

张玉波,史娅琴,施渺筱. 狭带条胸蚜蝇触角感受器的扫描电镜观察[J]. 江苏农业科学,2018,46(6):87-90.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.06.022

狭带条胸蚜蝇触角感受器的扫描电镜观察

张玉波^{1,2}, 史娅琴¹, 施渺筱¹

(1. 安顺学院农学院, 贵州安顺 561000; 2. 贵州省昆虫信息系统开发与资源利用重点实验室, 贵州安顺 561000)

摘要:为明确狭带条胸蚜蝇(*Helophilus virgatus* Coquillett, 双翅目食蚜蝇科)触角及感觉器的外部形态特点。利用扫描电镜对狭带条胸蚜蝇雌、雄成虫触角进行亚显微结构观察分析,狭带条胸蚜蝇触角呈具芒状,共 3 个单节,分别是柄节、梗节和鞭节。触角上着生 6 种感器,分别是毛形感器 I、毛形感器 II、锥形感器 I、锥形感器 II、刺形感器和 Böhm 氏鬃毛。毛形感器是狭带条胸蚜蝇的主要感器类型,除刺形感器在雌、雄个体之间分布存在差异外,其他类型触角感器结构、长度和分布均无明显性别差异。

关键词:狭带条胸蚜蝇;触角感受器;昆虫;扫描电镜;超微结构

中图分类号: S763.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)06-0087-04

触角是昆虫感受气味、性信息素和物理刺激的重要感觉器官,是昆虫个体感知内外环境变化,进行化学通信信息接收装置,与神经系统一起调节昆虫行为^[1-4]。研究表明,昆虫搜索生境、定位寄主、识别寄主、取食、觅偶、交配、繁殖、栖息、防

收稿日期:2017-07-17

基金项目:贵州教育厅黔教合人才团队(编号:201571);贵州省教育厅重点项目(编号:黔教合 KY 字 2014271);贵州省科技厅三方联合基金(编号:黔科合 LH 字 20157689)。

作者简介:张玉波(1978—),男,山东济宁人,博士,副教授,从事节肢动物分类研究。E-mail:38615157@qq.com。

通信作者:施渺筱,硕士,教授,从事生物化学及微生物学研究。E-mail:792356990@qq.com。

培养基是 PDA + 玉米绿叶煎汁培养基;最适的氮源是 L-缬氨酸和甘氨酸;20~30℃ 为菌丝生长较适宜的温度范围,其中 30℃ 时菌落直径最大,是最适宜菌丝生长的温度;病原菌对酸碱度适应范围较广,pH 值为 5 时菌丝生长最好;光照对菌丝生长几乎没有影响,但长时间的光照更有利于菌丝生长。

White 等对参试链格孢菌生物学特性的试验结果发现,最适合菌丝体生长的培养基为 PDA + 玉米绿叶煎汁、PDA^[7],这与阎合研究的链格孢菌在 PDA 上生长较快^[8]一致;最适宜菌丝生长的氮源是甘氨酸、L-缬氨酸、L-精氨酸、NaNO₃、L-丝氨酸,此结果与魏薇的研究结果^[9]基本一致,本研究数据显示以甘氨酸、L-缬氨酸为氮源的培养基更适合菌丝生长,但与 NaCO₃ 差异不明显。最适 pH 值为 5,总体上 C22 菌株对酸碱度适应范围较广,但在 pH 值为 10、11 的偏碱性条件下菌丝生长速率没有下降,反而略有提高的结果与吴新颖对链格孢叶斑病的研究结果^[10]不完全一致。光照条件对菌丝生长有一定的刺激性,但差异不明显,总体上光照更有利于菌丝生长。菌丝生长的适宜温度为 20~30℃,且 30℃ 时菌丝生长速率最大,与吴新颖的研究结果^[10]一致。通过对玉米链格孢菌 C22 菌株生物学特性的研究,为阐明病菌生长和环境条件的关系,进一步解释玉米链格孢叶斑病的发生和发展

