

豆野螟触角化感器和性信息素分泌腺的位置及超微结构

陆鹏飞¹ 乔海莉² 雷朝亮¹

1. 华中农业大学植物科学技术学院/湖北省昆虫资源利用与害虫可持续治理重点实验室, 武汉 430070;

2. 中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所, 北京 100193

摘要 利用扫描电镜技术研究了豆野螟 *Maruca testulalis* Geyer 成虫触角感器和性信息素腺体的位置及超微结构, 结果表明: 豆野螟雌雄蛾的触角呈线状, 由柄节、梗节和鞭节组成, 柄节较长、梗节较粗, 并均覆盖着鳞片; 触角鞭节由 72~82 节组成, 长度约为 86~97 mm; 豆野螟感受器主要分布在触角的腹面和侧面, 背面覆盖有鳞片, 因此感受器很少; 雌雄触角共发现 6 种感器, 其中柱形感器只在雄蛾中发现, 而一种未定义的感器仅在雌蛾中发现。通过形态比较发现, 毛形感器在雌蛾触角上的分布比雄蛾较稀疏, 但雄蛾的长度略长, 其他几种感器在雌雄间未见显著差异; 豆野螟性信息素腺体位于腹部第 8~9 节之间, 其上有一系列规则的皱褶, 为性腺细胞所在位置。使用气质联用技术进一步对豆野螟性信息素腺体进行了定位, 测定结果表明, 腹部第 8~9 节间的腺体提取物具有性信息素组分, 是豆野螟性腺所在位置。

关键词 豆野螟; 触角感受器; 性信息素分泌腺; 超微结构

中图分类号 S 225.2⁺ **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)04-0448-07

豆野螟 *Maruca testulalis* Geyer 是重要的豆类蔬菜害虫, 对豇豆的危害尤为严重。豆野螟卵散产和幼虫钻蛀危害的习性, 不利于对其进行监测和使用化学农药防治, 同时天敌对其的自然控制作用也有限, 因此, 探讨安全、有效的防治方法已迫在眉睫。近年来, 性信息素以其安全、高效、操作简单、成本低等优点, 成为害虫综合治理中的一项重要措施。

雄虫的触角和雌虫的性腺分别是鳞翅目昆虫性信息素通讯系统中的主要器官。触角是昆虫感觉系统的重要组成部分, 行使嗅觉、触觉、味觉及感受气流、CO₂、湿度和温度等功能, 能影响昆虫选择食物、取食、躲避危险、寻觅配偶及为子代选择栖息场所等一系列适应性行为^[1]。昆虫的嗅觉系统可使其从不同气味物质中识别出特异性气味分子, 表现出高度的专一性和灵敏性, 其中, 对配偶的性外激素或寄主植物的挥发性物质的感知对昆虫而言更重要也更有实际意义。触角是嗅觉感器集中的地方, 研究嗅觉感器的形态结构是探索昆虫嗅觉识别机制的前提。大多数鳞翅目蛾类昆虫的性信息素分泌腺的位置和组织结构是比较固定的, 主要位于雌蛾腹部第 8~9

节之间特化的节间膜上^[2], 但是针对不同昆虫而言又具有一定的特异性。例如某些美洲棉铃虫 *Helicoverpa zea* 和小木蠹蛾 *Holcocerus insularis* 性腺位于腹部第 8~9 节的节间膜, 是一个环状结构, 但是烟芽夜蛾 *Heliothis virescens* 和剑角锦斑蛾 *Theresimima ampelophaga* 则并非如此。明确性信息素腺体的位置及形态结构是分离提取性信息素的前提条件^[3]。

笔者利用扫描电镜技术 (scanning electron microscope, SEM) 对豆野螟雌雄两性触角感器形态结构、各感受器种类、分布密度以及雌蛾的性信息素腺体的外部形态等进行了观察; 同时采用气质联用技术 (gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS) 对腺体浸提物分析, 进一步对腺体准确定位, 旨在从形态学角度为豆野螟性信息素的深入研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

在武汉市东西湖区慈惠农场采集豆野螟幼虫,

收稿日期: 2010-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30971911)、“十一五”国家科技支撑计划项目 (2006BAD17B08)

