前一天初步处理的样品分别用 75% 磷酸缓冲液于通风橱中漂洗 3 次, 每次 10 min。将样品放入 1% 锇酸固定液固定 30 min, 然后用 75% 磷酸缓冲液于通风橱中漂洗 2 次, 每次 10 min。接着用乙醇进行梯度脱水, 梯度浓度分别为 30%、50%、70%、90%、100%, 其中, 在 70%、90% 浓度中各脱水一次, 其余浓度各脱水 2 次。脱水后, 在通风橱内用醋酸异戊二酯置换 2 次, 每次 15 min。置换后取出样品, 放入滤纸折成的小干燥盒内, 将小干燥盒放入临界点干燥器中进行干燥 3 h。干燥后, 用解剖针取下各样品, 将触角按背面、腹面和侧面 3 个角度贴于粘有双面胶带的铜制样台上面, 经 IB.5 型离子溅射仪喷金, 置于 Nova NanoSEM 430 扫描电镜下观察、拍照, 观察时加速电压为 20 KV。

1.2.2 数值计量方法

各类型感受器的数量直接在扫描电镜下观察计数, 感受器的基部直径、整体长度利用游标卡尺测出数值, 通过缩放比例换算出实际值。

2 结果与分析

2.1 红彩真猎蝽触角的基本结构

红彩真猎蝽成虫触角呈丝状, 从基部至端部共 4 节, 均为黑色, 直径为 91 ~ 98 μm 。第 1 节至第 4 节长度分别为 3.2 ~ 3.8 mm、1.3 ~ 1.6 mm、1.3 ~ 1.6 mm 和 3.3 ~ 3.9 mm。

2.2 红彩真猎蝽触角感受器的类型

通过扫描电镜观察发现, 红彩真猎蝽成虫触角上具有 4 种类型感受器, 分别为毛形感受器 (Sensilla Trichodea, ST)、刺形感受器 (Sensilla Chaetica, SC)、锥形感受器 (Sensilla Basiconica, SB) 和腔锥形感受器 (Sensilla Coeloconica, COE), 感受器的类型和数量从第 1 节至第 4 节逐步增加, 其中第 4 节即末节的类型与种类最为丰富。雌、雄性成虫触角感受器的类型、数量和分布相似 (图 1)。

①毛形感受器 (ST): 呈毛状突起, 主要分布在红彩真猎蝽触角的第 3~4 节, 是数量最多的一类感受器。按具体形状和长度差异可分为 I 型 (ST I)、II 型 (ST II) 和 III 型 (ST III)。

毛形感受器 I 型 (ST I): 外形细长弯曲, 基部稍膨大, 端部尖细, 表面具纵纹, 主要分布在触角第 4 节末端 (图 1-B)。雌性成虫基部直径为 1.80~2.00 μm , 长度为 51.10~53.10 μm ; 雄性成虫基部直径为 1.83~2.02 μm , 长度为 49.24~53.02 μm 。

毛形感受器 II 型 (ST II): 基部膨大侧扁, 由基部至顶端逐渐变细, 表面具纵纹, 前倾呈 30°~45°角, 主要分布在触角第 3~4 节 (图 1-D)。雌性成虫基部直径为 3.57~3.98 μm , 长度为 34.18~39.59 μm ; 雄性成虫基部直径为 3.00~3.19 μm , 长度为 37.77~41.41 μm 。

毛形感受器 III (ST III): 竖直挺立于触角表面, 基部附近表皮下陷形成一个圆形凹腔, 凹腔边缘隆起, 感受器表面光滑, 整体较细长, 长度约为 I 型与 II 型感受器的 3~4 倍, 排成一列分布于触角第 2 节 (图 1-A)。雌性成虫基部直径为 2.00~2.33 μm , 长度为 141.00~164.67 μm ; 雄性成虫基部直径为 2.38~2.63 μm , 长度为 153.00~155.25 μm 。

②刺形感受器 (SC): 外形刚直如刺, 基部有臼状窝, 端部钝圆, 表面具纵向条纹, 触角各节均有分布。根据具体形状差异可分为 I 型 (SC I)、II 型 (SC II) 和 III 型 (SC III)。

