

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1787.2012.02.012

芒果不同部位挥发物及横线尾夜蛾对其触角电位反应

田厚军, 陈艺欣, 魏 辉*, 邱良妙, 刘其全, 石 妍, 占志雄*
福建省农业科学院植物保护研究所, 福建 福州 350013

摘要:【背景】芒果横线尾夜蛾是严重危害芒果花序和嫩梢的重要害虫,其发生面积不断扩大,给我国南方芒果造成了巨大损失。【方法】通过气质联用仪(GC-MS)对芒果花、梢和成熟果实的挥发性物质及其相对含量进行分析;采用触角电生理方法,测定不同性别和交配状态的芒果横线尾夜蛾对12种芒果挥发物的触角电位反应。【结果】芒果3个部位的挥发性物质多为萜烯类化合物,主要物质(相对含量在0.06%以上)的数量分别为芒果花中22种、梢11种和成熟芒果13种。芒果花中含量较高的为 α -水芹烯(43.64%)和异松油烯(29.33%);芒果梢中 α -古芸烯(23.63%)含量最高;成熟芒果中 β -石竹烯含量最高,为29.47%。仅异松油烯和 β -蒾澄茄油烯在芒果3个部位中均被检测到,但其含量差异较大;异松油烯在花、梢、果实中的含量分别为29.33%、19.99%、0.59%,而 β -蒾澄茄油烯分别为3.51%、2.18%、6.05%。芒果横线尾夜蛾未交配雌、雄蛾和已交配雌、雄蛾对同一种化合物的触角电位相对值之间均无显著差异。4种成蛾对反-2-己烯醛的触角电位反应值与其他化合物相比均有显著差异。交配后雌、雄蛾的触角电位反应值均有所降低,但与交配前相比无显著差异。【结论与意义】筛选出的反-2-己烯醛可作为横线尾夜蛾信息素的增效物质,对性引诱剂的研制具有重要意义。本研究可为从化学信号角度阐明横线尾夜蛾寄主定向和雌、雄交配机理,以及其致害机理提供依据。

关键词: 芒果; 横线尾夜蛾; 挥发性物质; 气质联用; 触角电位反应

Volatiles emitted by mango (*Mangifera indica*) plants and electrophysiological responses of *Chlumetia transverse* to such volatiles

Hou-jun TIAN, Yi-xin CHEN, Hui WEI*, Liang-miao QIU, Qi-quan LIU, Yan SHI, Zhi-xiong ZHAN*
Institute of Plant Protection, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China

Abstract: 【Background】*Chlumetia transverse* Walker seriously damages inflorescence and tender tip and expands its distributed areas incessantly, which has caused great losses to south of China. 【Method】Chemical constituents and their relative content of mango volatiles at different parts (flowers, shoots and mature fruits) were comparatively analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Electroantennogram (EAG) was employed to record the electrophysiological responses of different gender and mating state of *C. transverse* adults to twelve of the volatiles. 【Result】The major volatile components from flowers, shoots and fruits were terpenes. The numbers of major terpenes (relative content over 0.06%) were 22, 11 and 13 in flowers, shoots and fruits, respectively. The major volatile components in flowers were α -phellandrene (43.64%) and terpinolene (29.33%), while α -curjunene (23.63%) and β -caryophyllene (29.47%) predominated in shoots and fruits, respectively. There were only 2 common components, terpinolene and β -cubebene that had different relative content at various plant parts. The relative contents of terpinolene were 29.33%, 19.99%, 0.59%, and that of β -cubebene were 3.51%, 2.18%, 6.05% in blossom, shoot and fruit, respectively. EAG response relative values in virgin female, unmated male, mated female and mated male individuals of *C. transverse* to the same compound did not show significant differences ($P > 0.05$). The EAG responses to trans-2-hexen-1-al were significantly different from EAG responses to other compounds in both mated and unmated adults. The EAG responses in virgin females and unmated males were a bit higher than that of mated female and male, but not significantly. 【Conclusion and significance】We could develop the sex pheromone attractant of *C. transverse* by using trans-2-hexen-1-al as a synergistic agent. The study maybe provide a scientific basis for expounding harmfulness mechanism of *C. transverse* from the point of view of chemical signal.