御与迁移等行为主要是通过触角上着生的大量不同种类的感器来实现的^[5-6]。研究发现,昆虫触角感器种类繁多,其分布、形态和功能各不相同,对昆虫触角感器研究可以为探明昆虫的行为学机制提供理论依据^[7-8]。狭带条胸蚜蝇(*Helophilus virgatus* Coquillett)属于双翅目(Diptera)食蚜蝇科(Syrphidae)条胸蚜蝇属(*Helophilus* Meigen),是茶蚜、大豆蚜、麦蚜、棉蚜等蚜虫的天敌昆虫,分布于我国(北京、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、江西、湖北、湖南、广西、四川、云南、西藏、陕西)、原苏联(远东)、日本(北海道)等地^[9]。近几年,利用食蚜蝇开展害虫综合治理逐渐成为研究热点^[10-12]。目前对食蚜蝇科昆虫触角感器的报道较少,仅有栾添等发现,吉林省长白山山区管蚜蝇属(*Eristalis* Latreille)访花食蚜蝇具有 2 种

规律提供了重要依据。

参考文献:

- [1] 蒋乃华. 从国际玉米市场态势看中国玉米经济发展策略[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2002(3):22-25.
- [2] 杨虎. 20 世纪玉米种业发展研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
- [3] 董金泉,邓福友,王春芬,等. 我国玉米大斑病菌生理小种的温度效应研究[J]. 植物保护学报,1996,23(4):305-309.
- [4] 李继平,苓强,李敏权,等. 玉米叶点霉叶斑病菌生物学特性[J]. 植物保护学报,2013,40(4):383-384.
- [5] 周舒扬,汪春蕾,乔志新. 玉米链格孢菌叶枯病原菌的分子鉴定[J]. 中国农学通报,2010,6(11):261-263.
- [6] 孙霞. 链格孢属真菌现代分类方法研究[D]. 泰安:山东农业大学,2006.
- [7] White T J, Bruns T, Lee S, et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics[M]. San Diego: Academic Press, 1990:315-322.
- [8] 阎合. 甘草链格孢叶斑病研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2009.
- [9] 魏薇. 小薊叶片上链格孢菌的研究[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学,2008.
- [10] 吴新颖. 万寿菊链格孢叶斑病研究[D]. 长春:吉林农业大学,2006.

毛型感受器^[13]。本研究利用扫描电镜对狭带条胸蚜蝇雌、雄成虫触角形态特征、传感器类型、分布情况等进行研究,以便于了解其化学感受器,为进一步开展基于狭带条胸蚜蝇行为学、电生理技术以及利用其进行生物防治研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

于 2016 年 6 月至 2017 年 3 月在贵州省安顺市西秀区采集狭带条胸蚜蝇成虫。将其制作成标本,经鉴定后固定保存于贵州省昆虫信息系统开发与资源利用重点实验室。

1.2 扫描电镜样品制备方法

从标本中随机选取雌、雄成虫各 6 头,在体视镜下用解剖刀和解剖针将触角切下,用 70% 乙醇溶液浸泡,超声波清洗仪清洗 30 s 后,依次用 80%、90%、95%、100% 的乙醇溶液逐级脱水各 15 min,自然干燥 24 h。将触角在体视镜下固定于贴有双面导电胶带的扫描电镜样品台上,并放于真空喷漆仪 SBC-12 内溅射喷金,喷金结束后于扫描电子显微镜 [TESCAN(VEGA3)] 下观察、测量并拍照。加速电压为 10 kV。触角感器长度及基部宽度使用扫描电镜自带软件 VegaTC 测量,每种感器测量 15 个,分别从雌、雄成虫个体触

1.3 数据处理

角上随机选取。采用 Photoshop 6.0 软件标注图像中触角感器名称,采用软件 SPSS 22.0 计算平均值和标准差,并进行差异显著性分析。狭带条胸蚜蝇触角感器类型鉴定和命名参照 Schneider 等的鉴定方法^[14-15]。

