



靳轩, 王海燕, 胡振亮, 马梦然, 李继泉, 崔建州. 微红梢斑螟 (鳞翅目: 螟蛾科) 成虫触角传感器的扫描电镜观察 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 40–47.

微红梢斑螟 (鳞翅目: 螟蛾科) 成虫触角传感器的扫描电镜观察

靳 轩¹, 王海燕², 胡振亮¹, 马梦然¹, 李继泉¹, 崔建州^{1*}

(1. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000; 2. 南水北调中线干线工程建设管理局河北分局, 石家庄 050000)

摘要: 通过扫描电镜对微红梢斑螟雌、雄成虫触角的外部形态及传感器进行观察, 结果表明, 微红梢斑螟雌、雄成虫触角共观察到 10 类传感器。其中, 毛形传感器 (I、II 型)、刺形传感器 (I、II 型)、耳性传感器、腔锥形传感器、Böhm 氏鬃毛共 7 类传感器在雌、雄虫触角上均有分布; 而栓锥形传感器仅在雌虫触角上被发现, 钟形传感器和鳞形传感器这 2 类传感器仅在雄虫触角上被发现。各类型传感器的数量以鞭节上最多, 且多处于触角的腹面和侧面。传感器的类型、数量及形态在雌、雄虫触角上存在性二型现象。

关键词: 微红梢斑螟; 触角传感器; 扫描电镜

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 01-0040-08

Observation on antenna of *Dioryctria rubella* Hampson (Lepidoptera: Pyralidae) with scanning electron microscopy

JIN Xuan¹, WANG Hai-Yan², HU Zhen-Liang¹, MA Meng-Ran¹, LI Ji-Quan¹, CUI Jian-Zhou^{1*}

(1. College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei Province, China; 2. Hebei Branch of Construction Administration of the Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Scanning electron microscope was used to observe antennal morphology, sensilla of females and males adults of *D. rubella*. The results showed that a total of ten kinds of sensilla were discovered. Among them, seven types of sensilla, Sensilla trichoidea (I, II) (ST), Sensilla chaetica (I, II) (SCH), Sensilla auricillica (SA), Sensilla coeloconica (SCO) and Böhm bristles (BB), were distributed on the antennal of females and males adults; but Sensilla tyloconica (SS) was only discovered on the female, and Sensilla campaniformia (CA) and Sensilla squamiformia (SQ) were only observed on the antennal of male. Most of the antennal sensilla existed in flagellum and lied on the upper and lower surfaces of the antennae. Sexual dimorphism in the morphology, types and quantity of sensilla, was also apparent.

Key words: *Dioryctria rubella*; antennal sensilla; scanning electron microscopy

昆虫触角是接受外来化学信号的主要器官, 其上分布着昆虫的大量嗅觉传感器。昆虫通过这些传感器来感知周围环境、寻偶、寻找取食寄主、选

择产卵场所等 (Gotzek *et al.*, 2011)。嗅觉传感器是一类特化的表皮细胞组织, 不同的传感器具有不同的功能 (Altner *et al.*, 1985)。研究昆虫触角传感器

基金项目: 林业公益性行业科研专项 (201504306)

作者简介: 靳轩, 女, 硕士研究生, 主要从事林木化学保护方面的研究, E-mail: 790326628@qq.com.

* 通信作者 Author for corresponding: 崔建州, 副教授, 主要从事林木化学保护方面的研究, E-mail: 1243035184@qq.com.

收稿日期 Received: 2019-12-24; 接受日期 Accepted: 2020-02-24

的种类、形态、分布和功能, 已经成为昆虫触角研究的重点, 可以为探索昆虫的行为学奠定基础。

微红梢斑螟 *Dioryctria rubella* 属于鳞翅目 Lepidoptera 螟蛾科 Pyralidae 梢斑螟属 *Dioryctria*, 是一种主要危害松属植物的枝梢和球果的重要害虫, 国内外均有分布 (田恒德和严敖金, 1989)。其寄主非常广泛, 在河北省北戴河联峰山主要危害油松, 一年发生 2 代, 主要以幼虫蛀害寄主主梢和幼树枝干, 使枝梢折断枯死, 影响树冠的整体形态, 降低了树木的利用价值 (李箐, 2003; 王荣国等, 2003), 影响林木种子质量 (常华, 2013)。由于微红梢斑螟幼虫钻蛀危害的特点, 对于其防治技术主要采用化学防治为主, 这不仅增加了害虫的抗药性, 同时也带来了杀伤天敌及环境污染等问题。目前, 根据行为学及化学生态学理论来讨论害虫的防治技术日益得到重视。利用害虫自身的生理生化微观特性来探索其宏观行为机制, 可以为害虫防治提供新的理论依据。近些年, 国内外的一些专家学者很重视在触角感器显微结构方面的研究 (Schneider, 1964; 马瑞燕和杜家纬, 2000; 李竹和陈力, 2010)。现已对大蜡螟 *Galleria mellonella*、松果梢斑螟 *Dioryctria pryeri*、黄翅绢野螟 *Diaphania caesalis*、二点螟 *Chilo infuscatellus* 等多种螟蛾科的昆虫的触角感器进行了超微结构研究 (杨立军和李新岗, 2007; 杨爽等, 2017; 孟倩倩等, 2017; 王锦达等, 2018), 但国内外尚未见关于微红梢斑螟触角感器研究的报道。本试验利用扫描电镜对微红梢斑螟成虫触角的感器类型、形态和分布特点进行观察和研究, 以期对微红梢斑螟的化学生态调控提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