陆鹏飞, 博士研究生。研究方向: 昆虫化学生态学。E-mail: lpengfei224@yahoo.com.cn

通讯作者: 雷朝亮, 硕士, 教授。研究方向: 害虫综合治理。E-mail: ioir@mail.hzau.edu.cn

带回室内饲养于其寄主植物豇豆上。将豆野螟低龄幼虫(3龄以前)群养于直径20 cm的圆形玻璃缸中,每日更换新鲜的豇豆花和嫩豆荚;3龄以后幼虫单头饲养于长8 cm、底面直径3 cm的指形管中,内置3~4段约5 cm长的豇豆荚,隔天更换豆荚,直至幼虫化蛹。羽化成虫放入养虫笼(30 cm×40 cm×50 cm),喂以15%蜂蜜水和纯水,每天更换。养虫室光周期L/D=14/10,光期05:00开始,19:00结束,温度(29±1)℃,相对湿度75%~80%。

1.2 扫描电镜的观察

1)标本的制备。从养虫笼中选取新羽化的雌蛾和雄蛾,剪下头部,在解剖镜下小心用镊子与手术刀将触角与头部分离。然后用毛笔小心地将触角表面的鳞片刷去,再用吸球将触角表面的杂质吹净。选取3日龄进入暗期5~6 h的正在求偶的处女雌蛾^[4-5],用手轻轻挤压腹部末端,迫使其伸出性信息素腺体,在解剖镜下用眼科手术剪快速剪下腺体(连同腹部第7节)^[6]。分别用双蒸水、生理盐水和75%乙醇反复清洗触角和性腺样品。将清洗完的标本用2.5%的戊二醛固定3 h,再用磷酸缓冲液冲洗4次,每次2 min。用钨酸蒸汽固定触角,直到干燥为止。用双面粘将干燥的触角按背面、腹面和2个侧面4个角度粘台;选择背面、腹面和侧面不同的角度对性腺样品粘台。

2)样品的导电处理。放入离子溅射仪内喷金,用日立S-570型扫描电子显微镜依次观察触角基部、中部、端部数节及顶节上的感器,以及性腺表面的形态结构,同时拍照。样品的导电处理时加速电压为20 kV。

采用Schneider^[7]的标准对感器进行命名。

1.3 气相色谱-质谱联用分析

将采集到的腺体标本放入已经预先加入重蒸正己烷的尖底玻璃管内,迅速盖紧瓶塞,室温下静置30 min。然后将提取液转入另一根玻璃管中,封口,-20℃保存待用。

标准化合物:(E,E)-10,12-16:Ald、(E,E)-10,12-16:OH、(E)-10-16:Ald均购自荷兰Plant Research International公司,化合物的人工合成品几何异构体纯度和化学纯度均大于99.5%,稀释化合物的溶剂采用重蒸正己烷。

GC-MS: GC为Agilent Technologies 6890 N (Agilent公司),MS为Agilent Technologies 5973 (Agilent公司)。

分析条件: DB-WAX毛细柱(强极性柱,30 m×0.25 mm×0.25 μm,美国加利福尼亚Agilent公司),开始温度50℃,保持1 min,然后以5℃/min速度升到230℃,不保持;无分流进样,界面温度280℃,离子源温度230℃;载气为He,流量为1.0 mL/min;EI电子轰击,离子源轰击能量70 eV,发射电流34.6 μA;采集速度每次0.6 s,原子质量单位采集质量范围30~300 amu,开始采集时间4 min。数据分析采用Windows NT/MASS SPECTRAL SEARCH PROGRAM (Version 1.7) 软件进行。

