

沉香暴食害虫黄野螟性信息素分泌源 EAG 和 GC-MS 分析

苏浩然^{1,2}, 王同飞², 文平^{2*}, 王刚², 庄翔麟¹ (1.西南林业大学/云南省森林灾害预警与控制重点实验室, 云南昆明 650051; 2.中国科学院西双版纳热带植物园热带森林生态重点实验室, 云南勐腊 666303)

摘要 为了探究黄野螟雌性信息素腺体的具体部位, 将雌蛾解剖为头、胸、腹、翅 4 部分, 分别使用其挥发性气味对雄蛾进行触角电生理(EAG)检测, 确定雌蛾腹部挥发物可以刺激黄野螟雄蛾产生最强的电生理响应。通过使用雌蛾腹部前、中、后 3 段的挥发物信号刺激雄蛾触角的电生理检测, 进一步发现雌蛾腹部中段挥发物信号对雄蛾触角具有最强电生理活性, 指示雌蛾腹部中段最可能是雌性信息素释放的主要部位。另外, 对雌蛾腹部 3 段结构提取挥发物的气相色谱-质谱联用(GC-MS)检测和总离子图(TIC)对比, 结果发现腹部中段挥发物成分中具有 2 个雌虫特异性成分, 为该组织最强电生理活性提供了可能的物质基础。该研究结果为进一步鉴定开发黄野螟的高效性诱剂确定了成分来源的重要基础。

关键词 螟蛾科; 黄野螟; 性信息素来源; 触角电位; 气质联用仪

中图分类号 S 763.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2023)01-0139-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.031



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Localization of the Sex Pheromone Source in Agarwood Defoliator *Heortia vitessoides* Moore

SU Hao-ran^{1,2}, WANG Tong-fei², WEN Ping^{2*} et al (1.Key Laboratory of Forest Disaster Warning and Control in Yunnan Province/South-west Forestry University, Kunming, Yunnan 650051; 2.Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303)

Abstract In order to explore the specific location of sex pheromone glands in female moths, we dissected female moths into four segments: head, thorax, abdomen and wing, and conducted electroantennogram (EAG) tests using the male antennae. Then we dissected the female abdomen into front, middle and hind segments for EAG. Finally, the three female abdominal segments were extracted by headspace solid phase micro-extraction (HS-SPME) for gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). The abdomen was identified as the most EAG active. Further dissection confirmed the strongest response was from the middle abdominal segments. Comparative analysis for the total ion chromatograph (TIC) revealed two female EAG active abdominal segments specific peaks as candidate pheromone compounds. The female middle abdominal segments were identified as the most EAG active and there are two female EAG active abdominal segments specific peaks as candidate pheromone compounds. This provided strong basis for the identification and design of high efficiency sex pheromone lure for *H. vitessoides* control.

Key words Pyraloidea; *Heortia vitessoides*; Sex pheromone source; EAG; GC-MS

昆虫通过雌、雄个体间释放与接收信息素来进行繁殖行为^[1]。鳞翅目螟蛾总科成虫的性信息素腺体发达, 在雌、雄个体间存在多种信息素来源腺体^[2]。研究发现, 螟蛾总科成虫的信息素腺体主要分布于雌虫腹部末端的腹节节间膜和雄虫翅腺上。如豆野螟(*Maruca testulalis* Geyer)^[3]、麻株蛀斑螟(*Hypsipyla robusta*)^[4]以及竹织叶野螟(*Algedonia coclesalis* Walker)^[5]的信息素分泌腺存在于腹部末节第 8 节与第 9 节的腹节节间膜上。烟草粉斑螟(*Ephestia elutella*)^[6-7]、印度谷螟(*Plodia interpunctella*)^[8]雄蛾的信息素腺体存在于其翅腺上。在对昆虫信息素的研究中, 确认信息素释放腺体位置成为准确鉴定信息素重要前提基础。

沉香属(*Aquilaria*)植物是中药沉香的来源^[9-10], 为我国南方的重要经济林木树种。黄野螟(*Heortia vitessoides* Moore)是土沉香(*A. sinensis*)等重要沉香种植园栽培苗木上的主要暴食性害虫。危害时常将沉香叶片啃食至仅剩叶脉, 啃食完叶片后还会取食沉香小枝表皮, 这直接影响了沉香生长, 导致沉香结香量下降; 甚至, 防治不及时, 经过 2~3 次暴食危害后, 沉香苗木常成片呈火烧状枯死^[11-12], 造成经济损失和环境影响。要保护土沉香健康生长就必须对黄野螟进