刺形感受器 I 型 (SC I): 整体呈细圆柱形, 由基部向端部逐渐变细, 端部圆钝, 前倾呈 45°~60°角, 主要分布在触角第 1 节端部与第 2 节基部区域, 数量多 (图 1-A)。雌性成虫基部直径约为 4.00~4.87 μm , 长度为 44.66~49.33 μm ; 雄

性成虫基部直径约为 3.25~4.05 μm , 长度为 35.40~44.00 μm 。

刺形感受器 II 型 (SC II): 形状与 SC I 相似, 但端部斜切, 较尖锐, 主要分布于触角第 3~4 节, 其中第 4 节末端分布较为密集 (图 1-B)。雌性成虫基部直径为 3.64~4.20 μm , 长度为 44.54~48.4 μm ; 雄性成虫基部直径为 3.67~4.30 μm , 长度为 45.00~53.33 μm 。

刺形感受器 III (SC III): 紧贴着触角表面匍匐向前, 与 SC I、SC II 相比, 形态短小 (图 1-C), 主要分布在触角第 2 节与第 3 节末端, 数量较少。雌性成虫基部直径为 1.62~2.20 μm , 长度为 9.17~16.20 μm ; 雄性成虫基部直径为 2.10~2.55 μm , 长度为 10.80~14.00 μm 。

③锥形感受器 (SB): 散生于触角上, 为小圆锥体或乳状突, 锥体基部着生处的表皮略凹, 锥体顶端钝圆, 根据表面是否具纵纹分为 I 型与 II 型。

锥形感受器 I 型 (SB I): 锥体表面具纵纹, 触角各节表面均有分布, 但第 3 节与第 4 节端部数量较多 (图 1-G)。雌性成虫基部直径为 1.67~1.74 μm , 长度为 7.43~9.28 μm ; 雄性成虫基部直径为 1.64~1.95 μm , 长度为 8.90~9.45 μm 。

锥形感受器 II (SB II): 锥体表面光滑, 前倾呈 30°~45°角, 主要分布在触角第 1 节与第 2 节的端半部 (图 1-H)。雌性成虫基部直径为 1.69~1.77 μm , 长度为 5.60~7.31 μm ; 雄性成虫基部直径为 3.45~3.61 μm , 长度为 11.34~12.51 μm 。

④腔锥形感受器 (COE): 基部着生于由触角表皮下陷而形成的一个圆形腔穴中, 腔穴的中心有一直立感觉锥。腔锥形感受器主要分布在触角第 1 节, 数量极少。根据形态差异可分为 I 型 (COE I) 与 II 型 (COE II)。

腔锥感受器 I 型 (COE I): 感觉锥着生于由表皮两次内陷形成的腔穴中, 锥体不突出腔穴, 感觉锥端部平面具褶皱, 腔穴外径约 8.48 μm (图 1-E)。

腔锥感受器 II 型 (COE II): 感觉锥着生于圆形深腔中, 锥体突出腔体, 感觉锥端部表面具褶皱, 中央有一小孔, 基部直径约为 0.99 μm (图 1-F)。