2 结果与分析

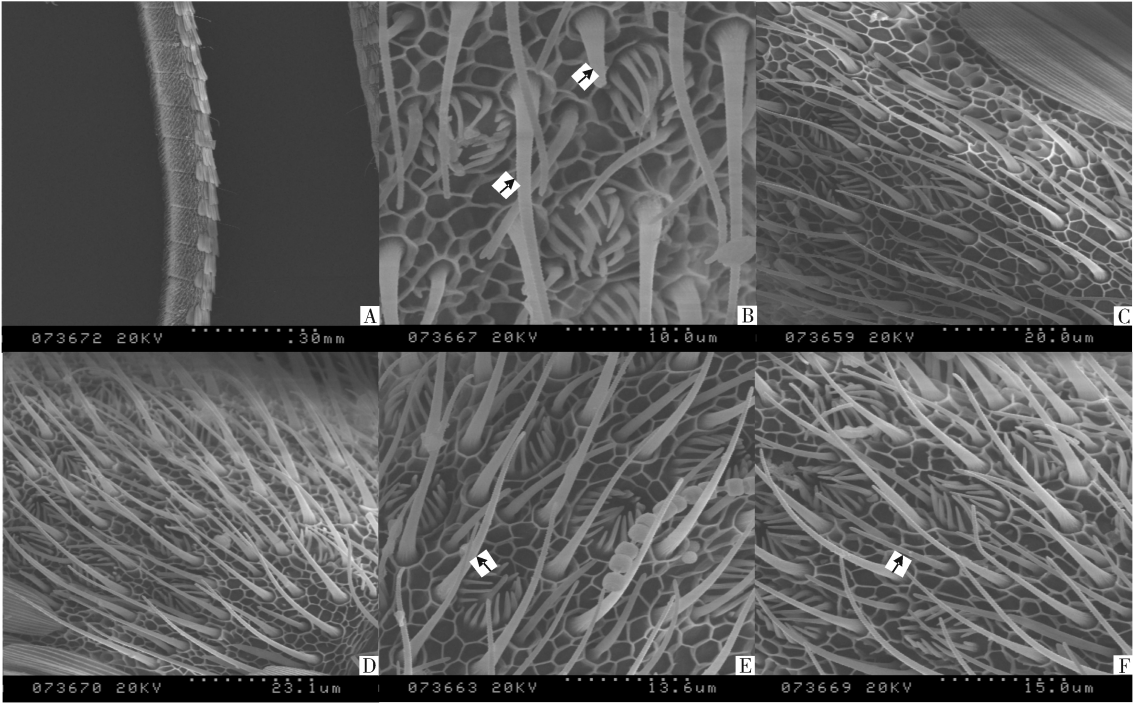
2.1 触角的扫描电镜观察

豆野螟雌雄蛾触角呈线状,由柄节、梗节和鞭节组成。柄节较长;梗节较粗,并均覆盖着鳞片;鞭节由72~82节组成,长度为8~9 mm,两性间无明显的差别。豆野螟感受器主要分布在触角的腹面和侧面,背面一般覆盖有鳞片,因此感受器很少。豆野螟触角的每一鞭节背面均覆盖着2排鳞片,后排鳞片的前缘覆盖着前排鳞片的基部,每排鳞片有4~5个,鳞片层层相叠(图1-A)。

扫描电镜观察结果表明,豆野螟触角上分布的感受器共有6类,分别为毛形感器(sensilla trichodea)、腔锥感器(sensilla coeloconica)、耳形感器(sensilla auricillica)、刺形感器(sensilla cheatica)、柱形感器(sensilla cylindric)和一种未命名的感器(sensilla undifined)。豆野螟触角上的化学感受器绝大部分分布在触角的鞭节。

1)毛形感器(图1-B~F)。毛形感器是雌雄蛾触角上均为数量最多的感器,全部分布在鞭节腹、侧面。毛形感器较细,大多呈50°~80°角生长,径直前伸或匍匐于触角表面,且排列规则;近端部呈弧形,有的呈钩状或钝圆;基部无臼状窝。雌雄触角的分布密度与长度有差异:雌蛾密度较稀疏,雄蛾较密且明显长于雌蛾。

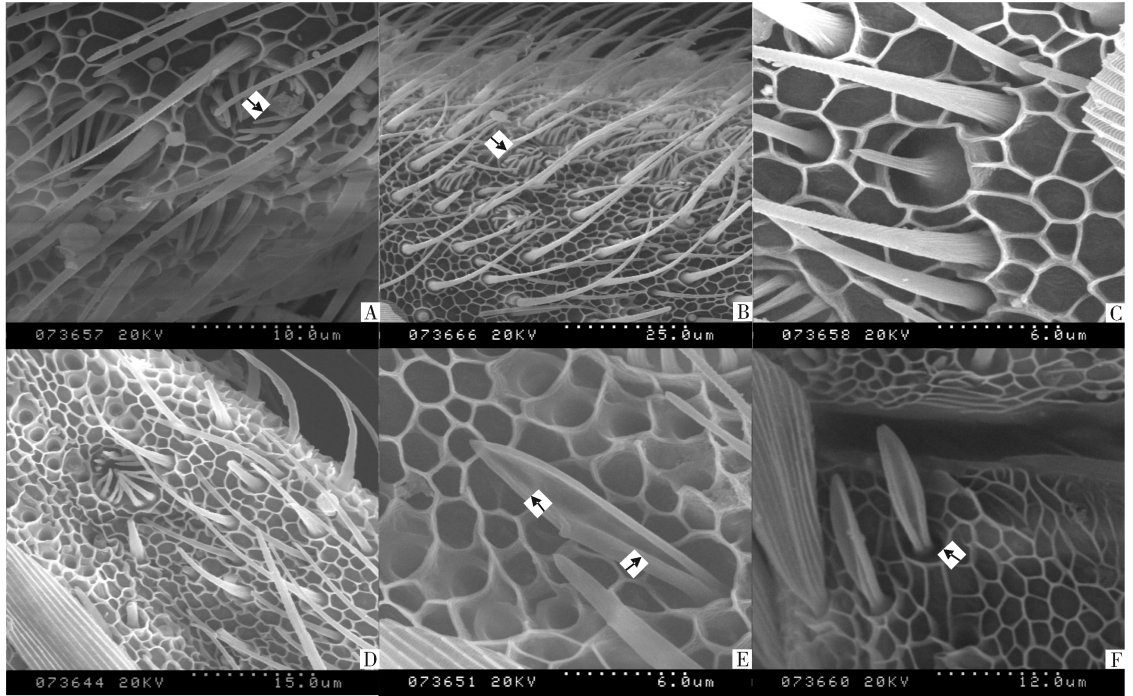
豆野螟触角上的毛形感器又可分为2个亚型。I型:该型感器与触角表面垂直生长,端部为钝圆或呈钩状,基部直径约为2.5~3.0 μm,顶端渐细,长约20~30 μm;II型:该型感器大部分匍匐于触角表面,也有部分与触角表面垂直生长,端部为钝圆,较I型短,基部直径约为1.5~2.5 μm,长约10~20 μm。



