

双斑长跗萤叶甲对棉花和玉米七种挥发物的 EAG 及行为反应*

郭丹丹** 张志虎 陈 静*** 王少山***

(农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室, 新疆绿洲农业病虫害治理与植保资源利用
自治区普通高校重点实验室, 石河子大学农学院, 石河子 832003)

摘 要 【目的】为筛选适合配制双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) 引诱剂的有效成分。【方法】本试验采用昆虫触角电位反应仪和“Y”型嗅觉仪测定了双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫对棉花和玉米 7 种挥发物的电生理反应和行为反应。【结果】双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫均对 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 γ -萜品烯、 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 D-柠檬烯、 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 β -紫罗酮的 EAG 反应较明显, 对 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $10^{-2}\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的 α -石竹烯和 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、 $1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 和 $10^{-2}\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的氧化石竹烯的反应次之, 对十二烷、十三烷的反应较不明显。*t*-检验表明, 雌、雄成虫对挥发性物部分浓度的 EAG 反应存在显著差异。行为反应测定结果表明, 在 $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 刺激剂量条件下, β -紫罗酮对雌虫表现出明显的引诱作用, γ -萜品烯和氧化石竹烯对其有显著的驱避作用; γ -萜品烯和 D-柠檬烯对雄虫具有显著的引诱作用, β -紫罗酮对其具有显著的驱避作用。【结论】该研究结果可为双斑长跗萤叶甲田间引诱剂的研发提供借鉴。

关键词 双斑长跗萤叶甲, 棉花, 玉米, 挥发物, 电生理反应, 行为反应

Electrophysiological and behavioral responses of *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) to 7 cotton and corn volatiles

GUO Dan-Dan** ZHANG Zhi-Hu CHEN Jing*** WANG Shao-Shan***

(Key Laboratory of Intergraded Managment of Harmful Crop Vermin in China North-western Oasis Ministry of Agriculture, P. R. China, Key Laboratory at Universities of Xinjiang Uygur Autonomous Region for Oasis Agricultural Pest Management and Plant Protection Resource Utilization, College of Agriculture, Shihezi University, Shihezi 832003, China)

Abstract [Objectives] To identify chemical lures for trapping male and female *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky). [Methods] Electroantennography and a Y-shaped olfactometer were used to test the electroantennography (EAG) and behavioral responses of *M. hieroglyphica* to selected cotton and corn volatiles. [Results] The results show that the most significant EAG responses of *M. hieroglyphica* males and females were elicited by $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ and $1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ of γ -terpinene, $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ of D-limonene, and $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ of β -ionone, followed by $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ and $10^{-2}\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ of α -caryophyllene, and $10\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, $1\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ and $10^{-2}\ \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ of caryophyllene oxide. Both males and females had a lower response to odecane and tridecane. A Student's *t*-test showed significant differences in the EAG responses of males and females to partial concentrations of volatiles. The results of Y-shaped olfactometer bioassays indicate that females were attracted by $10\ \mu\text{g}/\text{mL}$ of β -ionone, but were repelled by γ -terpinene and caryophyllene oxide. Males were attracted by γ -terpinene and D-limonene but repulsed by β -ionone. [Conclusion] These results can provide a basis for developing attractants for *M. hieroglyphica* in the field.

Key words *Monolepta hieroglyphica*, cotton, corn, volatiles, EAG responses, behavioral response

*资助项目 Supported projects: 国家自然科学基金地区项目 (31460473); 农业部西北荒漠绿洲作物有害生物综合治理重点实验室开发基金 (KFJJ20160105); 石河子大学高层次人才科研启动项目 (RCSX201718)

**第一作者 First author, E-mail: gddsd68896443@sina.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: chj_agr@shzu.edu.cn; wang_shaoshan@163.com

收稿日期 Received: 2017-10-31, 接受日期 Accepted: 2017-12-29

双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) 隶属于鞘翅目, 叶甲科, 萤叶甲亚科, 寄主范围广泛, 包括十字花科、锦葵科、豆科、蔷薇科、榆科、杨柳科等(陈静等, 2007; 田径等, 2014)。该叶甲在国外主要分布于东亚和东南亚的俄罗斯(西伯利地区)、朝鲜、日本、越南、印度、新加坡、菲律宾、马来西亚、印度尼西亚等国家; 在国内分布广泛, 主要在甘肃、宁夏、黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山西和新疆等 21 个省(自治区), 是玉米、棉花、马铃薯、水稻等作物上的重要害虫, 且为害有加重趋势, 为害区域和面积逐渐扩大(虞佩玉等, 1996; 张聪等, 2014; 陈光辉等, 2016)。在新疆, 该叶甲的发生范围和危害程度不断扩大, 以成虫取食棉花叶片和蕾铃, 大发生时常造成棉花叶片表面形成缺刻, 蕾铃大量脱落; 幼虫以取食幼嫩的根茎为害, 对棉花的生产造成巨大的损失(陈静等, 2007; 李广伟和陈秀琳, 2010)。近年来, 双斑长跗萤叶甲在玉米田发生面积亦呈扩大趋势, 目前该叶甲已成为新疆棉花和玉米上的主要害虫之一(刘鑫等, 2016)。长期以来, 生产上主要采取化学防治方法控制双斑长跗萤叶甲的危害(刘航等, 2013), 但易造成环境污染, 农药残留等问题。植物源杀虫剂具有高效低毒、对环境友好以及不易产生抗性等特点, 已成为国内外专家学者的研究热点(蔡璞瑛等, 2014; Benelli *et al.*, 2017; 邵仁志等, 2017), 是解决 3R 问题的有效途径。