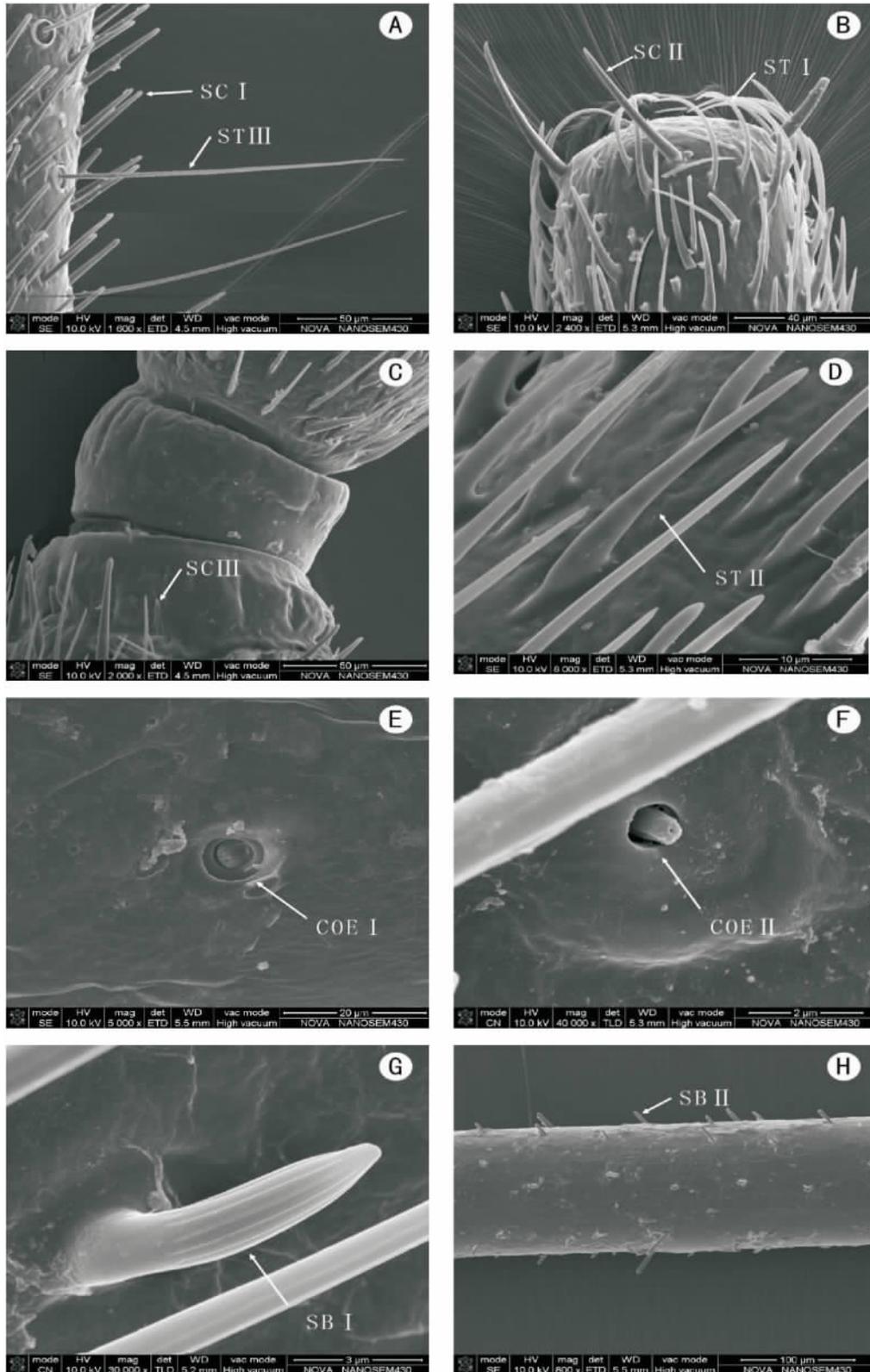


图1 红彩真猎蝽成虫触角感受器

Fig. 1 Antennal sensillae of adult *Harpactor fuscipes*

注: ST I、ST II、ST III 分别为毛形感受器 I 型、II 型、III 型; SC I、SC II、SC III 分别为刺形感受器 I 型、II 型、III 型; SB I、SB II 分别为锥形感受器 I 型、II 型; COE I、COE II 分别为腔锥形感受器 I 型、II 型。Note: ST I, ST II and ST III are type I, II and III of Sensilla Chaetica; SC I, SC II and SC III are type I, II and III of Sensilla Trichodea; SB I and SB II are type I and II of Sensilla Basiconica; COE I and COE II are type I and II of Sensilla Coeloconica.

2.3 红彩真猎蝽喙的感受器形态特征

红彩真猎蝽成虫口器由口针和喙组成, 其中由下唇形成的喙(共3节)将口针包藏其中, 喙的背面中央有一条纵向凹槽。本实验主要观察了位于喙末端的感受器类型。扫描电镜观察发现, 红彩真猎蝽成虫喙末端上具有3类感受器, 分别为毛形感受器(Sensilla Trichodea, ST)、刺形感受器(Sensilla Chaetica, SC)和锥形感受器(Sensilla Basiconica, SB)(图2)。