北戴河联峰山公园位于位于北戴河海滨中心西部, 公园傍海, 其占地约 400 ha, 东西横列约 5 km。该地区受沿海季风影响, 海洋性特征明显, 湿度较大。年平均日照时间在 2 700 ~ 2 850 h; 年平均气温在 8.8 ~ 11.3℃; 盛夏日平均气温在 22 ~ 25℃; 年平均降水量为 650 ~ 750 mm; 年平均湿度在 65%。园内地被杂草丛生, 灌木穿插其中, 主要以针叶树油松为主, 兼有部分栎类、黄栌 *Cotinus coggygria*、碧桃 *Amygdalus persica* var. *duflex*、刺槐

Robinia pseudoacacia、毛白杨 *Populus tomentosa* 和松科其它树种。

1.2 供试虫源

2019 年 6 月, 在河北省秦皇岛市北戴河区联峰山公园采集油松带虫枝果带回实验室于 40 cm × 40 cm × 40 cm 的养虫笼中进行饲养, 饲养条件: 温度为 25 ± 1℃, 相对湿度为 75% ± 5%, 待其化蛹后, 根据蛹期的形态特征将其雌、雄虫分开, 选取初羽化且生长一致的雌、雄虫各 10 头。

1.3 样品的制样与观察

首先, 在解剖镜下用镊子将微红梢斑螟的触角取下, 将其浸泡在 70% 乙醇溶液中, 利用超声波清洗仪进行清洗 15 s, 用 2.5% 戊二醛固定。24 h 后用 75% 乙醇溶液冲洗, 用 80%、85%、90%、95% 和 100% 乙醇溶液依次梯度脱水, 各浓度脱水 10 min, 用乙酸异戊酯置换乙醇溶液, 处理过夜, 最后进行临界点干燥。

将干燥好的触角样品用双面胶粘在样品台上, 喷金处理后用 HITACHI SU8010 扫描电镜进行观察、拍照。对已观察到的感器主要参照 Schneider (1964) 的标准进行鉴定和命名, 并略加改进。

1.4 数据处理

感器的测量和数量统计的样本数量为 6 个触角或同种感器。所有数据均使用 SPSS 22.0 软件计算平均值和标准误。

2 结果与分析

2.1 微红梢斑螟触角的微形态

通过扫描电镜发现, 微红梢斑螟的触角呈线状。雌、雄个体间的触角长度略有差异, 雌虫触角长度为 6 310 ± 25.1 μm, 雄虫触角长度为 6 775 ± 33.8 μm, 雄虫触角略长于雌虫。微红梢斑螟触角背面均覆盖鳞片, 鞭节的每个亚节均有两排鳞片, 呈层层相叠的状态。触角感器大多分布在鞭节的腹面和侧面, 柄节和梗节较少 (图 1-b)。

2.2 触角感器的类型和结构

微红梢斑螟触角上有 10 类感器, 其中 7 类感器是雌、雄虫共有的, 分别为毛形感器 (I、II 型)、刺形感器 (I、II 型)、耳形感器、腔锥形感器和 Böhm 氏鬃毛。栓锥形感器仅在雌虫触角上被发现, 鳞形感器和钟形感器仅位于雄虫触角上; 其中数量最多的是毛形感器。

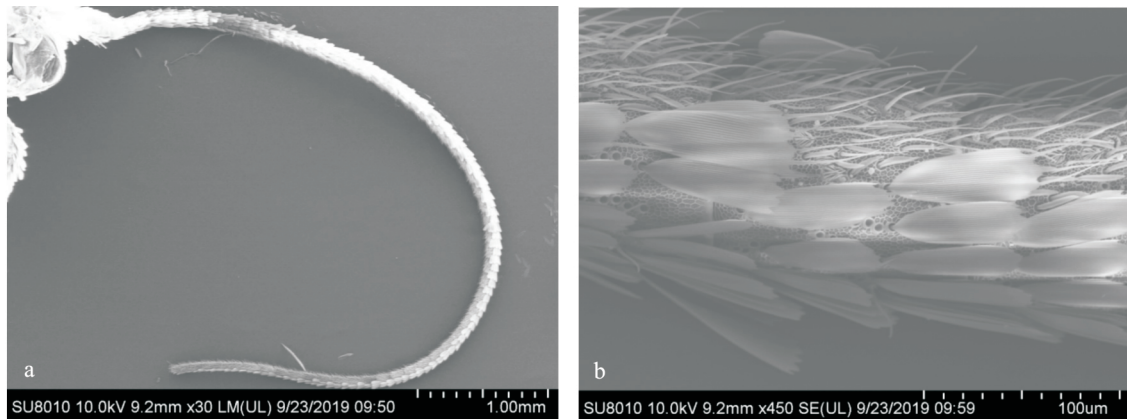


图1 微红梢斑螟触角 (a) 和鞭节亚节形态 (b)