A. 触角鞭节内侧层层相叠的鳞片 Overlap squama of inner side scales of antennal flagella; B. 雌蛾触角毛感器 I, II Female, sensilla trichodea I, II; C, D. 雌蛾 (C)、雄蛾 (D) 触角毛形感器整体观 Female (C) and male (D), sensilla trichodea; E, F. 雄蛾触角毛形感器 I (E), II (F) Male, sensilla auricillica I (E), II (F).

图 1 豆野螟触角感器扫描电镜观察(a)

Fig.1 Observation on the antennal sensilla of *M. testulalis* with scanning electron microscope(a)



A, B. 雌蛾 (A)、雄蛾 (B) 触角腔锥形感器 Female (A) and male (B), sensilla coeloconica; C, D. 无缘毛 (C) 和具缘毛 (D) 腔锥形感器 Sensilla coeloconica; E, F. 雌蛾 (E)、雄蛾 (F) 触角耳形感器 Female (E) and male (F), sensilla auricillica.

图 2 豆野螟触角感器扫描电镜观察(b)

Fig.2 Observation on the antennal sensilla of *M. testulalis* with scanning electron microscope(b)

2)耳形感器(图 2-E~F)。耳形感器分布于触角各鞭节的背腹面,在节与节之间靠近内侧鳞片处。感器呈禾本科植物心叶状,基部表面凹陷,并从基部向前弯曲,几乎与触角表面平行;基部着生在臼状窝内,端部呈喇叭状。一般雄蛾中的感器多于雌蛾,雌蛾中的感器往往单个着生,而雄蛾则每节 2~3 个排列在一起,但排列顺序不规则。雌雄蛾感器长度也有差异:雌蛾约 17~20 μm ,基部直径 2~3 μm ;雄蛾约 16~18 μm ,基部直径 1~2 μm 。

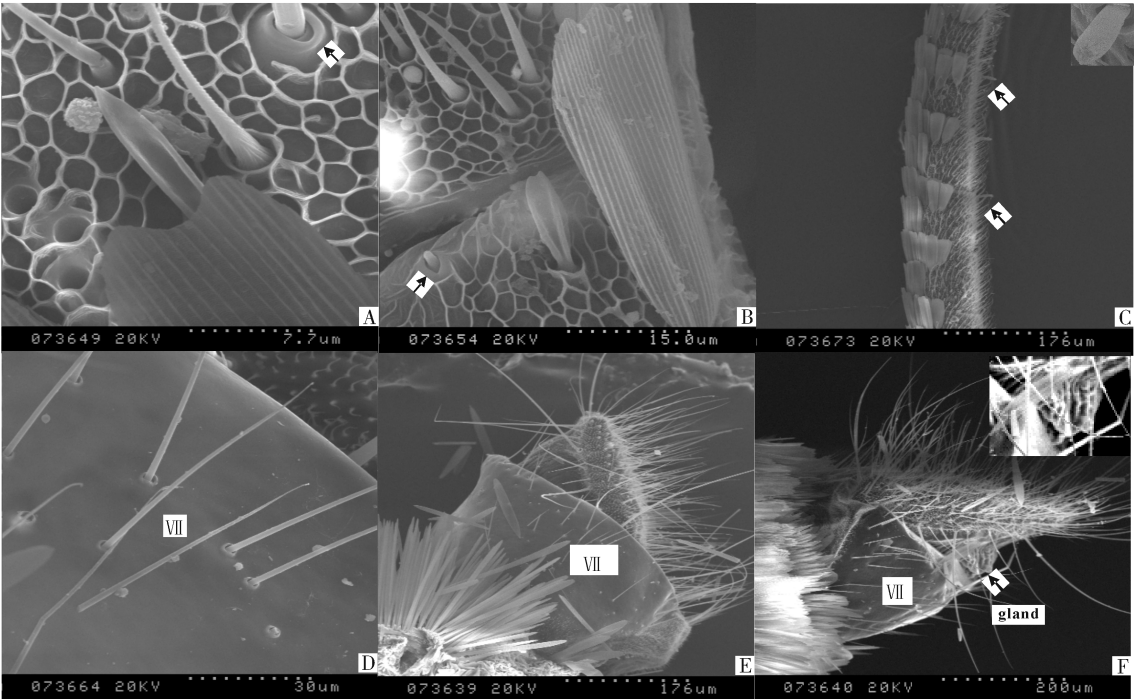
3)腔锥感器(图 2-A~D)。腔锥感器的感觉锥位于触角表皮的凹陷中,鞭节的端部明显多于中部和基部,主要分布于鞭节的外侧面。该类感器分为 2 个亚型。I 型:具缘毛腔锥感器,形状像菊花,是触角表皮向下凹陷形成的 1 个浅圆腔,腔的中心有 1 根直立的感觉锥,较长时常弯曲,但不会突出于凹陷外,腔的四周着生 14~16 根花瓣状的缘毛,缘毛呈弓形向中心弯曲,缘毛端相互交叉在一起。该腔直径约 10.5 μm ,缘毛长约 3 μm 。腔锥感器在雄蛾触角上多于雌蛾,腹面多于侧面,雌蛾鞭节每节分布 1~5 个,雄蛾每节分布 7~10 个,常聚集着生。