①毛形感受器(ST): 位于喙顶端中央及周围, 沿喙的凹槽为对称轴呈对称分布, 感受器细长略弯, 由基部至顶端逐渐变细, 表面具纵纹。基部直径为 $1.67 \sim 1.74 \mu\text{m}$, 长度为 $93.25 \sim 120.25 \mu\text{m}$ (图2-A)。

②刺形感受器(SC): 外形如刺, 均匀分布在

喙的顶端, 根据形态差异分为I型与II型。

刺形感受器I型(SC I): 基部着生于凹陷的基窝中, 由基部至端部逐渐变细, 顶端尖锐, 前倾呈 $30^\circ \sim 45^\circ$ 角, 表面具纵纹, 喙的各节均有分布。基部直径为 $2.02 \sim 2.96 \mu\text{m}$, 长度为 $24.06 \sim 29.70 \mu\text{m}$ (图2-A)。

刺形感受器II型(SC II): 感受器基部直立于凹陷的腔穴中, 由基部至端部逐渐变细, 在距端部约 $1/4$ 处呈 90° 弯曲向前, 表面光滑。基部直径为 $2.82 \mu\text{m}$, 长度为 $18.55 \sim 18.95 \mu\text{m}$ (图2-B)。

③锥形感受器(SB): 呈小圆锥体, 基部着生处表面凹陷, 顶端钝圆, 密集分布于喙的顶端, 数量较多, 根据外部形态特征差异分为I型、II型与III型。

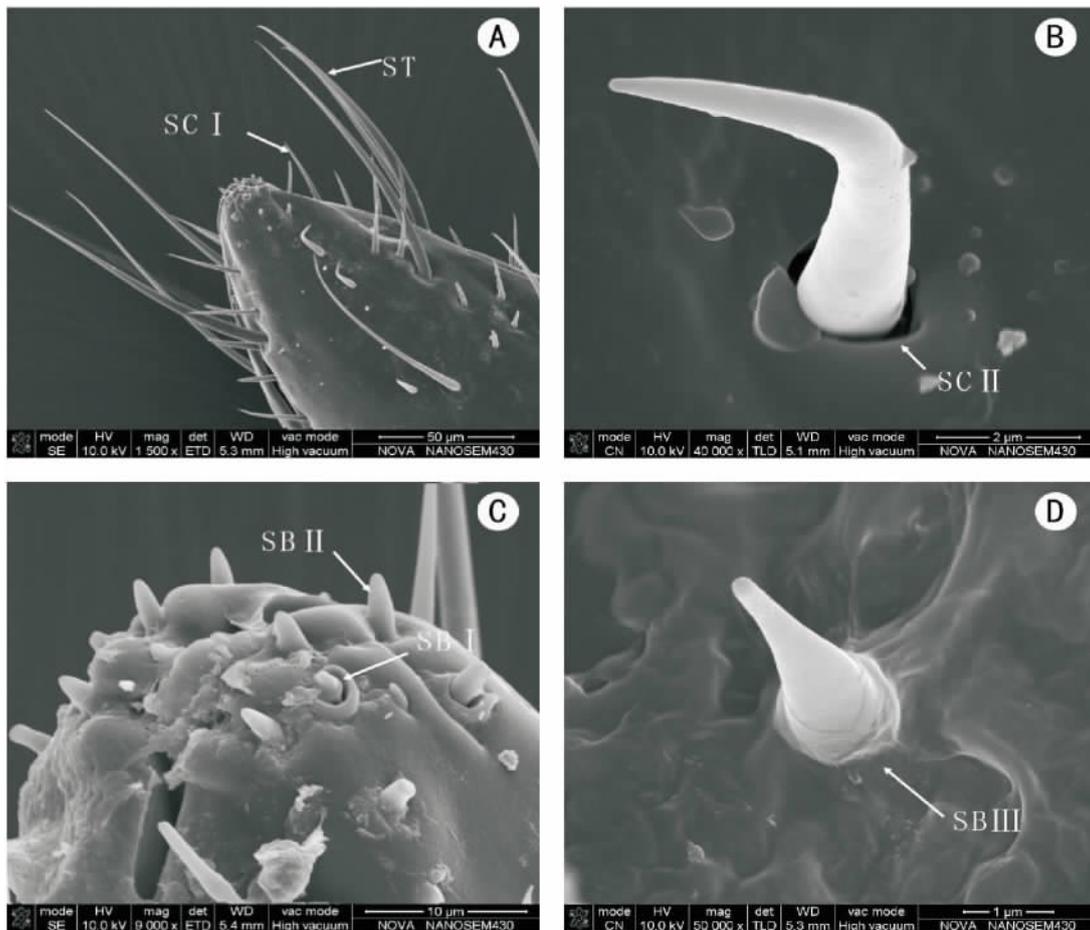


图2 红彩真猎蝽成虫喙感受器

Fig. 2 Sensillae on the rostral apex of adult *Harpactor fuscipes*

注: ST, 毛形感受器; SC I、SC II 分别为刺形感受器 I 型、II 型; SB I、SB II、SB III 分别为锥形感受器 I 型、II 型、III 型。Note: ST, Sensilla Chaetica; SC I and SC II are type I and II of Sensilla Trichodea; SB I, SB II and SB III are type I, II and III of Sensilla Basiconica.

锥形感受器 I 型 (SB I): 基部着生于凸起的圆形凹腔中, 锥体短小, 约 1/2 锥体凸出凹腔, 锥体表面光滑。圆形凹腔直径为 1.68 ~ 1.71 μm , 锥体长度为 3.20 ~ 3.71 μm (图 2 - C)。