Key words: *Mangifera indica*; *Chlumetia transverse*; volatiles; gas chromatography-mass spectrometry; electroantennogram

收稿日期(Received): 2012-04-01 接受日期(Accepted): 2012-04-29
基金项目: 农业部公益性行业科研专项(200903034); 福建省属公益类科研院所基本科研专项(2011R1026-5); 福建省农科院青年科技人才创新基金(2011QB-17)
作者简介: 田厚军, 男, 助理研究员。研究方向: 昆虫化学生态学与农业害虫防治
* 通讯作者(Author for correspondence): 占志雄, E-mail: zzx64@sohu.com; 魏辉, E-mail: weihui318@hotmail.com

芒果横线尾夜蛾 *Chlumetia transverse* Walker 又名蛀梢夜蛾、钻心虫,属鳞翅目夜蛾科。在我国分布于广东、广西、海南、云南、福建和台湾等省,国外芒果产区如泰国和印度也有广泛分布。由于芒果经济价值较高,近年来大量种植。芒果横线尾夜蛾幼虫蛀食芒果嫩梢和花穗,引起嫩梢枯死、花序顶部丛生或枯死,影响果树的正常生长发育和产量。据初步调查,嫩梢的受害率在 35% 以上,花穗受害率在 25% 以上(何林和杨永生,2003)。目前,对该虫的防治基本依赖化学农药(陈业渊等,2001;陈永森等,2009;高松峰等,2000;彭正强等,2008),既污染环境,又容易产生抗药性。

目前,国内外已对多种鳞翅目昆虫的触角感觉器进行了表面细微结构的研究(王桂荣等,2002;杨广等,2001;Hallberg *et al.*,1994),但对横线尾夜蛾研究较少,且多为发生为害以及触角电镜扫描等的初步描述(冯荣扬,1997;何林,2003;莫圣书和赵冬香,2006)。有关其雌、雄成虫生理生化特征、幼虫为害特性、性信息素、寄主选择机理等均未见报道。周志军和王世贵(2005)证实,横线尾夜蛾触角感觉器是接受外界化学信息的主要结构,具有嗅觉、触觉和听觉等功能(刘玉双和石福明,2005;Zacharuk,1980)。

植物挥发性次生物质是昆虫借以寻找寄主或产卵场所的一类它感信息化合物,调控着昆虫对寄主植物的定向、识别和取食等行为(杜家纬,2001)。不同昆虫对植物挥发性物质的感受能力有着显著差异。许多植物在特定时间和空间都会产生具有各自特性的气味,植食性昆虫以这些气味为线索准确寻找和定位寄主植物(Bruce *et al.*,2005)。以棉铃虫 *Heliothis armigera* (Hubner)为例,寄主植物信号物质中的六碳醇和醛能引起其雌、雄虫触角电位反应(electroantennogram,EAG)(Chen *et al.*,1997)。本研究采用电生理方法,测定芒果横线尾夜蛾雌、雄成虫对 12 种芒果挥发物的触角电位反应,为从化学信号角度阐明其寄主定向和雌、雄交配机理,探讨受害器官与果实、植物天然化学信号物质、害虫三者之间的关系,阐明害虫致害机理提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

横线尾夜蛾幼虫或成虫采集于福建省福清市,

于福建省植物保护研究所饲养室用嫩叶、嫩梢饲养。化蛹后用指形管单只分装,羽化后分别取 2 日龄未交配雌、雄蛾进行电生理行为测定;化蛹后挑取 1 对蛹分装于同一只指形管中,羽化并交配后用于电生理行为测定。蛹和成虫饲养温度(25 ± 1.0) °C,光照时间 $16 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,相对湿度 65% ~ 75%。