II 型:无缘毛腔锥感器,呈圆锥形,表皮凹陷形成的腔内有 1 根直立的感觉锥,无缘毛,长约 3~4 μm ,腔直径约 4 μm ,一般单个着生。

4)刺形感器(图 3-A)。该类感器在触角鞭节的端部分布较多,在触角表面比其他感器高出许多,呈 40°~60°角生长,刚直如刺,比毛形感器粗且长;顶部钝圆,基部有一特化的臼状窝,这是它与毛形感器最明显的区别;表面有明显的环纹或斜螺旋纹。刺形感器长约 30~40 μm ,基部直径约 4 μm ,臼状窝直径为 4.5 μm 。两性触角均有分布,雄蛾上此类感器分布较雌蛾多。

5)柱形感器(图 3-C)。柱形感器只分布于雄蛾触角鞭节的中部和基部。感器成柱状,整体较粗壮,表面具有明显的环纹或斜螺旋纹;顶部钝圆,基部着生于一臼状窝中,凹窝直径 6~8 μm ,感器直径 4~5 μm ,长约 12~14 μm ;鞭节小亚节的结合处各着生 1 个,但在雌蛾中未见,这可能与雄蛾特异性的感受某些化学物质有关。

6)未命名感器(图 3-B)。该类感器只在雌蛾触角上发现,且数量很少,分布在鞭节小亚节的结合



A. 雌蛾触角刺形感器 Female, sensilla cheatica; B. 雌蛾触角未知感器 Female, undefined sensilla; C. 雄蛾触角柱形感器 Male, sensilla cylindric(inset shows sensilla cylindric); D. 雌蛾腹部第 7 节表面观 Surface of the 7th abdominal segment; E. 第 8~9 节套在第 7 节 The 8, 9th abdominal segment contracted in the 7th segment; F. 腺体被挤压出(小图为放大的腺体)The sex gland is extruded by applying gentle pressure to the tip of the abdomen(inset shows sex pheromone).

图 3 豆野螟触角感器扫描电镜观察(c)

Fig. 3 Observation on the antennal sensilla of *M. testulalis* with scanning electron microscope(c)

处,呈 50°~80°角径直前伸,与刺形感器相似,但没有刺形感器粗壮,长度也短于刺形感器;基部着生于臼状窝中,凹窝直径 3.0~3.5 μm,感器直径 1.0~1.5 μm,长约 3.0~3.5 μm,近端部呈弧形。

2.2 性信息素腺体的扫描电镜观察

豆野螟雌蛾在静止时,腹部第 8 节和 9 节同时嵌套于第 7 节内(图 3-E),当求偶或人为用手轻轻挤压腹部末端时,产卵器外伸,性信息素腺体由皱褶变为展开,腺体细胞外露(图 3-F)。经扫描电镜进一步观察发现,第 7 节上着生有许多长短不等的刺状刚毛(图 3-D),长约 30 μm,基部直径约 3 μm,而在 2 节之间的节间膜上则无刚毛,其上有许多皱褶突出体,且表面结构和前后 2 节具有明显的界限,推测此处就是性信息素分泌腺细胞的位置。