锥形感受器 II 型 (SB II): 感受器基部着生处浅凹, 末端钝圆, 锥体表面光滑。基部直径为 1.41 ~ 1.86 μm , 长度为 3.20 ~ 4.59 μm (图 2 - C)。

锥形感受器 III 型 (SB III): 基部着生处浅凹, 基部膨大粗壮, 末端钝圆, 锥体表面光滑。基部直径为 0.82 ~ 0.84 μm , 长度为 2.71 ~ 2.87 μm (图 2 - D)。

2.4 红彩真猎蝽成虫前足跗节感受器的形态特征

红彩真猎蝽雌、雄性成虫前足跗节为 3 节, 本研究主要观察了前足跗节末节 (第 3 节) 及前跗节上的感受器类型。扫描电镜观察发现, 红彩真猎蝽成虫的前足跗节第 3 节上具有 2 种类型的感受器, 分别为刺形感受器 (Sensilla Chaetica, SC) 和锥形感受器 (Sensilla Basiconica, SB); 前跗节侧爪中央具两个刺形感受器 (图 3)。

①刺形感受器 (SC): 在前足跗节末节大量分布, 其中跗节背部分布稀疏, 腹面密集, 根据形态差异可分为 I 型、II 型与 III 型。

刺形感受器 I 型 (SC I): 外形刚直如刺, 前倾呈 60°角, 基部具可活动的环形基窝, 表面有纵向条纹。基部直径为 4.21 ~ 5.80 μm , 长约 66.20 ~ 132.30 μm (图 3 - A)。

刺形感受器 II 型 (SC II): 形态与刺形感受器 I 型相似, 但顶端稍弯。基部直径为 2.60 ~ 3.61 μm , 长度为 52.61 ~ 58.80 μm , 比刺形感受器 I 型短 (图 3 - B)。

刺形感受器 III 型 (SC III): 形态与刺形感受器 I 型、II 型相似, 前倾呈 30°角, 末端尖细。基部直径为 3.40 ~ 3.60 μm , 长度为 37.41 ~ 48.08 μm , 比刺形感受器 II 型短 (图 3 - B)。

②锥形感受器 (SB): 小圆锥形, 主要分布于跗节腹面, 根据形态差异可分为 I 型、II 型、III 型与 IV 型。

锥形感受器 I 型 (SB I): 基部着生于由表皮隆起形成的圆形凹穴中, 锥体顶端钝圆, 锥体表面光滑。基部直径为 1.61 ~ 1.82 μm , 长度为 5.62 ~ 6.91 μm (图 3 - C)。