行有效防治。化学防治是目前防治黄野螟的主要手段^[13], 但因抗药性导致的用药过量又会影响药用沉香的农残水平和结香品质, 同时杀伤黄野螟的天敌, 并对环境造成污染^[14]。因此迫切需要研究、开发黄野螟的绿色防控技术, 其中性信息素具有较好应用前景^[15]。使用性信息素对害虫进行防治具有高效绿色的优点, 需要通过逐步鉴定来确认性信息素关键组分结构和比例后进行开发, 而首先需要确认的是性信息素的产生或释放的部位。黄野螟的性信息素已经得到了关注, 按照文献报道的常见螟蛾科性信息素腺体部位^[2], 研究者以黄野螟雌蛾腹部第 8 节与第 9 节的性腺为其性信息素提取部位进行提取^[16-17], 在黄野螟羽化高峰期使用多头处女雌蛾的性腺提取物进行林间引诱, 诱蛾量在几十只每天。但根据黄野螟的产卵量和暴发特性, 林间成蛾数量可达成百上千, 说明重捕率有限^[18]。此外, 直接使用腺体提取物进行检测中, 从图谱上看, 并没有发现很明显的性信息素主要成分^[16]。所以推测黄野螟雌蛾腹末的第 8、第 9 节并不是其分泌和释放信息素的主要部位, 因此很有必要对其他可能释放性信息素的虫体部位进行细致的检测确认。

笔者以黄野螟为研究对象, 将处于暗周期下的黄野螟雌蛾各部位进行分段解剖, 放入滴管内制成味源管后, 使用昆虫触角电生理系统(electroantennogram, EAG)分别检测对比雌蛾各部位分段气味对黄野螟雄蛾 EAG 响应, 并与文献中所用的雌蛾腹部第 8~9 节提取物气味功能进行对比, 以鉴定

作者简介 苏浩然(1996—), 男, 云南普洱人, 硕士研究生, 研究方向: 昆虫行为学。* 通信作者, 副研究员, 从事化学生态学为主的交叉学科研究。

收稿日期 2022-02-24

黄野螟雌蛾分泌气味对雄蛾产生特异性 EAG 活性成分的部位。随后使用固相微萃取顶空 (solid phase microextraction, HP-SPME) 对能产生强 EAG 响应的部位进行挥发物提取, 并使用气相色谱-质谱联用仪 (Gas chromatography-Mass Spectrometry, GC-MS) 对所挥发物进行离子流分析, 以判定黄野螟雌蛾性信息素分泌腺体所在部位, 从而为黄野螟性信息素准确鉴定提供腺体组织定位的工作基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫 供试黄野螟均采自中国科学院西双版纳热带植物园, 在沉香苗圃中调查虫害后将带有卵块的沉香叶片采集并放入塑料盒 (长 14.0 cm、宽 8.0 cm、高 6.0 cm) 内, 在盒盖上开若干小孔以保持空气流通。卵表面变为深黄并带有黑点时, 在卵上方放置一片健康的沉香顶部嫩叶, 以保证幼虫孵化后有充足的食物。1~3 龄幼虫每 100 头左右放置到一盒中, 每日提供 3~5 片沉香嫩叶。3~5 龄幼虫需每 20 头放置到一盒内饲养, 每日提供 10~20 片成熟沉香叶片并清除盒内粪便, 防止黄野螟染病死亡。将 5 龄以后、体表变为黄色且不继续取食叶片的黄野螟幼虫 15 头一盒放入化蛹盒内 (化蛹盒为长 14.0 cm、宽 8.0 cm、高 6.0 cm 的塑料盒, 在塑料盒内添加 2.0 cm 厚的江沙土, 并使用去离子水保持盒内湿度 50%。江沙土需先过 10 目筛, 取细颗粒, 再过 60 目筛, 取粗颗粒, 作为化蛹的土壤基质)。将刚羽化的黄野螟成虫单独放入直径 3.0 cm、高 11.0 cm 的塑料离心管内, 用棉签饲喂 15% 蔗糖溶液补充营养, 成虫羽化后 0~24 h 视为 1 日龄, 24~48 h 为 2 日龄, 依此类推。黄野螟培养条件为室温 (20~28 °C)、湿度 70%~80%, 成虫光周期/暗周期为 12 h/12 h。待测及待解剖的黄野螟在试验前喂食后放入黑暗环境中静置 4 h 以上, 进入求偶行为活跃的暗周期, 以保证性信息素正处于大量分泌阶段。取样后立即进行解剖, 开展试验。