Fig. 1 Morphology of *Dioryctria rubella* Hampson antenna (a) and subsegments of flagell (b)

2.2.1 毛形感器 (Sensilla trichoidea, ST)

基部无臼状窝, 着生于触角表面的圆窝内, 外形细长, 前倾, 向顶端渐细, 触角各节均有分布, 鞭节最多, 按其形状不同分为 I 型、II 型 (图 2-A, B)。I 型感器表面有螺旋形的环状纹, 与触角表面成 $30^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 夹角, II 型感器穿插分布于 I 型之间, 与 I 型感器相比较短, 基部较细, 表面有竖向条纹且多孔, 从基部往上开始弯曲, 角度小于 30° 。雌虫的 I 型毛形感器长为 $53.69 \pm 2.81 \mu\text{m}$, 雄虫的 I 型毛形感器长为 $57.27 \pm 3.71 \mu\text{m}$, 基部直径为 $3.24 \pm 0.04 \mu\text{m}$; 雌、雄虫的 II 型感器长为 $30.2 \pm 0.20 \mu\text{m}$, 基部直径为 $2.03 \pm 0.3 \mu\text{m}$ 。雄虫触角的毛形感器数量与雌虫相比较多, 且 I 型感器长度较长。

2.2.2 刺形感器 (Sensilla chaetica, SCH)

刺形感器基部几乎与触角表面垂直并且有突起的光滑臼窝, 中部或中部偏上部位弯曲向前倾, 顶部钝圆向上翘起, 表面有螺旋状的环状纹。按其大小可分为 I 型、II 型 (图 2-C, D, E), I 型分布于鞭节各亚节腹面, II 型分布于侧面, 与 I 型感器相比较细小。雌虫刺形感器 I 型长为 $45.37 \pm 0.26 \mu\text{m}$, 基部直径为 $3.09 \pm 0.03 \mu\text{m}$, 雄虫刺形感器 I 型长为 $49.00 \pm 1.07 \mu\text{m}$, 基部直径为 $2.69 \pm 0.03 \mu\text{m}$; 雌、雄虫 II 型感器长为 $23.52 \pm 1.74 \mu\text{m}$, 基部直径为 $2.17 \pm 0.08 \mu\text{m}$, 雄虫触角的 I 型刺形感器与雌虫相比较长, 但是基部直径较小, II 型刺形感器的长及基部直径在雌、雄虫触角上无明显差异。

2.2.3 耳形感器 (Sensilla auricillica, SA)

耳形感器在雌、雄触角上均有较多分布, 主

要分布于鞭节各亚节上, 其中在侧面的分布多于腹面 (图 2-G, I)。其外形类似于禾本科植物卷心叶状, 有耳状凹槽, 除此之外, 表面还有纵向条纹且为多孔的结构, 基部着生于触角圆窝内, 顶端尖锐, 耳形感器长为 $21.97 \pm 0.25 \mu\text{m}$, 基部直径为 $2.22 \pm 0.10 \mu\text{m}$ 。

2.2.4 腔锥形感器 (Sensilla coeloconica, SCO)

腔锥形感器在触角鞭节各亚节均有分布, 是触角表面向下凹陷形成的浅圆腔 (图 2-F, H), 直径 $10.96 \pm 0.32 \mu\text{m}$, 腔中央着生着一个直立的栓状突起, 基部粗大, 端部钝圆, 由基部向端部聚拢, 表面有纵沟, 圆腔周围有 13~15 个的缘栓, 端部尖锐, 长短不一, 向中央直立的栓状突起聚拢, 缘栓表面也具有纵沟。

2.2.5 Böhm 氏鬃毛 (Böhm bristles, BB)

Böhm 氏鬃毛成群分布于触角柄节基部, 外形短小尖细, 呈锥形, 表面光滑无孔, 大多垂直于触角表面, 不具基窝 (图 2-M), 此类感器长为 $6.97 \pm 0.22 \mu\text{m}$, 基部直径为 $1.65 \pm 0.06 \mu\text{m}$ 。

2.2.6 鳞形感器 (Sensilla squamiformia, SQ)

鳞形感器外形似鳞片, 但比鳞片细长 (图 2-J), 长为 $41.86 \pm 0.66 \mu\text{m}$, 基部直径为 $2.41 \pm 0.09 \mu\text{m}$, 呈梭型, 表面有较深的纵向沟槽, 基部有特化的臼状窝, 分布于触角侧面紧挨背部鳞片处, 分布不均匀, 数量较少, 观察时很难被发现, 并且该感器只在雄虫触角上被发现。

2.2.7 钟形感器 (Sensilla campaniformia, CA)

钟形感器着生于触角第一鞭节基部 (图 2-K, L), 基部直径为 $1.74 \pm 0.05 \mu\text{m}$, 形状像一个倒扣的钟, 稍突出于触角表面, 表面光滑, 周围