2.3 气质联用的分析结果

为了进一步准确定位豆野螟的性腺位置,将该部分从腹部摘取,使用有机溶剂浸提,然后进行 GC-MS 分析。豆野螟的性信息素组分已经有相关的研究报道^[21],其主要成分包括(E,E)-10,12-16:Ald、(E,E)-10,12-16:OH、(E)-10-16:Ald。

为进一步确定豆野螟腺体的位置,使用性腺超微结构研究中的取样方法获得腺体,并进行 GC-MS 分析。测定与分析结果表明,在对应 3 种标准化合物性腺粗提物的全扫描质谱图中相应位置有 3 个峰(图 4),其中保留时间分别为 31.13 min 和 35.18 min 的 2 个峰,其分子峰分别为 m/z 236[M]⁺ 和 m/z 238[M]⁺,且具有共扼双烯的特征离子碎片 m/z 67,81,95;与具有共扼双键鳞翅目昆虫性信息素的质谱分析比较,这 2 个峰的质谱与分子重分别为 236 与 238,与 16 碳共扼双烯醛和共扼双烯醇相似^[8]。与标准化化合物的比较分析进一步表明,2 个组份的特征离子比例与相应的标准化合物(E,E)-10,12-16:Ald 和(E,E)-10,12-16:OH 一致,质谱图相同,保留时间一致。据此可进一步确定这 2 个峰分别为(E,E)-10,12-16:Ald 和(E,E)-10,12-16:OH。保留时间为 27.87 min、具有 m/z 238[M]⁺ 的分子峰,其特征离子比例与相应的标准化合物(E)-10-16:Ald 完全一致,质谱图相同,保留时间一致,推断其为(E)-10-16:Ald。由此可见,分析结果对腺体的定位是准确的。

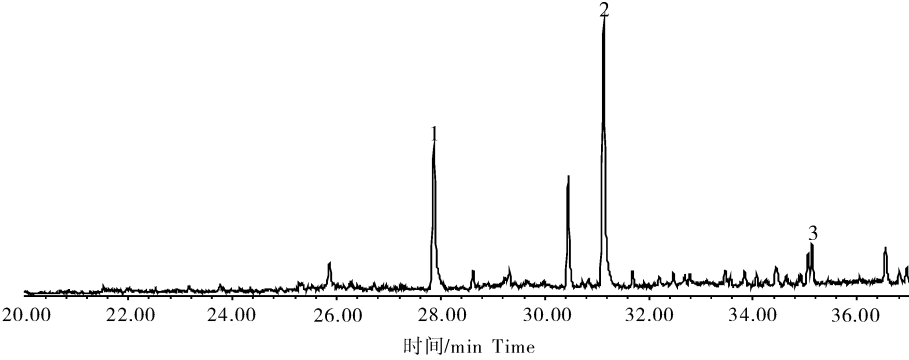


图 4 豆野螟性信息素腺体提取物(1,2 和 3)的总离子流图

Fig. 4 Total ion chromatogram of GC-MS analysis of sex pheromone gland extract (1,2 and 3) from *M. testulalis*

3 讨论

目前,随着应用昆虫信息素控制害虫的逐步深入,有关昆虫触角形态学、组织学及超微结构方面的报道日渐增多,特别是对鳞翅目昆虫触角感觉器表面微机构进行了大量的研究。一般来说,感器来源于表皮的特化细胞,感器内分布有感觉细胞,外部形态表现为毛、腔、栓、板或孔等。在整个触角的表面密布各类化学感受器,不同的化学感受器具有不同的功能^[9]。

笔者对豆野螟触角的扫描电镜观察发现,其触

角上分布的感受器共有 6 类,分别为毛形感器(sensilla trichodea)、刺形感器(sensilla cheatica)、腔锥感器(sensilla coeloconica)、耳形感器(sensilla auricillica)、柱形感器(sensilla cylindric)和一种未命名感器(sensilla undifined),其中触角上的化学感受器绝大部分分布在触角的鞭节。本试验观察结果没有看见栓锥感器,而是发现了一种新的感器。这与其他已经报道的关于豆野螟触角感器的研究结果不同^[10-11]。