植物化学信息在昆虫行为调解中起着重要作用, 昆虫在寻找食物、寻找配偶、选择适宜的寄主产卵都是依靠植物释放的气味物质, 以此来决定这种植物是否是其适宜的寄主(Byers *et al.*, 1985; Dickens, 1989; Bernays and Chapman, 1994; Blight *et al.*, 1995; Pettersson *et al.*, 1998; Showler, 2001; 阎雄飞等, 2017)。植物可以合成和释放多种挥发性有机化合物, 目前, 收集的植物地上部分的气味物质已经分析出数百种, 主要包括一些酯类、萜烯类、酮类、醛类和醇类(Pichersky and Gershenzon, 2002; 莫圣书等, 2006)。植物挥发物对昆虫的行为影响主要有引

诱或驱避作用(Haralambos *et al.*, 2005; Dev *et al.*, 2010)。水杨酸和松节油对青杨脊虎天牛 *Xylotrechus ruficornis* (L.) 有趋避作用(严善春等, 2006); 腰果树产生单萜烯类和倍半萜烯类可以吸引长结织叶蚁 *Oecophylla longinoda* (Latreille), 以此来进行生物防控(Wanjiku *et al.*, 2014); α -蒎烯对榆紫叶甲 *Ambrostoma quadriimpressum* 具有显著的引诱作用(Wang *et al.*, 2017)。大量研究表明, 植食性昆虫能够识别寄主挥发性化合物, 寄主释放的挥发物为其寄主选择提供了嗅觉信号。

本文通过固相微萃取法结合气相色谱-质谱分析技术(GC-MS)得到双斑长跗萤叶甲较嗜食的寄主植物棉花和玉米主要挥发性化合物, 并筛选出两者共有的 7 种挥发物, 利用触角电生理反应和“Y”型嗅觉仪研究该叶甲雌、雄成虫对棉花和玉米 7 种植物挥发物的生理和行为反应, 为进一步筛选出对该叶甲具有引诱作用的挥发性化合物, 研发双斑长跗萤叶甲引诱剂提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 供试昆虫 双斑长跗萤叶甲成虫于 2016 年 6 月初采自新疆维吾尔自治区石河子市石河子大学试验站棉田, 用新鲜的棉花叶片饲养于底部铺有 2-3 cm 潮湿沙土的 500 mL 塑料盒中, 置于光照培养箱中(FLI-2000H), 温度为 (25 ± 1) °C, 湿度为 70%, 光照周期为 16:8 (L:D), 备用。

1.1.2 供试挥发物 供试挥发物的名称、纯度及来源详见表 1。

1.2 试验方法

1.2.1 EAG 反应 测定方法参照李建勋(2008)的方法。用眼科剪刀将双斑长跗萤叶甲雌雄成虫触角从基部剪下, 去除尖端 1 mm, 用导电胶将其横搭在电极上, 气味混合管与触角相距 1 cm。气流系统由气流分配仪控制, 空气经过气流为

400 mL·min⁻¹ 净化。刺激时间为 0.5 s, 两次刺激时间间隔 60 s 以上, 以保证触角的活性完全恢复。以滤纸作为各溶液的载体, 将滤纸剪成 4 cm×1 cm 的长条, 使其正好卡在 1 mL 移液枪头内, 测试剂量为 10 μL。以液体石蜡作为对照,

测试不同化合物时, 不同重复样品刺激顺序不同; 在测定该叶甲对同种化合物、不同剂量的 EAG 反应时, 不同剂量的刺激顺序按浓度从低到高进行。各种测定每根触角重复 6 次。EAG 的大小通过测量 EAG 波形向下的峰值幅度获得。