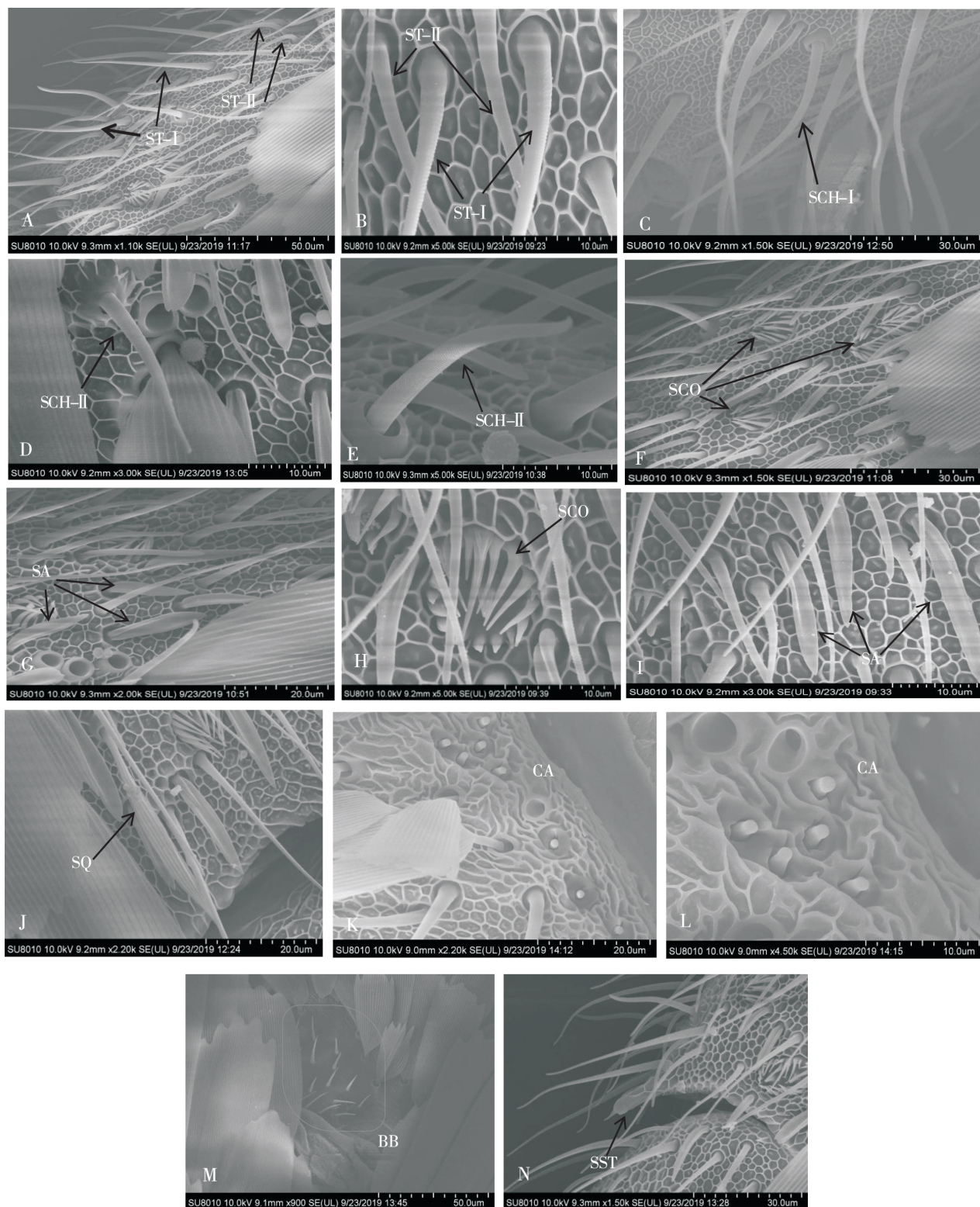


图2 微红梢斑螟触角感受器的扫描电镜照片

Fig. 2 Photograph of antennal sensilla of *Dioryctria rubella* by scanning electron microscopy

注: A 和 B, 毛形感器 I 型 (ST-I)、毛形感器 II 型 (ST-II); C 和 D, 刺形感器 I 型 (SCH-I); D 和 E, 刺形感器 II 型 (SCH-II); F 和 H, 腔锥形感器; G 和 I, 耳形感器; J, 鳞形感器; K 和 L, 钟形感器; M, Böhm 氏鬃毛; N, 栓锥形感器。Note: A and B, Sensilla trichoidea I (ST-I), Sensilla trichoidea II (ST-II); C, Sensilla chaetica I (SCH-I); D and E, Sensilla chaetica II (SCH-II); F and H, Sensilla coeloconica (SCO); G and I, Sensilla auricillica (SA); J, Sensilla squamiformia (SQ); K and L, Sensilla campaniformia (CA); M, Böhm bristles (BB); N, Sensilla styloconica (SST).