根据本试验测得以及已报道的芒果挥发物种类及结构特点,选取具有代表性的信息化合物 12 种:乙酸乙酯(ethyl acetate)为分析纯,购自天津市科密欧化学试剂开发中心;纯度分别为 $\geq 85.0\%$ 和 $\geq 95.0\%$ 的异松油烯(terpinolene)和 α -水芹烯(α -phellandrene)购自 Fluka 公司;纯度分别为 $\geq 95.0\%$ 、 $\geq 98.5\%$ 、 $\geq 97.0\%$ 、 $\geq 70.0\%$ 、 $\geq 85.0\%$ 、 90.0% 、 99.0% 、 $\geq 98.0\%$ 、 99.0% 、 98.0% 的 β -香叶烯(β -myrcene)、 β -石竹烯(β -caryophyllene)、香橙烯(aromadendrene)、朱栾倍半萜(valencene)、 α -法呢烯(α -farnesene)、(+)-3-坎烯[(+)-3-carene]、 α -萜品烯(α -terpinene)、反-2-己烯-1-醛(trans-2-hexen-1-al)、(1R)-(+)- α -蒎烯[(1R)-(+)- α -pinene]、顺-3-己烯醇(Z-3-hexen-1-ol)(作为参照)购自 Sigma Aldrich 公司。石蜡油(paraffin)购自北京化工厂。

SPME 萃取柄(Supleco 公司),100 μm 聚二甲基硅氧烷(PDMS)萃取头(Supleco 公司),Saturn 3900/2100 气相色谱—质谱联用仪(美国 Varian 公司)。触角电位仪(荷兰 Syntech 公司)主要包括毛细管电极(内径 0.2 mm)、微动操作仪(Syntech MP-15)、直流/交流放大器(Syntech UN-06)和刺激气流控制装置(Syntech CS-05)。

1.2 GC-MS 分析条件

色谱条件:美国 Varian Saturn 3900/2100 气相色谱联用仪(GC-MS),采用 DB-5 色谱柱(柱长 30 m,内径 0.25 mm,液膜 0.25 μm),进样口温度 250 °C,起始柱温 80 °C,保持 5 min,以 $4 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 200 °C,保持 2 min,以 $15 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 260 °C,恒温至色谱分析结束。载气为氦气,纯度 $> 99.999\%$ 。流速 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,不分流进样。

质谱条件:电离方式 EI,电子能量 70 eV,阱温 220 °C,传输线温度 170 °C。GC-MS 接口温度 280 °C。采集方式为全扫描,质量扫描范围为 40 ~ 650 amu。

1.3 挥发性气体收集

使用前将 SPME 萃取头旋入萃取柄,用无水乙醇浸泡萃取头 1 h 后,将萃取头在气相色谱仪进样口 270 ℃ 下老化 30 min。将不同生长期的芒果梢、花和果实分别放于小型干燥器内,30 min 后驱赶干燥器内空气,然后用无味的透明薄膜封口。将 SPME 萃取头插入薄膜内吸附挥发物,30 min 后用于 GC-MS 进样。

1.4 触角电位测定方法

触角电位测定方法参照田厚军等(2011)的研究。将 20 μL 样品溶液均匀滴在长 5 cm、宽 0.5 cm 的“V”字形滤纸条上,放入巴斯德滴管中,滴管末端连接刺激气流控制装置,送气管管口与触角纵向垂直,并相距 1 cm。调节连续气体流量为 124 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$,刺激气体流量为 20 $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$,每次刺激时间为 0.2 s。2 次刺激之间间隔 40 s,以保证触角感觉器官功能完全恢复。同一化合物同一剂量在 1 根触角上平行刺激 3 次,取平均值,每个样品测试 5 根触角。对于每种样品化合物,刺激顺序为参照、样品、参照,前后 2 次参照取平均值。以液体石蜡油为溶剂并作为对照,将 12 种化合物配制成浓度均为 10 $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ 的溶液。每种化合物的 EAG 相对反应值以 10 $\mu\text{g} \cdot \mu\text{L}^{-1}$ 的顺-3-己烯醇为参照。

$\text{EAG 相对反应值} = (\text{待测样品的反应值} - \text{对照反应值}) / (\text{参照物的平均反应值} - \text{对照反应值}) \times 100\%$

1.5 数据分析

芒果挥发物成分通过普图库(NIST05 和 WILEY7)进行计算机检索并辅以人工识别确定化合物种类,按照面积归一化法计算各化合物的相对含量,定量分析在 Excel 软件上进行。采用 SPSS 17.0 统计软件进行方差分析,数据采用平均值 $\pm$ 标准误(SE)表示,挥发物峰面积以及相对含量差异性、EAG 反应显著差异性采用 Duncan's 新复极差检验法(SSR, $P = 0.05$)进行分析比较。