感器的类型、数量和分布等随昆虫种类的不同相差很大。此外,同种昆虫雌雄触角上的化学感受

器数量和类型也有一定的差别^[12]。豆野螟雌蛾触角上的刺形感器、腔锥感器以及耳形感器均长于雄虫触角上对应感器的长度;但是毛形感器则正好相反,雄蛾触角上的该感器要长于雌蛾。此外,就分布密度而言,各感器在雌蛾触角上的分布较稀疏,而在雄蛾上的密度较大。说明雄蛾的触角相对更加发达,这和雄蛾触角接受性信息素的生理功能是吻合的。因为毛形感器主要感受性外激素,而对于鳞翅目蛾类昆虫而言,几乎大部分是雌蛾释放性信息素,雄蛾感受。所以毛型感器在雄蛾触角上的分布密度比雌蛾要大而且长度要大于雌蛾的同种感器^[13-14]。

大多数鳞翅目蛾类昆虫的性信息素分泌腺的位置和组织结构是比较固定的,主要位于腹部第8~9节之间特化的节间膜上,由表皮特化而成的肥大表皮细胞组成。细胞的形状有柱状、立方形和杯状等,腺体细胞外层直接覆盖着多层几丁质形成的表皮。细胞内产生的性信息素通过内表皮达外表皮至体外^[2,15]。

Raian等^[16]利用气相色谱(GC)、低温扫描电镜(low temperature scanning electron microscopy, LTSEM)、透射电镜(transmission electron microscopy, TEM)技术研究了美洲棉铃虫 *Helicoverpa zea* 性信息素腺体的超微结构及其与性信息素产生释放的关系。结果表明:性信息素腺体位于腹部第8~9节之间的节间膜上,而且腺体腹侧的滴度要高于背侧;性腺上的突出体是外表皮的延伸,由内表皮形成的空腔和许多孔道与腺体细胞相连;对性信息素腺体组织学的研究表明腺体拥有一个几乎连续的环。对小木蠹蛾 *Holcocerus insularis* 分泌腺的位置形态及超微结构进行的研究,也得到相似的结果,分泌腺同样位于第8~9节之间的节间膜特化而成的上皮组织,且腹面发育的更完善^[17]。但对某些昆虫种来说,性信息素分泌腺并不是一个完整的上皮环。Teal等^[18]对 *Heliothis virescens* 的研究发现,其性腺由2部分组成,一部分类似于大部分蛾类,即位于腹部第8~9节之间的节间膜;另一部分蛾类在腹部第9节的背产卵瓣上也有腺体组织分布。蛾类昆虫性信息素分泌腺大多位于腹末8~9节之间特化的节间膜上,但也有例外。剑角锦斑蛾 *Theresia imima ampelophaga* 性信息素分泌腺位于第3到第5腹节背板前端,其分泌腺包括2种类型的细胞:腺体细胞和包裹在其上的一层细胞,腺体通过一些孔道与外部表皮联系^[19]。

综上所述,对于大部分鳞翅目蛾类昆虫,在没有求偶的时候,腺体应该是一个复褶、双层结构,位于腹部第8~9节之间的节间膜上。当求偶或人为将其挤压,这一双层结构伸展,变为单层结构。对于某些昆虫种类,其腺体呈环状且是连续的,该环由表皮特化的柱状细胞组成;而对于其他昆虫种类,其腺体却不是连续的结构。大部分昆虫腺体分布在腹侧的几率要大于分布在背侧。由此可见,在研究某种昆虫的性信息素前,首先明确其性腺的结构和位置是很有必要的。

笔者对豆野螟触角感器的研究结果还表明,通过人为挤压,迫使豆野螟将其缩于第7节的第8~9节伸出,发现在腹末第8~9节之间,确实存在一个上面具有大量规则皱褶的腺体结构,并且与前后2节的外表皮组织有明显的差异。但是,因为没有将此2节完全分开,所以观察时只看到腺体结构的背侧。通过将腺体浸提,使用气相色谱 GC 进一步分析,结果表明提取的豆野螟性信息素主成分与已经报道的相关研究结果一致^[20]。同时,结合其他鳞翅目昆虫已有的性腺研究结果,可以断定豆野螟的性腺确实位于腹部第8~9节间的节间膜处。但是,豆野螟的性腺到底是不是一个完整的环,或者是否在其他的位置还存在另外的性腺组织结构,还需要进一步研究。