有一圈光滑的稍向下凹陷的厚壁边缘，此感器只在雄虫触角上被发现。

2.2.8 栓锥形感器 (Sensilla styloconica, SST)

栓锥形感器 (图 2 - N) 均匀分布于触角腹面鞭节每亚节的端部，每亚节各一个，长为 $18.31 \pm 0.26 \mu\text{m}$ ，基部直径为 $5.37 \pm 0.05 \mu\text{m}$ ，从触角表面隆起延大约 45° 向外延伸，端部顶生一个小椎，基部至中上部有触角表面网状纹的延伸，中上部表面光滑。

2.3 雌、雄虫各类型感器的数量及差异

雌虫触角的 8 类感器中，毛形感器 II 型的数量最多，可达 $1\,009.4 \pm 9.11$ 个，明显多于其他感器的数量；其次是毛形感器 I 型，数量为 949.3 ± 13.02 个，明显少于毛形感器 II 型的数量；再次是耳形感器，数量为 776.0 ± 7.69 个；刺形感器 I 型的数量为 56.3 ± 8.75 个，栓锥形感器的数量为 43.0 ± 0.52 个，刺形感器 I 型的数量多于栓锥形

感器的数量，但两者的数量无明显差异；氏鬃毛的数量为 18.8 ± 0.31 个，明显少于其他感器数量。雌虫各感器数量由多到少的排序为：毛形感器 II 型、毛形感器 I 型、耳形感器、腔锥形感器、刺形感器 II 型、刺形感器 I 型、栓锥形感器、Böhm 氏鬃毛。

雄虫触角的 9 类感器中，数量最多的是毛形感器 II 型，数量为 $1\,820.0 \pm 8.34$ 个，明显多于其他感器；其次是毛形感器 I 型，数量为 $1\,317.3 \pm 11.28$ 个，明显少于毛形感器 II 型的数量；鳞形感器的数量最少，数量为 4.2 ± 0.75 个，与 Böhm 氏鬃毛和钟形感器的数量相比，三者数量无明显差异。雄虫各感器的数量由多到少的排序为：毛形感器 II 型、毛形感器 I 型、耳形感器、腔锥形感器、刺形感器 II 型、刺形感器 I 型、Böhm 氏鬃毛、钟形感器、鳞形感器。

表 1 微红梢斑螟雌、雄虫各类型感器的数量
Table 1 Number of sensilla of male and female of *Dioryctria rubella*

触角感器种类 (♀)	感器数量 (个) (♀)	触角感器种类 (♂)	感器数量 (个) (♂)
Sensillum type	Sensillum number	Sensillum type	Sensillum number
毛形感器 I 型 Sensilla trichoidea I (ST - I)	949.3 ± 13.02 Bb	毛形感器 I 型 Sensilla trichoidea I (ST - I)	$1\,317.3 \pm 11.28$ Ab
毛形感器 II 型 Sensilla trichoidea II (ST - II)	$1\,009.4 \pm 9.11$ Ba	毛形感器 II 型 Sensilla trichoidea II (ST - II)	$1\,820.0 \pm 8.34$ Aa
刺形感器 I 型 Sensilla chaetica I (SCH - I)	56.3 ± 8.75 Af	刺形感器 I 型 Sensilla chaetica I (SCH - I)	72.5 ± 10.51 Af
刺形感器 II 型 Sensilla chaetica II (SCH - II)	161.7 ± 7.16 Ae	刺形感器 II 型 Sensilla chaetica II (SCH - II)	162.0 ± 9.49 Ae
耳形感器 Sensilla auricillica (SA)	776.0 ± 7.69 Bc	耳形感器 Sensilla auricillica (SA)	$1\,285.0 \pm 12.05$ Ac
腔锥形感器 Sensilla coeloconica (SCO)	289.6 ± 7.80 Ad	腔锥形感器 Sensilla coeloconica (SCO)	318.5 ± 10.96 Ad
Böhm 氏鬃毛 Böhm bristles (BB)	18.8 ± 0.31 Ag	Böhm 氏鬃毛 Böhm bristles (BB)	19.7 ± 1.37 Ag
栓锥形感器 Sensilla styloconica (SST)	43.0 ± 0.52 f	钟形感器 Sensilla campaniformia (CA)	8.5 ± 0.56 g
-	-	鳞形感器 Sensilla squamiformia (SQ)	4.2 ± 0.75 g

注：表中数据为平均值 $\pm$ 标准误，同列不同小写字母表示雌、雄虫各感器之间差异性显著，同行不同大写字母表示雌、雄成虫同种感器差异性显著 ($P < 0.05$)。Note: Data in the table are mean $\pm$ SE, different lowercase letters in the same column indicate significant difference of sensilla of male and female at the 0.05 level. Different uppercase capital letters in each line indicate difference between of the same of sensilla of male and female at the 0.05 level.