1.2 雌虫解剖物气味 EAG 测定 参照文献 [18], 选择 20 头在黑暗环境中静置 4 h 以上的 2 日龄雌蛾, 使用微型眼科剪刀将其腹末第 8、9 节剪下后放置样品瓶内, 使用 50 μ L 重蒸正己烷将其淹没, 在 4 °C 浸提 2 h, 将粗提物转移至干净的样品瓶内, 冷藏备用。

因为文献方法提取的雌蛾性腺样品对雄蛾触角电生理反应不明显, 解剖雌蛾各部位作为样品, 使用触角电位仪重新定位对雄蛾触角有强电生理活性反应的雌蛾信息素来源部位。解剖方法: 使用镊子和解剖剪将雌蛾解剖为头部 (H)、胸部 (T)、腹部 (AB)、翅 (W) 4 个分段。将能引起雄蛾强电生理反应的雌蛾腹部进一步细分为腹部前段 (AF) (腹部第 1、第 2 节)、腹部中段 (AM) (腹部第 3、第 4、第 5 节)、腹部后端 (AH) (腹部第 6、第 7、第 8、第 9 节) 3 个分段。

在 2.0 mL 滴管内放入洁净的小团脱脂棉, 后将雌蛾各分段解剖物以及 1 头在黑暗环境中静置 4 h 以上的 2 日龄雌蛾分别放入滴管中。使用打孔器将滤纸打成小片状, 使用重蒸正己烷润洗小纸片, 在风干后的小纸片上滴加 5.0 μ L 黄野螟雌蛾性腺粗提液, 挥干溶剂后将其放入 2.0 mL 气味管内; 以同样方法在风干的小纸片上滴加 5.0 μ L 正己烷后将其放

入 2.0 mL 滴管内作为对照 (CK)。所有解剖物和完整雌蛾均分别放入滴管中, 并做好标记。雄蛾在 3 组试验中分别测试 52、48 和 48 头; 雌蛾在 2 组试验中分别测试 36 和 24 头。每 3 次测试, 更换一次雌蛾解剖物及提取物。

对雄蛾触角进行的 EAG 试验中, 共有使用 CK、GE、H、T、AB、W、FM 和 CK、AF、AM、AH 以及 CK、GE、AM、AB 的 3 组对照试验; 而在对雌蛾触角进行的 EAG 试验中, 仅进行了使用 CK、GE、H、T、AB、W、FM 和 CK、AF、AM、AH 的 2 组对照试验。

EAG 系统包括: 1 台 IDAC-4 数据记录控制器 (Syntech, 德国)、2 个 GAIN 10X 通用单端电极 (Syntech, 德国) 以及 1 台 CS-55 刺激气流发生器 (Syntech, 德国)。在每一次测试中, 都切下黄野螟的头部, 将其连接至装有生理盐水的接地玻璃电极中, 用虹膜剪剪开 2 个触角端部第一小节, 并将其分别安装在 2 个同样装有生理盐水的玻璃记录电极内, 用 0.4 mm 的银丝将玻璃电极分别连接到 2 个探头输入端和 1 个接地之间, 电极中充满生理盐水。背景气流使用超纯水加湿后, 流经去除静电的接地铜网, 调节流速使味管出口风速 42.0 cm/s, 刺激气流为补偿接入, 切换气味时, 总流量不变, 无气流振动干扰。每次刺激 2.0 s, 每次刺激之间等待 25.0 s 更换气味源。使用 GC-EAD V4.6 软件 (SYNTECH, 德国) 分别记录雌、雄蛾的触角电位响应值, 以供分析。