2 结果与分析

2.1 狭带条胸蚜蝇触角整体形态

狭带条胸蚜蝇雌、雄成虫触角呈具芒状,着生于中颜板环形臼状窝处,由柄节(scape,简称 SC)、梗节(pedicel,简称 PE)和鞭节(flagellum,简称 FL)组成,3 节均为单节。鞭节较柄节和梗节粗大,在鞭节背面处具有芒状触角芒结构(Apical arista,简称 Aa),雌、雄触角芒均由 2 个亚节(Aa I 和 Aa II)组成(图 1-A、1-B)。雌、雄成虫个体触角总长度(不含触角芒)分别为(818.30±50.48)μm 和(907.56±31.77)μm,雌、雄成虫触角长度相比无明显差异。雌、雄触角柄节长度分别为(193.54±32.11)μm 和(236.34±10.91)μm;梗节长度分别为(265.93±17.24)μm 和(257.81±16.32)μm;鞭节长度分别为(358.83±52.00)μm 和(413.41±22.45)μm;触角芒总长度分别为(969.44±65.54)μm 和(873.46±39.06)μm,Aa I 长度分别为(17.95±2.21)μm 和(17.95±3.95)μm,Aa II 长度分别为(951.49±46.52)μm 和(855.51±35.67)μm(表 1)。

表 1 狭带条胸蚜蝇触角各亚节长度

性别	柄节	梗节	鞭节	触角芒			触角全长 (不含触角芒)
				Aa I	Aa II	Aa I + Aa II	
雌	193.54±32.11	265.93±17.24	358.83±52.00	17.95±2.21	951.49±46.52	949.44±65.54	818.30±50.48
雄	236.34±10.91	257.81±16.32	413.41±22.45	17.95±3.95	855.51±35.67	873.46±39.06	907.56±31.77

2.2 触角感器类型、形态特征与分布

利用扫描电镜观察狭带条胸蚜蝇触角上共着生有 6 种感器,分别为刺形感器(sensilla chaetica,简称 SC)、毛形感器 I(sensilla trichodea I)、毛形感器 II(sensilla trichodea II)、锥

形感器 I(sensilla basiconica I)、锥形感器 II(sensilla basiconica II)和 Böhm 氏鬃毛(Böhm's bristles)。各触角感器形态比较如表 2 所示。

表 2 狭带条胸蚜蝇触角不同感器类型的形态特征

感器类型	长度 (μm)	宽度 (μm)	外壁	顶端	总体形状	基座
刺形感器	69.79±13.18	6.43±0.84	纵向沟纹	钝或尖利	钢直粗壮	螺纹的臼状窝
锥形感器 I	5.30±0.60	3.90±0.61	光滑	钝	圆锥状	表皮凹陷
锥形感器 II	18.78±1.72	10.75±1.71	纵向沟纹	尖细	锥形	环纹臼状窝
毛形感器 I	6.89±1.53	0.76±0.37	光滑	尖细	弓形	微陷
毛形感器 II	4.88±0.69	1.07±0.32	光滑	尖细	基部膨大明显	微陷
Böhm 氏鬃毛	1.26±0.31	0.51±0.05	光滑	钝或尖	短、尖	表皮隆起

注:所有感器长度与基部宽度均为 15 个同类型感器长度和基部宽度的平均值±标准差。

2.3 刺形感器

刺形感器主要分布于雌、雄成虫触角柄节基部,钢直粗壮,其基部光滑,感器表面有纵向沟纹,着生于螺纹的臼状窝中,由基部到端部逐渐变细,少量端部较钝,与触角表面成小于 90°夹角,少量感器中部呈微小弧度弯曲(图 1-C)。雌性簇着生于梗节边角处,雄性在梗节中部环绕一圈刺形感器。雌性个体触角柄节长度为(68.07±9.78)μm,雄性个体触角柄节长为(71.50±16.58)μm,雌性个体触角柄节基部宽度为(6.02±0.96)μm,雄性个体触角柄节基部宽度为(6.84±

0.71)μm。

2.4 锥形感器(sensilla basiconica,简称 SBa)