将雌、雄虫触角上相同的传感器进行 T 检验分析发现, 相同传感器的数量在雌雄虫触角上的分布是不相同的, 其中雄虫触角的毛形感器 I 型、II 型和耳形传感器的数量明显多于雌虫; 刺形感器和腔锥形感器及 Böhm 氏鬃毛在雌雄虫触角上的数量无明显差异。

2.4 常见的鳞翅目螟蛾科昆虫触角传感器的类型及差异

不同的螟蛾科昆虫触角传感器不同, 微红梢斑螟与同科其他属的传感器类型还是较为接近。毛形感器存在于大多鳞翅目昆虫中, 并且按长短分为 I、II 型, 微红梢斑螟也与之相似, 但微红梢斑螟的 I、II 型的表面结构也存在差异, I 型表面具螺旋形的环状纹, 与大多鳞翅目的昆虫相类似, 但是 II 型表面有竖向条纹且多孔, 在螟蛾科的已发表的文章中未见报道, 因此又有其自身独特性; 刺形感器、腔锥形感器、耳形感器也是螟蛾科昆虫常见的几种传感器类型, 刺形感器有的表面光滑, 如二点螟 (王锦达, 2018) , 有的具有螺旋形的环

状纹, 如微红梢斑螟; 腔锥形感器类型几乎相同, 都具有菊花状的腔缘毛; 耳形感器形与禾本科植物卷心叶类似, 根据顶端尖锐或钝圆又可分为 I、II 型, 有的只有 I 型, 如微红梢斑螟, 有的只有 II 型, 如黄翅绢野螟 (孟倩倩, 2017) 、井上蛀果斑螟 *Assara inouei* (邵淑霞, 2008) ; 钟形感器分布较少, 只在松果梢斑螟和微红梢斑螟触角上发现; 鳞形感器外形都很相似, 只在大蜡螟 (杨爽, 2017) 和二点螟上未见分布; 栓锥形感器在大蜡螟、黄翅绢野螟和微红梢斑螟上有分布, 其中大蜡螟和微红梢斑螟的栓锥形感器最为相似, 但在微红梢斑螟中其只在雌虫触角上有分布, 而在另两者中则是雌雄虫都有分布; 存在性二型的昆虫有松果梢斑螟、微红梢斑螟、井上蛀果螟; 通过以上比较发现, 微红梢斑螟与同属的松果梢斑螟 (杨立军, 2007) 的传感器类型、形态分布最为接近, 不同的是刺形感器 II 型与栓锥形感器未在松果梢斑螟上被发现。

表 2 常见的鳞翅目螟蛾科触角传感器
Table 2 Antennal sensilla of Lepidoptera Pyralidae common species

昆虫 Insect	松果梢斑螟 <i>Dioryctria pryeri</i>	大蜡螟 <i>Galleria mellonella</i>	黄翅绢野螟 <i>Diaphania caesalis</i>	二点螟 <i>Chilo infuscatellus</i>	井上蛀果斑螟 <i>Assara inouei</i>	微红梢斑螟 <i>Dioryctria rubella</i>
毛形感器 I ST-I	+	+	+	+	+	+
毛形感器 II ST-II	+	+	+		+	+
刺形感器 I SCH-I	+	+	+	+		+
刺形感器 II SCH-II			+		+	+
腔锥形感器 SCO	+	+	+	+	+	+
耳形感器 SA	+	+	+	+	+	+
Böhm 氏鬃毛 BB	+		+	+	+	+
钟形感器 CA	+					+
鳞形感器 SQ	+		+		+	+
栓锥形感器 SST		+	+			+
锥形感器 BA	+	+	+		+	
腔乳头感器 SCA					+	
叉形感器 SF		+				

注 “+” 表示有。Note “+” means sensilla existence.

3 结论与讨论

本研究通过对微红梢斑螟雌、雄成虫触角进

行扫描电镜观察, 发现触角呈线状, 雄虫触角略长于雌虫。在雌雄触角上共发现 10 类感器, 其中毛形感器 I、II 型, 刺形感器 I、II 型、耳形感器、腔锥形感器和氏鬃毛这 7 类感器在雌雄虫触

角上均有分布,而鳞形传感器和钟形传感器只在雄虫触角上被发现,及栓锥形传感器仅在雌虫触角上被发现,并且雄虫毛形传感器、耳形传感器数量多于雌虫,存在性二型现象。这一研究结果与松果梢斑螟最为相似,不同的是刺形传感器Ⅱ型与栓锥形传感器未在松果梢斑螟上被发现。

昆虫触角有多种传感器,且传感器的类型及功能多样。每种传感器的类型、功能、数量及分布等不仅与其种类、性别有关,还与其生活环境及与寄主植物的相互作用相关。因此明确昆虫触角传感器的种类、分布及数量,对研究各传感器的功能与寄主植物互作方面具有重大意义。对于鳞翅目昆虫触角显微结构的研究已较多。在鳞翅目昆虫中,毛形传感器是普遍存在的一类传感器,一般具有性二型现象,且该传感器已被证实不仅能感受性信息素,而且还具有触觉、嗅觉、味觉、机械感受等功能 (Castrejón Gómez *et al.*, 2003; Dolzer *et al.*, 2003), 雄性昆虫对于性信息素的敏感程度高于雌虫 (Zhao *et al.*, 2018), 这或许也是微红梢斑螟雄虫触角上毛形传感器明显多于雌虫的原因。刺形传感器基部几乎与触角表面垂直,整个传感器延伸的高度比其他传感器高许多,并且基部有特化的白臼窝,基于刺形传感器的这些形态特征,被认为具有感受机械刺激的功能 (Schneider, 1964)。