表 1 试验中的标准化合物
Table 1 The standard chemical samples in the experiment

化合物 Compound	CAS 号 CAS number	纯度 Purity (%)	来源 Producer
γ-萜品烯 γ-terpinene	99-85-4	95%	麦克林
D-柠檬烯 D-limonene	5989-27-5	95%	麦克林
β-紫罗酮 Beta-ionone	79-77-6	95%	麦克林
十二烷 Dodecane	93685-81-5	99%	麦克林
十三烷 Tridecane	629-50-5	98%	麦克林
α-石竹烯 α-caryophyllene	6753-98-6	93%	TCI
氧化石竹烯 Caryophyllene oxide	1139-30-6	95%	ACROS

1.2.2 嗅觉行为反应 试验采用自制的“Y”型玻璃嗅觉仪装置。装置放置在一个暗箱内(80 cm×65 cm×65 cm), 暗箱顶部中央安置一支 40 W 日光灯, 室内温度保持在(25 ± 1) °C。“Y”型管两测试臂夹角 60°, 三臂长均为 20 cm, 内径 2 cm。“Y”型管两臂分别连接放置样品的广口瓶、装有蒸馏水的广口瓶、装有活性碳的广口瓶、流量计和大气采样仪, 各装置间用 Teflon 管连接。流量计流速为 400 mL·min⁻¹。双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫饥饿 24 h 后用于测量, 当该叶甲处于主管长 1/2 处开始计时。当该叶甲越过 A 或 B 臂 1/2 处且停留 5 s 以上时, 记为做出选择反应; 当放入的叶甲 5 min 后无明显选择趋向, 则记为无反应。每头叶甲只测试 1 次, 每测试 5 头将 A、B 两臂互换位置, 以消除不同处理间残留气味的影响。每组处理测试雌、雄虫各 20 头, 重复 4 次, 共 80 头。每日测定完成后用无水乙醇清洗嗅觉仪及连接胶管, 自然晾干过夜。

1.3 数据统计分析

利用 SPSS 19.0 统计软件进行方差分析和 Duncan's 多重比较, 雌、雄虫对同一挥发物 EAG 反应值的差异显著性采用独立样本 *t*-检验进行检测。

嗅觉行为反应采用 χ^2 检验双斑长跗萤叶甲

成虫在两个味源间选择是否呈假设 H_0 为 40 : 40 的理论分布, 计算 χ^2 值和相应的显著性水平 *P* 值。

2 结果与分析

2.1 双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫对寄主挥发物的触角电位反应

测定了双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫对 7 种挥发物(表 1)的 10⁻³, 10⁻², 10⁻¹, 1 和 10 μg·mL⁻¹ 5 个浓度的触角电位反应(表 2)。

双斑长跗萤叶甲雄虫对 10 μg·mL⁻¹ 和 1 μg·mL⁻¹ 的 γ-萜品烯、10 μg·mL⁻¹ 和 1 μg·mL⁻¹ 的 D-柠檬烯、10⁻¹ μg·mL⁻¹ 的 β-紫罗酮, 10 μg·mL⁻¹、1 μg·mL⁻¹ 和 10⁻² μg·mL⁻¹ 的氧化石竹烯反应较为明显, 其中 γ-萜品烯的反应值最大(4.614 ± 0.44) mV, 对十二烷、十三烷、α-石竹烯的反应值相对较小。除最低浓度外, 双斑长跗萤叶甲雄虫对 γ-萜品烯和 D-柠檬烯的反应值均随浓度的增大而增大。

双斑长跗萤叶甲雌虫对 10 μg·mL⁻¹ 和 1 μg·mL⁻¹ 的 γ-萜品烯、10 μg·mL⁻¹ 的 D-柠檬烯、10 μg·mL⁻¹ 和 10⁻² μg·mL⁻¹ 的 β-紫罗酮和 10 μg·mL⁻¹ 和 10⁻² μg·mL⁻¹ 的 α-石竹烯的反应值较大, 其中 D-柠檬烯的反应值最大(5.400 ± 0.98) mV, 对 5 个浓度的十二烷、十三烷和

表 2 双斑长跗萤叶甲对棉花和玉米 7 种挥发物单品的 EAG 反应相对值

Table 2 Relative EAG response of *Monolepta hieroglyphica* of 7 kind of volatile compounds of cotton and corn