锥形感受器 II 型 (SB II): 着生于前跗节侧爪中央, 数量较少, 仅发现 2 个。感受器基窝呈圆

形凸出, 窝缘棱线明显, 锥体直立, 尖端钝圆。基部直径为 8.40 ~ 8.80 μm , 长度为 34.04 ~ 42.60 μm (图 3 - D)。

锥形感受器 III 型 (SB III): 主要分布在跗节腹面, 数量较多。感受器基部凹陷, 距基部起四分之一处沿纵轴轻度弯曲, 锥体表面光滑。基部直径为 1.75 ~ 1.91 μm , 长度为 5.01 ~ 5.28 μm (图 3 - D)。

锥形感受器 IV 型 (SB IV): 锥体基部被腔穴包藏, 中部膨大, 末端圆尖, 表面光滑, 整体形如花蕾。基部直径为 2.84 μm , 长度为 11.32 μm (图 3 - E)。

3 结论与讨论

本研究在红彩真猎蝽触角上共发现 4 种类型的感受器, 分别为毛形感受器、刺形感受器、锥形感受器和腔锥形感受器。毛形感受器是大部分昆虫触角上分布最广、数量最多的感受器, 具有感受机械刺激、识别化学信息物质的功能 (Lmaas & Mustaparta, 1991)。如一些昆虫触角上的毛形感受器对气流的压力变化很敏感, 使得其能在黑暗中飞行不致碰撞 (彩万志等, 2001)。鳞翅目蛾类在飞行时总是用触角无鳞区面向前方, 无鳞区分布有大量的毛形感受器, 使其能高效地吸附周围空气中的气味分子 (吴才宏, 1993; 马瑞燕和杜家纬, 2000)。大豆蚜 *Aphis glycines* Matsumura 触角的毛形感受器则能感知植物表面的萜烯类化合物 (杜永均等, 1995)。刺形感受器则是一种典型的触感器, 具有感受机械刺激的功能 (Schneider, 1964; Kaissling, 1986; 杜永均等, 1995; Gazit *et al.*, 1996)。锥形感受器一般散生于触角, 比毛形感受器短且数量少。超微结构研究表明, 锥形感受器表面具有众多小孔, 内部具丰富的神经细胞, 神经细胞端突末梢形成微细胞树状突分支分布至表皮四壁的微孔或微管内, 具有识别气味的能力, 是一种嗅觉感受器 (Zacharuk, 1980; 王桂荣等, 2002)。腔锥形感受器是一类具孔感觉锥位于表皮凹陷腔穴中的感受器, 具有感受二氧化碳、湿度变化、植物或猎物气味等作用 (Schneider, 1964; Zacharuk, 1980; Ochieng *et al.*, 2000; Bleeker *et al.*, 2004; 金鑫等, 2004)。结合红彩真猎蝽的捕食行为可以推测, 具嗅觉功能的锥形