Ebbinghaus 等 (1998) 报道在卷蛾科的苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 上发现表面多孔的耳形传感器具有感受微量信息素的功能,在张建 (2017) 的报道中,也认为花布灯蛾 *Camptoloma interiorata* 的此种传感器可能也有类似功能。国外学者 Ammagarahalli (2015) 使用单传感器记录仪发现表面多孔的耳形传感器对植物气味和信息素化合物起反应,微红梢斑螟中耳形传感器表面具有纵向条纹且多孔,或许也具有以上功能。Alter (1983) 做电生理反应试验发现,有腔缘毛的腔锥形传感器不仅具有嗅觉功能,而且还能感知温度和湿度的变化;也有研究发现,这类传感器上具有感觉神经元,既能对短链脂肪酸及单萜醇类物质有一定的感觉反应,也对雌虫寄主产卵地选择上起作用 (Altner *et al.*, 1983; Coss *et al.*, 1998; Hunger and Steinbrecht, 1998), 微红梢斑螟的腔锥形传感器具有菊花状的腔缘毛,因此,推测其具有以上功能。Böhm 氏鬃毛在鳞翅目昆虫中也较为常见, Schneider (1964) 认为其是一种机械感受器,另有国外学者 Krishnan 等 (2012) 通过行为学试验

发现,此传感器在蛾子飞行中能够调节其触角的定位。

鳞形传感器数量较少、紧邻鳞片且在鞭节不均匀分布,很难观察到,目前关于此传感器的功能还未见报道,因其无孔的表面, Krishnan 等 (2012) 推测此传感器可能具有机械感受功能。钟形传感器被认为能够感受角质层的机械形变,是一种本体感受器 (McIver, 1975), 也有研究表明其对气味、二氧化碳、温湿度敏感 (Dietz and Humphreys, 1971)。

栓锥形传感器仅在雌虫触角上被发现。此类型传感器在鞘翅目枣食芽象甲 *Scythropus yasumatsui* 中也仅分布在雌虫触角上;在功能上,张峰等 (2019) 认为枣食芽象甲雌虫对枣树的挥发性气味更为敏感,可能与栓锥形传感器仅在枣食芽象甲雌虫上分布有关。在关于寄主油松挥发物对微红梢斑螟成虫生测试验研究中,我们发现雌虫对寄主油松挥发性气味更为敏感,因此可推测栓锥形传感器具有味觉、嗅觉的功能,对雌虫的取食及寄主选择方面至关重要。

微红梢斑螟属于蛀干害虫,其幼虫钻蛀枝干危害寄主植物,但在幼虫期防治害虫难度较大。因此,成虫期的防治尤为重要,其成虫触角传感器在感知周围环境、寻偶、寻找取食寄主、选择产卵场所等有重要作用。本研究通过对微红梢斑螟触角扫描电镜的观察,发现其触角传感器类型丰富,但由于多数的传感器功能只是靠前人的推测而来,并未得以证实,今后还需要利用单细胞记录仪结合透射电镜、触角电位等生理技术对各传感器功能做进一步研究,为明确微红梢斑螟触角传感器与其对寄主植物的选择机理之间的关系奠定基础。

参考文献 (References)

- Altner H, Schaller-Selzer L, Stetter H, *et al.* Poreless sensilla with inflexible sockets. A comparative study of a fundamental type of insect sensilla probably comprising thermo and hygroreceptors [J]. *Cell and Tissue Research*, 1983, 234 (2): 279–307.
- Ammagarahalli B, Gemenio C. Interference of plant volatiles on pheromone receptor neurons of male *Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2015, 81: 118–128.
- Coss AA, Todd JL, Bake TC. Neurons discovered in male *Helicoverpa zea* antennae that correlate with pheromone-mediated attraction and interspecific antagonism [J]. *Journal of Comparative Physiology A*, 1998, 182 (5): 585–594.
- Castrejón Gómez, Victor R, Nieto, *et al.* The Antennal Sensilla of