1.3 活性腺体的 HS-SPME-GC-MS 联用分析 将有最强 EAG 反应的虫体分段组织样品, 转入洁净的 2.0 mL 样品瓶 (Agilent, 美国) 中, 使用 SPME 在室温下顶空提取 1.5 h 后进行 GC-MS 热解析。同时还剪取雄虫腹部作对比, 每个样品测试 3 次。

GC-MS 仪器为 HP 7890A-5975B GC-MS 系统 (Agilent, 美国), 所用色谱柱为 HP-5ms (30 m $\times$ 250 μ m $\times$ 0.25 μ m, Agilent, 美国), 载气设置为 1 mL/min (He 气, 纯度 $\geq$ 99.999%)。将 SPME 提取到的挥发气味以不分流的形式在进样口温度为 250 °C 的条件下, 注入到 GC-MS 的进样口中。设置柱箱的升温程序: 以 50 °C 的初始温度保留 4 min, 后以 10 °C/min 升至 280 °C 后保留 15 min; EI 源加热至 230 °C, 电离能量为 70 eV; MS 四极杆加热到 150 °C; 扫描质量范围为 m/z 28.5 ~ 300, 阈值为 10。最后使用 MSD ChemStation 软件 (Agilent, 美国) 来分析数据。

1.4 数据处理 使用 Origin 软件对雌、雄蛾各样品的 EAG 响应数据进行重复测量方差分析 (One-way ANOVA), 样品间平均值的差异使用 Sidak 法检测 ($P < 0.05$)。对两性成虫各自最有活性的样品 EAG 活性差异进行 T 检验分析 ($P < 0.001$)。