参 考 文 献

- [1] LJUNGBERG H, ANDERSON P, HANSSON B S. Physiology and morphology of pheromone-specific sensilla on the antennae of male and female *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. J Insect Physiol, 1993, 39(3): 253-260.
- [2] BAER R G, BERISFORD C W, HERMANN H R. Bioassay, histology and morphology of the pheromone-producing glands of *Rhyacionia frustrana*, *Rhyacionia rigidana*, and *Rhyacionia Subtropica*[J]. Ann Entomol Soc Am, 1976, 69(2): 307-340.
- [3] 孟宪佐. 我国昆虫信息素研究与应用的进展[J]. 昆虫知识, 2000, 37(2): 75-84.
- [4] 陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 等. 豆野螟成虫行为学特征及性信息素产生与释放节律[J]. 昆虫学报, 2007, 50(4): 335-342.
- [5] 陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 等. 豆野螟成虫日龄对交尾的影响及雄蛾对性信息素的触角电位反应[J]. 昆虫知识, 2007, 44(5): 665-670.
- [6] LU P F, QIAO H L, LEI C L. Daily rhythms of mating and of the stimulatory activity of the female pheromone release on male antennae in the legume pod borer, *Maruca vitrata* (Lepidoptera: Pyralidae)[J]. Entomol Gen, 2008, 31: 049-062.
- [7] SCHNEIDER D. Insect antennae[J]. Ann Rev Entomol, 1964,

9:103-122.

[8] ANDO T, OGURA Y, UCHIYAMA M. Mass spectra of lepidopterous sex pheromones with a conjugated diene system[J]. Agric Biol Chem, 1988, 52:1415-1423.

[9] 阎凤鸣. 化学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

[10] 温衍生, 赵冬香. 豇豆荚螟触角感器扫描电镜观察[J]. 热带作物学报, 2008, 29:525-529.

[11] 王霞, 徐静, 刘凤英, 等. 豇豆螟触角感器的电镜超微结构及嗅觉功能[J]. 昆虫学报, 2008, 51:1225-1234.

[12] STEINBRECHT R A, GNATZY W. Pheromone receptors in *Bombyx mori* and *Antheraea pernyi*. I Reconstruction of cellular organization of sensilla trichodea[J]. Cell Tissue Res, 1984, 235(1):25-34.

[13] ALMAAS T J, MUSTAPARTA H. *Heliothis virescens*: Response characteristics of receptor neurons in sensilla trichodea Type 1 and Type 2[J]. J Chem Ecol, 1991, 17(5):953-972.

[14] GNATZY W, MOHREN W, STEINBRECHT R A. Pheromone receptors in *Bombyx mori* and *Antheraea pernyi*. II Morphometric analysis[J]. Cell Tissue Res, 1994, 235(1):35-42.

[15] GATZ B. Die sexual duftstoffe a Lepidoptera[J]. Experienta, 1951, 7:406-418.

[16] RAINA A K, WERGIN W P, MURPH C A, et al. Structural organization of the sex pheromone gland in *Helicoverpa zea* in relation to pheromone production and release[J]. Arthropod Struct Dev, 2000, 29(4):343-353.

[17] 张金桐. 小木蠹蛾性信息素分泌腺的位置及组织学[J]. 昆虫学报, 2002, 45(4):430-435.

[18] TEAL P E A, CARLYSLE T C, TUMLINSON J H. Epidermal glands in terminal abdominal segments of female *Heliothis virescens* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae)[J]. Ann Entomol Soc Am, 1983, 76(2):242-247.

[19] HALLBERG E, SUBCHEV M. Unusual location and structure of female pheromone glands in *Therapsimima ampelophaga bayle-berelle* (Lepidoptera: Zygaenidae)[J]. Int J Insect Morphol Embryol, 1996, 25:381-389.

[20] 陆鹏飞, 乔海莉, 王小平, 等. 中国豇豆螟性信息素腺体组份的化学结构鉴定[J]. 昆虫知识, 2008, 45(2):236-239.

Location and ultrastructure observation on the antennal sensilla and sex pheromone gland in *Maruca testulalis* Geyer

LU Peng-fei¹ QIAO Hai-li² LEI Chao-liang¹

1. College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University / Key Laboratory of Insect Resources Utilization and Sustainable Pest Management of Hubei Province, Wuhan 430070, China;

2. Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, Beijing 100193, China

Abstract The morphology of antennae sensilla and sex pheromone gland of *Maruca testulalis* Geyer were observed under scanning electron microscope. Antennae were made up of scapus, pedicle and flagella. The latter consisted of 72-82 segments and was about 86-97 cm long. The upper surface of antennae was covered with cataphylla and most of the antennal sensilla lied on its side and lower surfaces. Six kinds of antennal sensilla were found in both sexes. Sensilla cylindric were observed on male antennae and an undefined sensilla was observed on female antennae only. Sensilla trichodeum of males were longer than that of females. The number of sensillum trichodeum was lesser on females antennae than males antennae. The study showed the sex pheromone gland was situated in the intersegmental membrane between the eighth and ninth abdominal segments, which was verified by GC-MS analysis.

Key words *Maruca testulalis* Geyer; antennal sensilla; sex pheromone gland; ultrastructure

(责任编辑:陈红叶)