锥形感器分布于雌、雄成虫触角柄节和鞭节,呈圆锥形,着生于基部臼状窝处。根据其分布情况及形态结构差异将锥形感器分为 2 个亚型:锥形感器 I 和锥形感器 II。

2.4.1 锥形感器 I(SBa I) 锥形感器 I 分布于雌、雄成虫触角鞭节,总体呈圆锥形,基部弯曲或膨大,着生基部表皮凹陷,端部圆钝,外壁光滑,与鞭节表面呈小于 60°夹角朝向触角芒(图 1-D)。雌性个体触角 SBa I 长度为(5.18±

0.35) μm , 雄性个体触角 SBa I 长度为 $(5.41 \pm 0.85) \mu\text{m}$, 雌性个体触角 SBa I 基部宽度为 $(1.88 \pm 0.21) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 SBa I 基部宽度为 $(1.78 \pm 0.25) \mu\text{m}$ 。

2.4.2 锥形感器 II (SBa II) 锥形感器 II 分布于雌、雄成虫触角柄节, 总体呈锥形, 由基部向端部逐渐尖细, 感器表面有纵向条纹, 着生于环纹臼状窝处, 与触角表面约成 60° 夹角 (图 1-E)。雌性个体触角 SBa II 长度为 $(18.47 \pm 1.68) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 SBa II 长度为 $(19.08 \pm 1.75) \mu\text{m}$, 雌性个体触角 SBa II 基部宽度为 $(11.13 \pm 1.78) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 SBa II 基部宽度为 $(10.36 \pm 1.63) \mu\text{m}$ 。

2.5 毛形感器 (sensilla trichodea, 简称 ST)

毛形感器呈长毛状, 无孔, 外壁光滑, 基部微陷, 它是狭带条胸蚜蝇触角上数量最多、分布最广的一类感器, 根据其形态结构差异将毛形感器分成 2 个亚型: 毛形感器 I 和毛形感器 II。

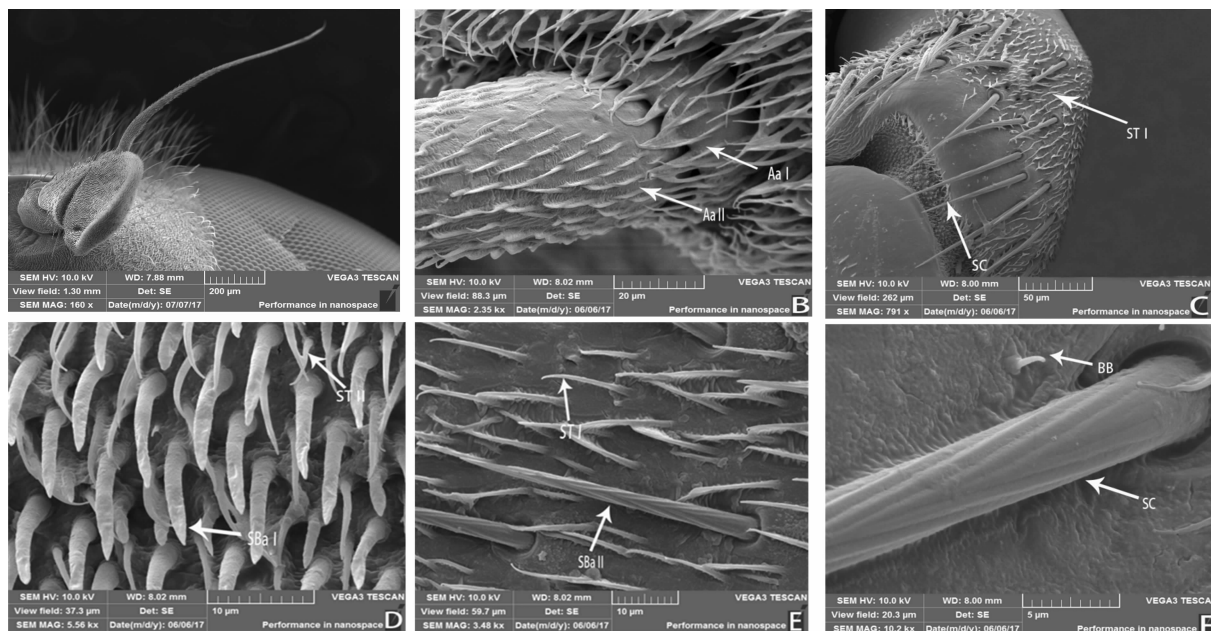
2.5.1 毛形感器 I (ST I) 在雌、雄成虫触角各节均有毛形感器 I 分布, 鞭节最多且直, 少量呈弓形, 由基部向端部逐渐尖细, 与触角表面成约 60° 倾斜 (图 1-E)。雌性个体触角 ST I 长为 $(6.93 \pm 1.37) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 ST I 长度为