2 结果与分析

2.1 芒果不同部位挥发性物质的化学成分

芒果 3 个部位的挥发性物质共检测到 29 种,且多为萜烯类化合物。芒果花挥发物有 22 种,含量较高的为 α -水芹烯(43.64%)和异松油烯

(29.33%);芒果梢有 11 种, α -古芸烯(23.63%)含量最高;成熟芒果有 13 种,石竹烯含量最高,为 29.47%。仅异松油烯和 β -蒾澄茄油烯在芒果 3 个部位中均被检测到,但含量存在差异。其中,异松油烯在芒果 3 个部位挥发物中的含量分别为 29.33%、19.99%、0.59%,可见同一物质在不同部位挥发物中的含量差异较大;而 β -蒾澄茄油烯在芒果花中的含量为 3.51%,梢中为 2.18%,果实中为 6.05%(表 1)。

2.2 横线尾夜蛾成虫对芒果挥发性物质的触角电位反应

芒果横线尾夜蛾未交配雌、雄蛾与已交配雌、雄蛾对同一种化合物的 EAG 相对值之间均无显著差异($P > 0.05$)。未交配雌蛾对反-2-己烯醛的 EAG 反应值与其他化合物相比差异显著($P < 0.05$)。而异松油烯、香橙烯、乙酸乙酯、 β -香叶烯、(+)-3-蒾烯、 α -水芹烯之间, β -石竹烯、 α -法呢烯、(1R)-(+)- α -蒾烯之间,(+)-3-蒾烯、朱栾倍半萜、 β -香叶烯之间,朱栾倍半萜和 α -水芹烯之间均无显著差异($P > 0.05$)。其余化合物之间则差异显著($P < 0.05$)。未交配雄蛾对反-2-己烯醛的 EAG 反应值与其他化合物相比差异显著($P < 0.05$)。(1R)-(+)- α -蒾烯和 α -蒾品烯之间,(+)-3-蒾烯和 α -水芹烯之间,香橙烯、朱栾倍半萜、异松油烯之间均有显著差异; α -蒾品烯和 α -法呢烯之间、 α -蒾品烯和 β -石竹烯之间、 α -蒾品烯和香橙烯之间也差异显著($P < 0.05$)。其余化合物之间则无显著差异($P > 0.05$)(表 2)。

交配雌蛾对反-2-己烯醛的 EAG 反应值与其他化合物相比有显著差异($P < 0.05$)。而 β -石竹烯、 α -法呢烯、(1R)-(+)- α -蒾烯之间,(+)-3-蒾烯、朱栾倍半萜、 β -香叶烯之间,异松油烯、香橙烯、乙酸乙酯、 β -香叶烯、(+)-3-蒾烯、 α -水芹烯之间,以及朱栾倍半萜和 α -水芹烯之间均无显著差异($P > 0.05$)。其余化合物之间则差异显著($P < 0.05$)。交配雄蛾对反-2-己烯醛的 EAG 反应值与其他化合物相比有显著差异($P < 0.05$)。且 α -蒾品烯和 α -法呢烯之间、 α -蒾品烯和 β -石竹烯之间、 α -蒾品烯和香橙烯之间、(1R)-(+)- α -蒾烯和 α -蒾品烯之间,(+)-3-蒾烯和 α -水芹烯之间,香橙烯、朱栾倍半萜、异松油烯之间差异也均显著($P < 0.05$)。其余化合物之间则无显著差异($P > 0.05$)(表 2)。

表1 芒果不同部位挥发物主要化学成分及其相对含量

Table 1 Comparison of main constituents and their relative content of main volatiles in different parts of mango plants