- Zamagiria dixolophella Dyar (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 2003, 96 (5): 672–678.
- Chang H. Biological characteristics and integrated control techniques of *Dioryctria rubella* Hampson of Luoshan [J]. *Agricultural bulletin of Anhui*, 2013, 19 (1): 87–88. 陈华. 罗山松梢螟生物学特性及综合防治技术 [J]. *安徽农学通报*, 2013, 19 (1): 87–88
- Dietz A, Humphreys WJ. Scanning electron microscopic studies of antennal receptors of the Worker Honey Bee, including sensilla campaniformia [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1971, 64 (4): 919–925.
- 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.
- Ebbinghus D, Lselp M, Lindemann M, et al. Detection of major and minor sex pheromone components by the male codlingmoth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Journal of Insect Physiology*, 1998, 44 (1): 49–58.
- Gotzek D, Robertson HM, Wurm Y, et al. Odorant binding proteins of the red imported fire ant *Solenopsis invicta*: An example of the problems facing the analysis of widely divergent [J]. *PLoS ONE*, 2011, 6 (1): 79–89.
- Hunger T, Steinbrecht RA. Functional morphology of a double – walled multiporous olfactory sensillum: The sensillum coeloconicum of *Bombyx mori* (Insecta, Lepidoptera) [J]. *Tissue & Cell*, 1998, 30 (1): 14–29.
- Krihnan A, Prabhakar S, Sudrsan S, et al. The neural mechanisms of antennal positioning in flying moths [J]. *Journal of Experimental Biology*, 2012, 215 (17): 3096–3105.
- Li J. Study on biological characteristics and control of *Dioryctria rubella* Hampson [J]. *Practical Forestry Technology*, 2003, 9: 29–30. 李菁. 微红梢斑螟生物学特性及防治研究 [J]. *林业实用技术*, 2003, 9: 29–30
- Li Z, Chen L. Application of antennal sensilla characters in insect taxonomy [J]. *Entomotaxonomia*, 2010, 32 (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, 32 (S1): 113–118
- Melver SB. Structure of cuticular mechanoreceptors of arthropods [J]. *Annu. Rev. Entomol.*, 1975, 20 (1): 381–397.
- Ma RY, Du JW. Insect of antennal sensilla [J]. *Entomological Knowledge*, 2000, 37 (3): 179–183. 马瑞燕, 杜家纬. 昆虫的触角感器 [J]. *昆虫知识*, 2000, 37 (3): 179–183
- Meng QQ, Wang Z, Tan LH, et al. Observation of antenna sensilla of *Diaphania caesalis* Walker with scanning electron microscope [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2017, 38 (7): 148–152. 孟倩倩, 王政, 谭乐和, 等. 黄翅绢野螟触角感器的扫描电镜观察 [J]. *热带作物学报*, 2017, 38 (7): 148–152
- Schneider D. Insect antennae [J]. *Annual Review of Entomology*, 1964, 9: 103–122.
- Shao SX, Jiang Bo, Pu WX, et al. Observations on antennal sensilla of *Assara inouei* with scanning electron microscopy [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2008, 45 (6): 932–936. 邵淑霞, 姜波, 蒲卫琼, 等. 井上蛀果斑螟触角感器的扫描电镜观察 [J]. *应用昆虫学报*, 2008, 45 (6): 932–936
- Tian HD, Yan AJ. Study on the *Dioryctria rubella* Hampson [J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1989, 13 (1): 54–57. 田恒德, 严敖金. 微红梢斑螟的研究 [J]. *南京林业大学学报*, 1989, 13 (1): 54–57
- Wang GR, Xu HL, Wei D, et al. *Retinia cristata* and *Dioryctria rubella* occurrence and control of pests [J]. *Anhui Forestry Science and Technology*, 2003 (2): 24–25. 汪荣国, 许鸿利, 魏冬, 等. 松实小卷蛾和微红梢斑螟的发生与防治试验 [J]. *安徽林业科技*, 2003 (2): 24–25
- Wang JD, Wang WZ, Gao SJ, et al. Antennal sensilla of *Chilo infuscatellus* under scanning electronic microscope [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33 (2): 186–189. 汪锦达, 王伟重, 高三基, 等. 二点螟触角感器的扫描电镜观察 [J]. *福建农业学报*, 2018, 33 (2): 186–189
- Yang LJ, Lin XG. Scanning electron microscopy observation on antennal sensilla of *Dioryctria pryeri* ragonot [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22 (3): 132–135. 杨立军, 李新岗. 松果梢斑螟触角感受器的扫描电镜观察 [J]. *西北林学院学报*, 2007, 22 (3): 132–135
- Yang S, Liu WF, Zhao HT, et al. Observation on antennal sensilla of *Galleria mellonella* L. with scanning electron microscope [J]. *Apiculture of China*, 2017, 68 (2): 16–19. 杨爽, 刘位芬, 赵慧婷, 等. 大蜡螟触角感器的扫描电镜观察 [J]. *中国蜂业*, 2017, 68 (2): 16–19
- Zhang J, Hou LW, Cheng B, et al. Scanning electron microscopic observations of sensilla on the antennae of *Camptoloma interiorata* [J]. *Journal of Chinese Electron Microscopy Society*, 2017, 6 (36): 582–588. 张健, 侯丽伟, 程彬, 等. 花布灯蛾触角感器扫描电镜观察 [J]. *电子显微学报*, 2017, 6 (36): 582–588
- Zhao XY, Huang X, Ge SY, et al. Scanning electron microscopy study of antennal sensilla of *Plutella xylostella* adults [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2018, 40 (1): 58–62. 赵欣阳, 黄星, 葛思妍, 等. 小菜蛾触角感器的扫描电镜观察 [J]. *吉林农业大学学报*, 2018, 40 (1): 58–62
- Zhang F, Hong B, Wang YZ, et al. Observation of antennal sensilla from *Scythropus yasumatsui* (Coleoptera: Curculionidae) with scanning electron microscope [J]. *Acta Agriculturae Boreali – occidentalis Sinica*, 2019, 28 (8): 1373–1379. 张锋, 洪波, 王远征, 等. 枣食芽象甲触角感器的扫描电镜观察 [J]. *西北农业学报*, 2019, 28 (8): 1373–1379