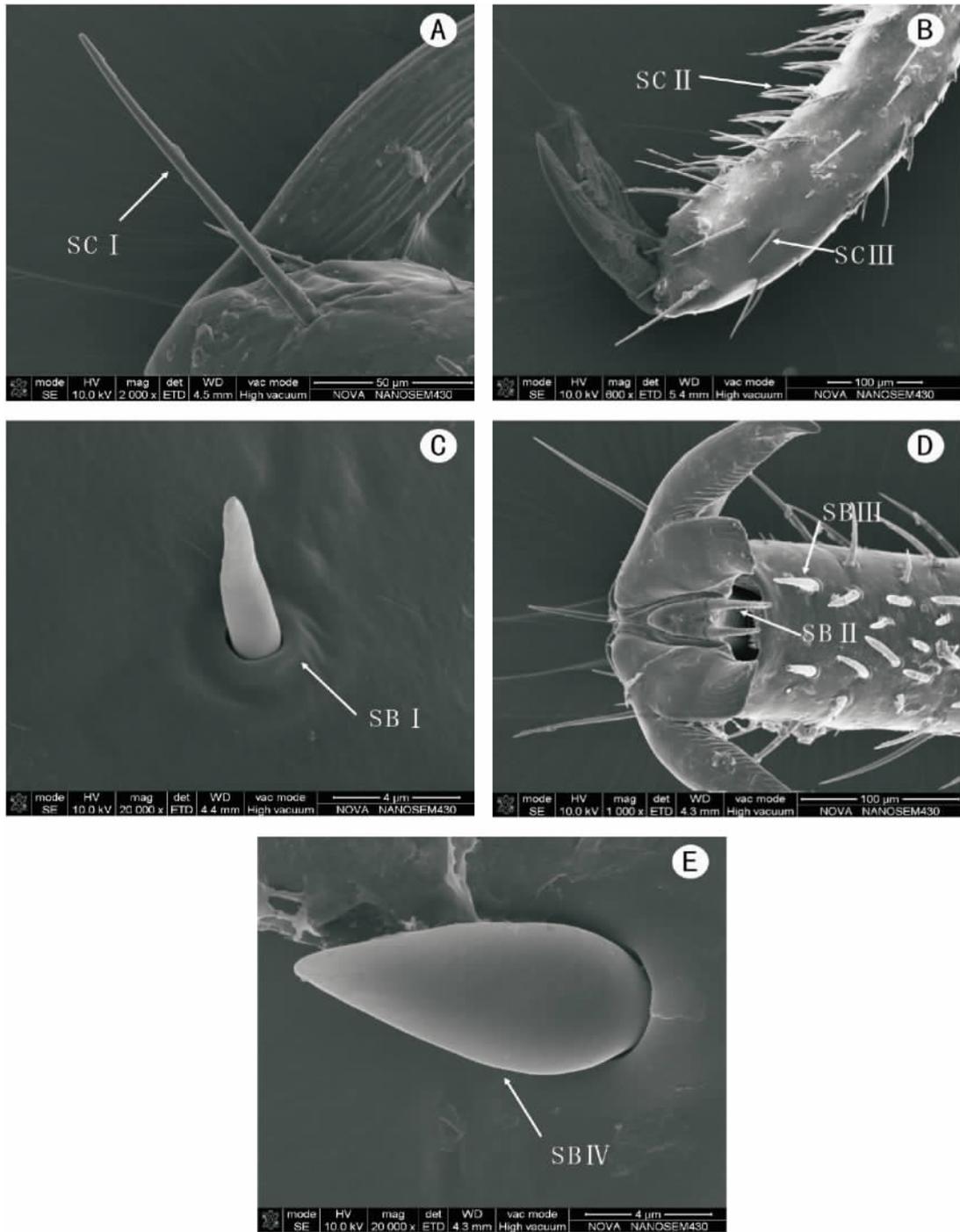


图3 红彩真猎蝽成虫前足跗节感受器

Fig. 3 Sensillae on the protarsus of adult *Harpactor fuscipes*

注：SC I、SC II、SC III分别为刺形感受器 I 型、II 型、III 型；SB I、SB II、SB III、SB IV 分别为锥形感受器 I 型、II 型、III 型、IV 型。Note: SC I, SC II and SC III are type I, II and III of Sensilla Chaetica; SB I, SB II, SB III and SB IV are type I, II, III and IV of Sensilla Basiconica.

感受器与腔锥形感受器在红彩真猎蝽对猎物的搜寻与定位过程中起关键作用，而毛形感受器与刺形感受器可以在其接触猎物时判断猎物的适合度。

红彩真猎蝽口器上的感受器主要集中分布于

喙的末端，共发现 3 种类型的感受器，分别为毛形感受器、刺形感受器和锥形感受器。在红彩真猎蝽的捕食过程中，其主要通过口器对猎物进行刺探，推测具触感功能的毛形感受器与刺形感受

器可用于判断猎物的质地 (如软硬程度等), 具嗅觉功能的锥形感受器可能用于检测猎物表面的化学分泌物、湿度等信息以确定是否适宜取食

红彩真猎蝽前足跗节存在大量的刺形感受器和少量的锥形感受器, 且主要分布于跗节的腹面, 结合两类感受器的功能, 可以推测, 具触感的刺形感受器能够感受其附着物的轻微震动, 以近距离确定猎物的位置; 而具嗅觉功能的锥形感受器可以检测植物表面的化学物质以及与猎物直接相关的信息物质 (如猎物的唾液、粪便、躯体分泌物等), 以确定猎物的活动范围与适合度。

参考文献 (References)