$(6.85 \pm 1.68) \mu\text{m}$, 雌性个体触角 ST I 基部宽度为 $(0.76 \pm 0.35) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 ST I 基部宽度为 $(0.75 \pm 0.39) \mu\text{m}$ 。

2.5.2 毛形感器 II (ST II) 毛形感器 II 分布于雌、雄成虫触角鞭节, 表皮光滑, 基部膨大隆起, 短小, 窝基微陷, 少量平贴于触角表面生长, 多数在感器 1/3 处弯曲贴于触角 (图 1-D)。雌性个体触角 ST II 长度为 $(4.87 \pm 0.67) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 ST II 长度为 $(4.89 \pm 0.70) \mu\text{m}$, 雌性个体触角 ST II 基部宽度为 $(1.05 \pm 0.31) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 ST II 基部宽度为 $(1.08 \pm 0.32) \mu\text{m}$ 。

2.6 Böhm 氏鬃毛 (Böhm's bristles, 简称 BB)

Böhm 氏鬃毛分布于雌、雄成虫触角柄节和梗节基部腹面, 鞭节没有此类感器, 表面光滑无纹, 端部尖, 少量端部弯曲, 着生在表皮隆起表面, 与触角表面成小于 90° 夹角 (图 1-F)。雌性个体触角 BB 长度为 $(1.35 \pm 0.21) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 BB 长度为 $(1.32 \pm 0.24) \mu\text{m}$; 雌性个体触角 BB 基部宽度为 $(0.53 \pm 0.05) \mu\text{m}$, 雄性个体触角 BB 基部宽度为 $(0.49 \pm 0.05) \mu\text{m}$ 。



A—触角全貌; B—两节触角芒(Aa I、Aa II); C—触角柄节上的刺形感器(SC); D—锥形感器 I (SBa I)、毛形感器 II (ST II); E—锥形感器 II (SBa II)、毛形感器 (ST I); F—Böhm 氏鬃毛 (BB)、刺形感器 (SC)

图1 狭带条胸蚜蝇的触角扫描电镜观察

3 讨论

本研究首次对狭带条胸蚜蝇进行扫描电镜观察, 结果表明, 狭带条胸蚜蝇共有 6 种触角感器, 分别是刺形感器、Böhm 氏鬃毛、毛形感器 I、毛形感器 II、锥形感器 I 和锥形感器 II, 在狭带条胸蚜蝇雌、雄触角上均有发现这些感器, 除刺形感器在雌、雄成虫个体之间分布存在差异外, 其他感器在雌、雄成虫个体之间结构、长度和分布均无明显差异。

刺形感器主要分布于触角柄节基部, 钢直粗壮, 其基部光滑, 长于其他触角感器, 其形态特征与香樟吉喙象、红缘吉丁等鞘翅目昆虫触角刺形感器相似^[16-17]。研究表明, 刺形感器是感受外界机械刺激的感器, 并且能识别植物气味或寄主挥

发物感器, 具有嗅觉功能, 这可能与感器表面具有纵向沟纹有关^[18]。本研究发现, 狭带条胸蚜蝇刺形感器表面具有纵向条纹, 因此, 推测狭带条胸蚜蝇触角刺形感器也具有感受外界机械刺激的作用。

毛形感器是狭带条胸蚜蝇的主要感器类型, 是数量最多、分布最广的一类感器, 呈长毛状, 无孔, 壁光滑, 基部微陷。研究表明, 毛形感器是昆虫感受信息素的主要器官^[19], 现已报道毛形感器具有触觉、嗅觉、机械感受等功能^[20-23]。已报道的蜚蠊目^[24]、鞘翅目^[17]、半翅目^[25-27]等昆虫中毛形感器呈长毛状, 本研究结果与之相似, 推断毛形感器具有触觉、嗅觉、机械感受等功能。