2 结果与分析

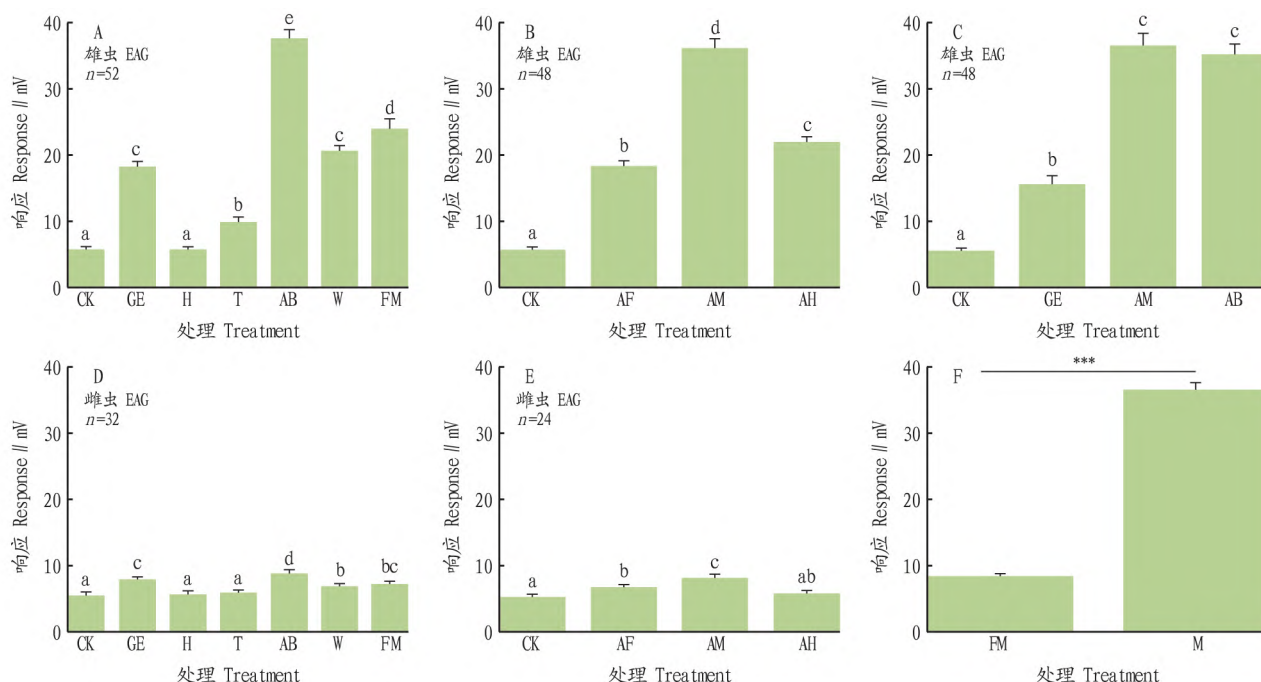
2.1 触角电位

2.1.1 黄野螟雄蛾 EAG 反应。 黄野螟雄蛾触角对雌蛾各部位解剖样品的 EAG 反应结果见图 1。当使用雌蛾不同解剖部位物气味刺激雄蛾触角, 不同样品气味刺激对雄蛾产生的 EAG 响应有显著影响 [ANOVA: $F(1, 51) = 895.99$, $P < 0.05$] 其中雄蛾对雌蛾腹部分段 (AB) 的响应最强 (37.69 $\pm$

1.18) mV(图 1A)。当使用雌蛾腹部不同分段解剖物气味刺激雄蛾触角时,分段样品气味刺激对雄蛾 EAG 响应有显著影响(ANOVA: $F(1, 47) = 1\,621.63$, $P < 0.005$) ,其中雄蛾触角对雌蛾腹部中段(AM)的 EAG 反应最强 [(36.33±1.26) mV](图 1B);当使用前述 2 个分析中最有活性的 2 个样品(AB 与 AM)与文献中腺体提取物的气味(GE)^[16]刺激雄蛾触角时,雄蛾对雌蛾腹部中段 [(36.60±1.74) mV]和对整个腹部 [(35.04±1.66) mV]的 EAG 响应值差异不显著(T 检验 $t = 1.32$, $P > 0.05$) ,但均显著高于文献提到的雌蛾腺体提取物气味刺激雄蛾时产生的 EAG 响应值[GE: (15.70±1.15) mV](T 检验 AM: GE $t = 17.78$, $P < 0.05$; AB: GE $t = 16.45$, $P < 0.05$)

(图 1C)。

2.1.2 黄野螟雌蛾 EAG 反应。在测试雌蛾对其他雌蛾解剖物气味的 EAG 响应时,尽管雌蛾表现出同样的响应模式,即雌蛾不同解剖部位气味对雌蛾产生的 EAG 响应有显著影响[ANOVA: $F(1, 31) = 320.14$, $P < 0.05$] ,其中对腹部分段的气味(AB)响应最强 [(8.93±0.47) mV](图 1D);雌虫腹部分段解剖物响应显著[ANOVA: $F(1, 27) = 275.82$, $P < 0.05$] ,其中对腹部中段(AM)的响应最强 [(8.12±0.48) mV](图 1E)。雌($n = 56$)、雄($n = 100$)两性成虫触角对最强活性样品(AM、AB)的 EAG 响应有明显的性二型($P < 0.001$)(图 1F)。



注: A.雄蛾对雌蛾各解剖分段气味的 EAG 响应; B.雄蛾对雌蛾腹部前、中、后 3 段气味的触角电生理响应; C.雄蛾对雌蛾性腺提取物、腹部中段、腹部的 EAG 反应; D.雌蛾对雌蛾各解剖分段气味的 EAG 响应; E.雌蛾对雌蛾腹部前、中、后 3 段气味的 EAG 响应; F.雌蛾、雄蛾对能产生强 EAG 响应的分段(AM、AB)气味的 EAG 反应。在图 A、B、C、D、E 中 CK 代表对照组气味,GE 代表雌蛾性腺提取物气味, H 代表雌蛾头部气味, T 代表雌蛾胸部气味, AB 代表雌蛾腹部气味, W 代表雌蛾翅气味, FM 代表整个雌蛾的气味, AF 代表雌蛾腹部前段的气味, AM 代表雌蛾腹部中段的气味, AH 代表雌蛾腹部后段的气味。图 F 中 FM 与 M 分别代表雌蛾与雄蛾。不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)。n 表示样本量。图 F 中***表示具有极显著差异($P < 0.001$)。

Note: A. Male EAG responses to female body dissections; B. Male EAG response to female dissected abdominal segments, AF, AM and AH; C. Males response to GE, AM and AB; D. Female EAG response to female body dissections; E. Male EAG response to female abdominal dissections; F. Comparison of male and female response to candidate pheromone resources (AM and AB). GE is the extract of gland (tip segments of female abdomen) reported in reference, H is the head, T is thorax, AB is whole abdomen, W is short for four wings, FM is short for female, AF is the forepart of abdomen, AM is the middle abdominal segments, AH is the hind-part of abdomen and M is short for males. Different lowercases indicated significant difference ($P < 0.05$). n indicated number of sample. *** indicated significant difference ($P < 0.001$).