编号 Component no.	保留时间 Retention time (min)	化合物名称 Compound name	峰面积相对含量 Relative content in different parts (%)		
			芒果花 Blossom	芒果果实 Fruit	芒果梢 Shoot
1	7.435	异松油烯 Terpinolene	29.33	0.59	19.99
2	9.031	1,2-二甲氧基苯 Benzene, 1,2-dimethoxy	0.39	0	0
3	10.554	乙酸乙酯 Ethyl acetate	0	9.20	0
4	14.629	香叶烯 B Germacrene B	0.06	4.48	0
5	14.951	1-甲基哌啶基环己烷 Cyclohexane, 1-methyl-2-pentyl	1.18	0	0
6	15.410	α -毕澄茄烯 α -cubebene	0.50	13.31	0
7	16.338	(-)- α -古巴烯 (-)- α -copaene	3.49	0	6.10
8	16.372	四氢-1H-1,3a-乙醇并环戊二烯-4(5H)-酮 1H-1,3a-ethanopentalene-4(5H)-one, tetrahydro	0	9.40	0
9	16.708	β -毕澄茄油烯 β -cubebene	3.51	6.05	2.18
10	17.325	α -古芸烯 α -gurjunene	4.51	0	23.63
11	17.678	白菖油萜 + calarene	2.30	2.73	0
12	18.035	香叶烯 D Germacrene D	1.73	10.87	0
13	18.479	α -紫穗槐烯 α -amorphene	0.37	0	0
14	18.682	朱栾倍半萜 Valencene	0.69	1.98	0
15	18.823	α -蛇麻烯 α -humulene	0.38	0	0
16	19.014	双环[4.4.0]十二-1-烯 Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene	0.98	0	3.63
17	19.398	γ -毕澄茄烯 γ -cadinene	0.46	0	0
18	19.566	β -石竹烯 β -caryophyllene	0	29.47	0
19	19.613	α -水芹烯 α -phellandrene	43.64	0	2.98
20	19.990	α -愈创木烯 α -guaiene	0.55	0	9.23
21	20.038	别香橙烯 Alloaromadendrene	2.81	0	0.92
22	20.189	反- γ -没药烯 Trans- γ -bisabolene	0	6.65	0
23	20.548	异喇叭茶烯 Isoledene	0.56	0	0
24	20.214	α -法呢烯 α -farnesene	0.60	0	1.96
25	20.684	δ -杜松烯 δ -cadinene	1.47	0	0
26	20.784	β -杜松烯 β -cadinene	0	4.45	0
27	24.074	2-甲基-2-丁烯酸 2-methyl-2-butenic acid	0.47	0	14.14
28	27.991	氮-[(4-甲基苯基)亚甲基]-苯胺 Benzenamine, N-[(4-methylphenyl)methylene]	0	0	15.25
29	25.138	1,1-二(对-甲基苯基)乙烷 1,1-bis(p-tolyl)ethane	0	0.83	0

表2 横线尾夜蛾成虫对芒果挥发性物质的 EAG 相对反应值

Table 2 Relative EAG amplitude of *C. transverse* to mango volatiles

化合物名称 Compound name	EAG 相对反应值 EAG relative value (%)			
	未交配雌蛾 ♀ Virgin female	交配雌蛾 ♀ Mated female	未交配雄蛾 ♂ Unmated male	交配雄蛾 ♂ Mated male
(1R)-(+) - α -蒎烯 (1R)-(+)- α -pinene	44.38 ± 2.22efA	41.71 ± 2.18efA	49.88 ± 4.02defA	48.84 ± 3.89defA
α -蒎品烯 α -terpinene	56.00 ± 3.53dA	52.40 ± 3.28cdA	58.64 ± 2.46bcA	57.64 ± 2.30bcA
(+)-3-蒎烯 (+)-3-carene	57.89 ± 2.18bcdA	53.91 ± 1.99bcdA	53.72 ± 3.12cdeA	53.69 ± 2.97cdeA
α -水芹烯 α -phellandrene	66.46 ± 2.65bA	62.02 ± 2.63bA	65.95 ± 2.73bA	64.97 ± 2.60bA
α -法呢烯 α -farnesene	43.67 ± 3.28efA	40.36 ± 3.20efA	43.88 ± 2.91fgA	42.90 ± 2.67fgA
β -石竹烯 β -caryophyllene	42.07 ± 2.17fA	38.79 ± 2.13fA	41.11 ± 2.10gA	41.20 ± 1.86gA
β -香叶烯 β -myrcene	56.78 ± 2.56cdA	52.31 ± 2.28cdA	50.77 ± 2.88cdefA	49.75 ± 2.70cdefAV
乙酸乙酯 Ethyl acetate	55.31 ± 4.44dA	51.25 ± 4.10dA	54.88 ± 2.40cdeA	53.87 ± 2.21cdeA
反-2-己烯醛 Trans-2-hexen-1-al	104.23 ± 4.64aA	96.75 ± 3.61aA	99.96 ± 4.60aA	99.05 ± 4.66aA
香橙烯 Aromadendrene	52.05 ± 3.56deA	48.00 ± 3.55deA	46.89 ± 2.37efgA	45.84 ± 2.16efgA
朱栾倍半萜 Valencene	65.50 ± 3.70bcA	60.51 ± 3.38bcA	65.90 ± 3.43bA	64.86 ± 3.29bA
异松油烯 Terpinolene	54.56 ± 2.99dA	50.45 ± 3.00dA	57.38 ± 2.64cdA	56.29 ± 2.47cdA