锥形感器分布于触角梗节和鞭节, 总体呈锥状, 着生于基

部白状窝处。锥形感器是重要的嗅觉感受器官,金鑫等利用扫描电镜和透视电镜观察了东亚飞蝗不同类型触角感受器的超微结构,结果表明,锥形感器表面存在多个树突,增大了接触面积,是一种嗅觉感受器官^[27]。本研究中狭带条胸蚜蝇锥形感器Ⅱ表面具有纵向条纹,增大了触角接触面积,使它有效行使嗅觉功能。锥形感器Ⅰ基部弯曲或基部膨大,感器表面积增大,具有聚结气味分子的作用,由此进一步推测,锥形感器具有嗅觉功能。

Böhm 氏鬃毛着生于狭带条胸蚜蝇的柄节和梗节基部腹面,鞭节不具有此类感器,表面光滑无纹,在已报道的鳞翅目^[28-29]、直翅目^[27]、鞘翅目^[16]等昆虫中 Böhm 氏鬃毛均分布在柄节、梗节或仅分布在柄节,本研究结果与之相似。一般认为,Böhm 氏鬃毛是感受外界重力变化的机械感器,缓冲重力作用力以调控触角位置下降的速度^[22],可以推测狭带条胸蚜蝇 Böhm 氏鬃毛具有感受外界机械刺激的作用。

研究表明,昆虫触角感器类型多样,例如毛形感受器、刺形感受器、锥形感受器、腔形感受器、腔锥形感受器、锥形乳头状感器、棒状感器、柱形感器、栓形感受器、钟形感受器、板形感受器、坛形感受器、Böhm 氏鬃毛、剑梢感受器等^[30],每种昆虫感器种类与分布模式均各不相同,相同类型感器功能也有可能大不相同^[31]。目前对双翅目昆虫触角感器的研究较少,仅有栾添等发现,吉林省长白山区管蚜蝇属(*Eristalis* Latreille)访花食蚜蝇具有 2 种毛型感受器。本研究仅利用扫描电镜观察条胸蚜蝇触角感器外部形态,根据与已报道的其他类群昆虫触角感器进行比较,推测狭带条胸蚜蝇触角感器可能具有的生理功能,而对各类感觉器在感知环境条件、觅食行为中的生理功能和分子机制等更深层次的研究,还需要利用昆虫行为学和电生理学等研究进行进一步验证。

参考文献:

- [1] Ochieng S A, Park K C, Zhu J W, et al. Functional morphology of antennae chemo receptors of the parasitoid *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) [J]. *Arthropod Structure and Development*, 2000, 29(3): 231–240.
- [2] Dolzer J, Fischer K, Stengl M. Adaptation in pheromone-sensitive trichoid sensilla of the hawkmoth *Manduca sexta* [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2003, 206(9): 1575–1588.
- [3] Clyne P, Grant A, O'connell R, et al. Odorant response of individual sensilla on the *Drosophila* antenna [J]. *Invertebrate Neuroscience*, 1998, 3(2/3): 127–135.
- [4] 余海忠. 昆虫触角感受器研究进展 [J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(14): 4238–4240, 4243.
- [5] 那杰, 于维熙, 李玉萍, 等. 昆虫触角感器的种类及其生理生态学意义 [J]. *沈阳师范大学学报(自然科学版)*, 2008, 26(2): 213–216.
- [6] 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, 32(增刊 1): 113–118.
- [7] 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.
- [8] 费仁雷, 李克斌, 肖春, 等. 暗黑鳃金龟触角超微结构 [J]. *植物保护*, 2012, 38(4): 63–67.
- [9] 黄春梅, 成新跃. 双翅目: 食蚜蝇科 [M]//中国动物志昆虫纲:

- 第 50 卷. 北京: 科学出版社, 2012, 107–108.
- [10] 周成松, 韩宝瑜. 茶蚜生态学和防治的研究进展及展望 [J]. *茶叶*, 2002, 28(1): 8–11.
- [11] 曹玉. 黑带食蚜蝇 *Episyrphus balteatus* de Geer 捕食行为生态学的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003.
- [12] 杨静, 龙海, 孙会, 等. 北疆棉区食蚜蝇种类及其生境选择特性 [J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(5): 593–597.
- [13] 栾添, 高毅, 尚利娜, 等. 长白山区 5 种访花食蚜蝇触角感受器的扫描电镜观察 [J]. *吉林农业大学学报*, 2012, 34(1): 42–47.
- [14] Schneider D. Insect antennae [J]. *Annual Review of Entomology*, 1964, 9(1): 103–122.
- [15] Chinta S, Dickens J C, Baker G T. Morphology and distribution of antennal sensilla of the tarnished plant bug, *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) (Hemiptera: Miridae) [J]. *International Journal of Insect Morphology and Embryology*, 1997, 26(1): 21–26.
- [16] 刘玉双, 石福明. 红缘吉丁(鞘翅目: 吉丁虫科)触角感器的扫描电镜观察 [J]. *昆虫学报*, 2005, 48(3): 469–472.
- [17] 顾天滋, 张丛丛, 苏鹏, 等. 香樟齿喙象成虫触角感器的微观特征分析 [J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2017, 41(4): 89–94.
- [18] Kaissling K E. Sensory transduction in insect olfactory receptors [M]// Jaenicke L. *Biochemistry of sensory functions*. Heidelberg: Springer, 1974: 243–273.
- [19] 刘晓梅, 凌冰, 赵旭伟, 等. 黄曲条跳甲触角感器的扫描电镜观察 [J]. *环境昆虫学报*, 2015, 37(1): 68–76.
- [20] 张旭, 蔡波. 泛束盲蝽触角感受器扫描电镜观察 [J]. *生物学通报*, 2013, 48(9): 54–55, 封 3.
- [21] 李秀敏, 任国栋, 王新谱. 蓝绿齿角芫菁异型触角的扫描电镜观察(鞘翅目, 芫菁科) [J]. *河北大学学报(自然科学版)*, 2013, 33(4): 408–412.
- [22] 王娟, 陈红印, 王孟卿, 等. 大草蛉触角感器的扫描电镜观察 [J]. *中国生物防治学报*, 2016, 32(5): 598–603.
- [23] 陆宴辉, 全亚娟, 吴孔明. 绿盲蝽触角感器的扫描电镜观察 [J]. *昆虫学报*, 2007, 50(8): 863–867.
- [24] 肖波, 方宁, 张妍妍, 等. 蜚蠊目(六足总纲, 昆虫纲)八种昆虫触角感受器的扫描电镜观察 [J]. *动物分类学报*, 2009, 34(2): 292–300.
- [25] 乔利, 秦道正, 任红楼, 等. 2 种小绿叶蝉触角化感器的扫描电镜观察 [J]. *西南农业学报*, 2016, 29(1): 85–88.
- [26] 张骏, 邳军锐, 刘曼, 等. 南方小花蝽触角感器的扫描电镜观察 [J]. *环境昆虫学报*, 2014, 36(4): 578–584.
- [27] 金鑫, 张善干, 张龙. 东亚飞蝗四种类型的触角感受器超微结构(昆虫纲, 直翅目) [J]. *农业生物技术学报*, 2004, 12(3): 300–305.
- [28] 靳泽荣, 刘志雄, 陈旭鹏, 等. 栎黄枯叶蛾触角感器的扫描电镜观察 [J]. *电子显微学报*, 2016, 35(3): 282–285.
- [29] 邓顺, 舒金平, 董双林, 等. 笋秀夜蛾触角感器的扫描电镜观察 [J]. *林业科学*, 2010, 46(12): 101–105, 图版 I–图版 IV.
- [30] 马瑞燕, 杜家纬. 昆虫的触角感器 [J]. *昆虫知识*, 2000, 37(3): 179–183.
- [31] 高宇, 王志英, 赵红盈, 等. 白蜡吉丁啮小蜂触角感觉器的扫描电镜观察 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46(9): 1956–1964.