- Bleeker MAK, Smid HM, van Aelst AC, *et al.* Antennal sensilla of two parasitoid wasps: A comparative scanning electron microscopy study [J]. *Microscopy Research and Technique*, 2004, 63: 266 - 273.
- Cai WZ, Pang XF, Hua BZ, *et al.* General Entomology [M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2001: 37 - 40. [彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 等. 普通昆虫学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001: 37 - 40]
- Deng HB, Wang Z, Wu WB, *et al.* Predation of *Harpactor fuscipes* on *Heficoverpa assulta* and *Spodoptera litura* [J]. *Journal of Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39 (13): 107 - 109. [邓海滨, 王珍, 吴文斌, 等. 红彩真猎蝽对斜纹夜蛾和烟青虫的捕食功能反应 [J]. 广东农业科学, 2012, 39 (13): 107 - 109]
- Du YJ, Yan FS, Tang J. Structure and function of olfactory sensilla on the antennae of soybean aphids, *Aphis glycines* [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 1995, 38 (1): 1 - 7. [杜永均, 严福顺, 唐觉. 大豆蚜触角嗅觉感器结构及其功能 [J]. 昆虫学报, 1995, 38 (1): 1 - 7]
- Gazit Y, Lewis WJ, Tumlinson JH. Arrestment of *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae) by a kairomone associated with eggs of its host, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Biological Control*, 1996, 6 (2): 283 - 290.
- Jin X, Zhang SG, Zhang L. Ultrastructure of four types of antennal sensilla in *Locusta migratoria manilensis* (Insecta: Orthoptera) [J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2004, 12 (3): 300 - 305. [金鑫, 张善干, 张龙. 东亚飞蝗四种类型的触角感器超微结构 (昆虫纲, 直翅目) [J]. 农业生物技术学报, 2004, 12 (3): 300 - 305]
- Kaissling KE. Chemo-electrical transduction in insect olfactory receptors [J]. *Annual Review of Neuroscience*, 1986, 9: 121 - 145.
- Li Z, Chen L. Application of antennal sensilla characters in insect taxonomy [J]. *Entomotaxonomia*, 2010, S1: 113 - 118. [李竹, 陈力. 触角感器特征应用于昆虫分类的研究进展 [J]. 昆虫分类学报, 2010, S1: 113 - 118]
- Lmaas TJ, Mustaparta H. *Heliothis virescens*: Response characteristics of receptor neurons in sensilla trichodea type I and type II [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1991, 17 (5): 953 - 972.
- Ma RY, Du JW. Antennal sensilla of insects [J]. *Entomological Knowledge*, 2000, 37 (3): 179 - 182. [马瑞燕, 杜家纬. 昆虫的触角感器 [J]. 昆虫知识, 2000, 37 (3): 179 - 182]
- Na J, Yu WX, Li YP. Types and physiological ecology significance of insect antenna sensilla [J]. *Journal of Shenyang Normal University (Natural Science)*, 2008, 26 (2): 213 - 216. [那杰, 于维熙, 李玉萍. 昆虫触角感器的种类及其生理生态意义 [J]. 沈阳师范大学学报 (自然科学版), 2008, 26 (2): 213 - 216]
- Ochieng SA, Park KC, Zhu JW, *et al.* Functional morphology of antennal chemoreceptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. *Arthropod Structure & Development*, 2000, 29: 231 - 240.
- Schneider D. Insect antennae [J]. *Annual Review of Entomology*, 1964, 9: 103 - 122.
- Wang GR, Guo YY, Wu KM. Observation on the ultrastructures of antennal sensilla in *Helicoverpa armigera* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (12): 1479 - 1482. [王桂荣, 郭予元, 吴孔明. 棉铃虫触角感器的超微结构观察 [J]. 中国农业科学, 2002, 35 (12): 1479 - 1482]
- Wu JW, Cai WZ, Hou TQ. Tobacco Insect Species and Integrated Pest Management in China [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2003: 129. [吴钜文, 彩万志, 侯陶谦. 中国烟草昆虫种类及害虫综合治理 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 129]
- Yan FM. Chemical Ecology [M]. Beijing: Science Press, 2003: 1 - 32. [阎凤鸣. 化学生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1 - 32]
- Zacharuk RY. Ultrastructure and function of insect chemosensilla [J]. *Annual Review of Entomology*, 1980, 25: 27 - 47.