同行数据后附不同大写字母表示不同成虫之间差异显著, 同列数据后附不同小写字母表示化合物之间差异显著 (SSR, $P < 0.05$)。
Means $\pm SE$ within a row indicated by different capital letters are significant different, means $\pm SE$ of each plant volatile within a column indicated by different lowercase letters are significant different (SSR, $P < 0.05$) .

3 结论与讨论

本研究结果表明,芒果果实、花、梢不仅化学组分的数量不同,而且各组分的相对含量差异也较大。仅异松油烯和 β -萜澄茄油烯在 3 个部位均被检测到,但相对含量差别较大。异松油烯在芒果花和果实中的含量分别为 29.33% 和 0.59%。芒果梢中 α -愈创木烯(9.23%) 和 α -古芸烯(23.63%) 含量远高于芒果花和果实,这是否与横线尾夜蛾幼虫偏爱蛀食芒果嫩梢有关还有待于趋性行为试验的验证。本研究检测到的芒果挥发物成分与文献中报道的化合物(何方奕等,2008;施伟等,2010;郑华等,2008)大多相符,主要为异松油烯、 β -香叶烯、 β -石竹烯、香橙烯、 α -水芹烯等。本研究中芒果不同部位挥发物的种类并不丰富,可能与芒果品种以及不同的地理环境有关。

本试验结果还表明,未交配雌、雄蛾、交配雌、雄蛾对同一种化合物的 EAG 反应值无显著差异($P > 0.05$)。这说明雌、雄蛾交配前后对同一种化合物的敏感性并没有变化,且雌、雄蛾对其有相似的嗅觉感受能力(Raguso *et al.*, 1996);同时也说明交配对横线尾夜蛾雌、雄蛾的触角电位反应影响较小。未交配雌、雄蛾与交配雌、雄蛾对反-2-己烯醛的 EAG 相对反应值(100% 左右)远高于其他化合物,说明反-2-己烯醛对横线尾夜蛾可能有较高的趋性行为生物活性。EAG 相对反应值较大的还有 α -水芹烯(约 65%) 和朱栾倍半萜(约 64%),相对反应值最小的则为 β -石竹烯(约 40%),但除反-2-己烯醛外,其他各化合物之间均无显著差异($P > 0.05$);在所测化合物中,EAG 相对反应最高值约为最低值的 2.5 倍,而反应次高值约为最低值的 1.6 倍。这些化合物是否具有生物活性还有待于室内定向行为和室外田间行为试验的验证。

目前,利用植物源挥发物和性信息素之间的互作关系调控昆虫的行为机制已取得一定进展(Reddy & Guerrero, 2004)。王振华等(2008)报道了植物源挥发物对昆虫性信息素的增效作用及其增效机制。苏茂文和张钟宁(2007)利用植物源挥发物对害虫的引诱作用成功防御了害虫。但横线尾夜蛾

生活周期较长,室内饲养条件不成熟,仅靠野外采样既费时又费力。因此,建立一套成熟、可行的室内饲养方法尤为重要。同时,植物天然信号物质的化学结构复杂,且组成比例不同结果也不同,而目前的研究仍处于初步探索阶段,要真正提高其对昆虫性信息素的增效作用还需大量的工作。后续研究将关注横线尾夜蛾生理生化行为以及性信息素鉴定和性诱剂开发等方面,以探讨芒果挥发物与横线尾夜蛾性信息素之间的信号联系机理。