图 1 黄野螟性信息素来源电生理活性鉴定

Fig.1 Identification of electrophysiological active sex pheromone sources in *Heortia vitessoides* Moore

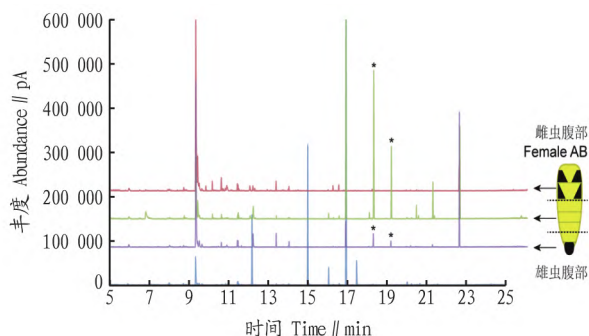
2.2 黄野螟雌、雄蛾腹部挥发物成分检测 利用 SPME 分别顶空提取了雌蛾腹部各解剖分段以及雄蛾腹部的挥发物后,使用 GC-MS 来检测挥发物气味。结果表明,雌、雄蛾腹部挥发物成分有性二型差异(图 2)。雌蛾的腹部中段样品中含有 2 个雌蛾特异的化合物(图 2 中以“*”标出),雌蛾腹部末段也含有这些特异活性化合物,但其含量较少,而雌蛾腹部

前段及雄蛾腹部均不含这些化合物。质谱检索结果分析表明 2 个成分为信息素类似物,但结构未知。

3 结论与讨论

该研究将雌性黄野螟不同部位进行解剖后使用不同部位分段对黄野螟雄蛾进行 EAG 试验,发现雌蛾腹部中段对雄蛾产生的触角电位响应最强,其活性高于文献报道的雌蛾

腹部第 8、9 节的提取物^[16]对黄野螟雄蛾所产生的触角电生理响应值,推测黄野螟性信息素主要富集于雌蛾腹部中段。使用 SPME 对雌蛾腹部 3 个分段进行了挥发物提取,用雄蛾腹部挥发物作为对比,通过 GC-MS 检测 TIC 发现了雌蛾腹部中段具有 2 种雌虫特异的活性化合物,这 2 种化合物在雌蛾腹部后端中也少量存在。这与腹部中段 EAG 响应最高,腹部后段 EAG 响应次高相对应。后续需要进一步开展气相色谱-触角电位联用(gas chromatography-electroantennograph-ic detection, GC-EAD) 技术进行化合物活性确认。



注 “*” 标记了雌蛾腹部强活性段的特有成分。

Noted “*” Compounds specific to highly active female abdominal segments.

图 2 雌蛾腹部分段解剖挥发物与雄蛾腹部挥发物总离子流图比较

Fig.2 TIC comparison for the volatile compounds from the female and male dissections

该研究结果发现黄野螟雌蛾腹部中段对雄蛾触角产生较强电生理响应,为含雌蛾特异性化合物最多的体段,在今后提取黄野螟雌蛾信息素的工作中,主要提取部位应是其腹部中段。而腹部末端对雄蛾触角产生的电生理响应为次强,且含有一定量的雌蛾特异性化合物。这也与文献报道的腹部末端行为特性及相应提取物的引诱活性相吻合,如对黄野螟的生殖行为节律的研究发现雌蛾在求偶时会将其腹部第 8、第 9 节伸出腹部,从而吸引雄蛾前来进行交配^[19];且最末端的腹节提取物能够在野外诱捕到适量的雄蛾^[18]。这也提示第 6~9 腹节可能也具有信息素分泌结构。

在研究方法上,该研究也再次明确了鉴定性信息素来源

作为关键环节在昆虫信息素鉴定研究中的重要性。东南亚热带森林昆虫具有特殊的昆虫区系,属于东洋区,许多昆虫的形态和生理特征与环境压力相适应,具有区域特点,需仔细区别验证。将来还需要进一步开展组织切片观察该研究所确认的分泌部位结构,确认腺体分泌组织是否存在于黄野螟成虫腹部中段的第 3、4、5、6 节中。

参考文献

- [1] WITZGALL P, KIRSCH P, CORK A. Sex pheromones and their impact on pest management [J]. Journal of chemical ecology, 2010, 36(1): 80-100.
- [2] 王丽平, 嵇保中, 刘曙雯, 等. 螟蛾总科昆虫性信息素的种类、分泌及感受机制研究 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(4): 585-596.
- [3] 陆鹏飞, 乔海莉, 雷朝亮. 豆野螟触角化感器和性信息素分泌腺的位置及超微结构 [J]. 华中农业大学学报, 2011, 30(4): 448-454.
- [4] 卢进, 刘志韬, 李莉玲, 等. 麻楝蛀斑螟触角感器和雌性信息素分泌腺的超微结构观察 [J]. 河南农业科学, 2015, 44(6): 96-100.
- [5] 刘曼, 杨茂发, 徐思远, 等. 竹织叶野螟成虫求偶行为及其雌蛾性信息素分泌腺超微结构 [J]. 昆虫学报, 2014, 57(8): 879-888.
- [6] KRASNOFF S B, VICK K W. Male wing-gland pheromone of *Ephestia elutella* [J]. Journal of chemical ecology, 1984, 10(4): 667-679.
- [7] PHELAN P L, SILK P J, NORTHOTT C J, et al. Chemical-identification and behavioral characterization of male wing pheromone of *Ephestia elutella* (Pyralidae) [J]. Journal of chemical ecology, 1986, 12(1): 135-146.
- [8] GRANT G G. Male sex-pheromone from the wing glands of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hbn.) (Lepidoptera: Phycitidae) [J]. Experimentia, 1974, 30(8): 917-918.
- [9] 李凯明, 马清温, 孙震晓. 中药沉香主要化学成分与质量评价研究进展 [J]. 中国新药杂志, 2017, 26(13): 1538-1545.
- [10] 杨懋勋, 梁耀光, 陈河如, 等. 野生白木香叶化学成分研究 [J]. 中草药, 2014, 45(14): 1989-1992.
- [11] 乔海莉, 陆鹏飞, 陈君, 等. 虫害诱导的白木香挥发物对黄野螟及其天敌的驱避和引诱作用 [C]//中国第七届植物化感作用学术研讨会论文摘要集. 昆明: 中国植物保护学会植物化感作用专业委员会, 2015: 30.
- [12] 吴顺福, 王巧燕. 勐海县土沉香种植现状及发展研究 [J]. 林业调查规划, 2016, 41(5): 115-117, 130.
- [13] 卢进, 刘怡, 李莉玲, 等. 7 种杀虫剂对黄野螟的药效试验 [J]. 山东林业科技, 2014, 44(6): 37-39.
- [14] 邱琼, 杨德军, 刘际梅, 等. 5 种药剂对黄野螟幼虫的林间防治试验 [J]. 四川林业科技, 2019, 40(1): 59-60, 91.
- [15] 洪仁辉, 尹吉锋, 陈彧, 等. 白木香重要害虫黄野螟研究进展 [J]. 热带林业, 2019, 47(3): 66-68.
- [16] 张胜男, 沈婧, 牟静, 等. 不同方法提取黄野螟性信息素粗提物组分 GC-MS 分析 [J]. 河北林业科技, 2016(3): 1-5.
- [17] 周亚奎, 战晴晴, 赵祥升, 等. 白木香黄野螟防治简述及性信息素应用展望 [J]. 中国农业信息, 2017(3): 49-52.
- [18] 周亚奎, 乔海莉, 卢丽兰, 等. 黄野螟成虫羽化和性信息素释放节律研究 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39(10): 27-30, 60.
- [19] 王忠, 谢伟忠, 朱诚棋, 等. 黄野螟的羽化和生殖行为节律 [J]. 中国森林病虫, 2018, 37(1): 24-27, 30.