参考文献

- 陈业渊, 李绍鹏, 高爱平, 冯瑞祥, 王家保, 魏守兴. 2001. 无公害食品芒果生产技术规程. 北京: 中国农业出版社.
- 陈永森, 黄国弟, 莫永龙, 周俊岸, 赵英, 梁宏合, 蒲金基. 2009. 四种杀虫剂防治芒果横线尾夜蛾药效试验. 广西农业科学, 40(10): 1312 - 1314.
- 杜家纬. 2001. 植物—昆虫间的化学通讯及其行为控制. 植物生理学报, 27(3): 193 - 200.
- 冯荣扬. 1997. 粤西地区芒果横线尾夜蛾的发生规律及其防治研究. 湛江海洋大学学报, 17(2): 71 - 74.
- 高松峰, 李晓伟, 黄木庭, 张毅俊, 钟卫国, 吴松浩. 2000. 百虫净防治芒果横线尾夜蛾药效试验. 中国南方果树, 29(4): 37.
- 何方奕, 李铁纯, 梁多壮, 回瑞华. 2008. 芒果皮中挥发性成分的 GC-MS 分析. 食品科学, 29(10): 495 - 496.
- 何林. 2003. 芒果横线尾夜蛾的生活习性及防治. 昆虫知识, 40(1): 83 - 84.
- 何林, 杨永生. 2003. 芒果横线尾夜蛾的发生危害及其防治. 植物保护, 29(2): 43 - 44.
- 刘玉双, 石福明. 2005. 红缘吉丁(鞘翅目: 吉丁虫科)触角传感器的扫描电镜观察. 昆虫学报, 48(3): 469 - 472.
- 莫圣书, 赵冬香. 2006. 芒果横线尾夜蛾触角感觉器扫描电镜观察. 华东昆虫学报, 15(2): 96 - 98.
- 彭正强, 韩冬银, 符悦冠, 刘奎, 张方平, 黄武仁, 张敬宝. 2008. 芒果病虫害防治技术规范. 北京: 中国农业出版社.
- 施伟, 刘辉, 叶辉. 2010. 桔小实蝇对五种芒果气味挥发性物质的行为反应. 昆虫知识, 47(2): 318 - 321.
- 苏茂文, 张钟宁. 2007. 昆虫信息化学物质的应用进展. 昆虫知识, 44(4): 477 - 485.
- 田厚军, 陈艺欣, 魏辉, 占志雄, 黄玉清, 邱良妙. 2011. 小菜蛾成虫对 9 种挥发性物质的电生理反应. 福建农业

- 学报, 26(4): 591–595.
- 王桂荣, 郭予元, 吴孔明. 2002. 棉铃虫触角感器的超微结构观察. 中国农业科学, 35(12): 1479–1482.
- 王振华, 赵晖, 李金甫, 曾宪东, 陈建军, 冯汉利, 徐家文. 2008. 植物源挥发物对昆虫信息素的增效作用及其增效机制. 应用生态学报, 19(11): 2533–2537.
- 杨广, 黄贵诚, 尤民生. 2001. 小菜蛾触角的显微结构及其作用. 福建农业大学学报, 30(1): 75–79.
- 郑华, 张弘, 张汝国, 于连松, 陈华君. 2008. 云南特产“小三年”芒果不同成熟期香气成分的差异. 食品科学, 29(10): 487–490.
- 周志军, 王世贵. 2005. 二化螟盘绒茧蜂触角感器的超微结构. 昆虫知识, 42(6): 676–680.
- Bruce T J, Wadhams L J and Woodcock C M. 2005. Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10: 269–274.
- Chen X, Hou Z Y, Zhang Y, Yan F S and Zhang G X. 1997. Olfactory response of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* and plant volatiles components. *Journal of Insect Science*, 4: 159–172.
- Hallberg E, Hansson B S and Steinbrecht R A. 1994. Morphological characteristics of antennal sensilla in the European cornborer, *Ostrinia nubilalis* (Lep.: Pyralidae). *Tissue and Cell*, 26: 489–502.
- Raguso R, Light D and Pichersky E. 1996. Electrantennogram responses of *Hyles lineata* (Lepidoptera: Sphingidae) to volatiles compounds from *Clarkia breweri* (Onagraceae) and other moth-pollinated flowers. *Journal of Chemical Ecology*, 22: 1735–1766.
- Reddy V P and Guerrero A. 2004. Interactions of insect pheromones and plant semiochemicals. *Trends in Plant Science*, 9: 253–261.
- Zacharuk R Y. 1980. Ultrastructure and function of insect chemosensilla. *Annual Review of Entomology*, 25: 27–47.

(责任编辑:彭露)