挥发性化合物 Compound	挥发物浓度 ($\mu\text{g/mL}$)	EAG 相对平均值 Relative EAG values		独立样本 <i>t</i> -检验 Independent sample <i>t</i> -test
		雄虫 Male	雌虫 Female	
γ -萜品烯 γ -terpinene	10	4.614 ± 0.44 a	2.976 ± 0.96 a	0.134
	1	1.473 ± 0.30 b	$1.644 \pm .52$ b	0.627
	10^{-1}	0.904 ± 0.25 c	1.064 ± 0.10 bc	0.073
	10^{-2}	0.781 ± 0.12 c	0.933 ± 0.19 bc	0.878
	10^{-3}	0.968 ± 0.15 c	0.552 ± 0.11 c	0.116
D-柠檬烯 D-limonene	10	1.720 ± 0.12 a	5.400 ± 0.98 a	0.021*
	1	1.118 ± 0.03 b	1.325 ± 0.43 b	0.490
	10^{-1}	0.739 ± 0.25 c	1.186 ± 0.14 b	0.067
	10^{-2}	0.299 ± 0.08 d	0.931 ± 0.24 b	0.034*
	10^{-3}	0.452 ± 0.11 d	0.997 ± 0.30 b	0.074
十二烷 Dodecane	10	1.047 ± 0.12 a	0.649 ± 0.17 a	0.036*
	1	0.669 ± 0.11 b	0.580 ± 0.06 a	0.307
	10^{-1}	0.639 ± 0.14 b	0.660 ± 0.16 a	0.869
	10^{-2}	0.623 ± 0.02 b	0.325 ± 0.12 b	0.046*
	10^{-3}	0.371 ± 0.01 c	0.220 ± 0.07 b	0.060
十三烷 Tridecane	10	1.007 ± 0.30 a	1.275 ± 0.38 a	0.394
	1	0.940 ± 0.17 ab	1.486 ± 0.66 a	0.285
	10^{-1}	0.944 ± 0.44 ab	1.150 ± 0.52 a	0.627
	10^{-2}	0.478 ± 0.06 ab	1.400 ± 0.15 a	0.004**
	10^{-3}	0.592 ± 0.09 b	1.070 ± 0.33 a	0.118
氧化石竹烯 Caryophyllene oxide	10	1.466 ± 0.12 a	1.100 ± 0.34 a	0.016*
	1	0.934 ± 0.05 b	1.103 ± 0.22 a	0.337
	10^{-1}	0.687 ± 0.45 b	0.473 ± 0.12 b	0.378
	10^{-2}	1.133 ± 0.24 ab	1.232 ± 0.19 a	0.005**
	10^{-3}	0.243 ± 0.08 c	1.206 ± 0.21 a	0.025*
β -紫罗酮 Beta-Ionone	10	1.738 ± 0.61 a	3.165 ± 0.55 a	0.032*
	1	0.830 ± 0.13 bc	0.977 ± 0.19 b	0.001**
	10^{-1}	0.927 ± 0.30 b	0.153 ± 0.03 c	0.019*
	10^{-2}	0.206 ± 0.08 d	1.483 ± 0.08 b	0.001*
	10^{-3}	0.315 ± 0.08 cd	1.072 ± 0.16 b	0.013*
α -石竹烯 α -caryophyllene	10	0.928 ± 0.10 a	3.355 ± 0.48 a	0.476
	1	0.828 ± 0.12 ab	1.181 ± 0.34 c	0.145
	10^{-1}	0.616 ± 0.31 bc	1.002 ± 0.30 c	0.517
	10^{-2}	0.243 ± 0.02 d	2.189 ± 0.19 b	0.012*
	10^{-3}	0.442 ± 0.02 cd	0.966 ± 0.24 c	0.023*

表中数据为平均值 $\pm$ 标准误, 数字后标有不同字母表示同种挥发物不同浓度在 $P < 0.05$ 水平差异显著 (Duncan 多重比较); *表示相同浓度下雌、雄虫 EAG 反应值差异显著 ($P < 0.05$); **表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

The data in the table are mean $\pm$ SE, and followed by different letters indicate the results of same volatile on the different concentrations significant difference at 0.05 level by Duncan's multiple range test. *: significant difference ($P < 0.05$), **: extremely significant difference ($P < 0.01$).

氧化石竹烯的反应值较小。双斑长跗萤叶甲雌虫对 γ -萜品烯和 D-柠檬烯的反应值随浓度的增大而增大,对 β -紫罗酮的反应值随浓度的增大先增大后减小再增大。

2.2 双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫对植物挥发物单体的嗅觉行为反应

双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫对 5 种挥发物单体的 $10 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度与对照液体石蜡进行了行为测定 (图 1, 图 2)。

在 5 种植物源挥发物中, γ -萜品烯和 D-柠檬烯对双斑长跗萤叶甲雄虫的引诱率分别为 48.75% 和 52.50%, 达显著水平 ($P<0.05$); β -紫罗酮对双斑长跗萤叶甲雄虫的驱避率为 48.75%, 达显著水平 ($P<0.05$); α -石竹烯和氧化石竹烯在试验浓度范围内对双斑长跗萤叶甲雄虫的引

诱量均略多于对照,但未达到显著水平 ($P<0.05$) (图 1)。在 5 种供试的挥发物中, D-柠檬烯的引诱率和反应率均最大, 分别为 52.50% 和 83.75%; α -石竹烯的反应率最小, 为 75.00%。综上所述, γ -萜品烯和 D-柠檬烯对双斑长跗萤叶甲雄虫具有较好的引诱作用, β -紫罗酮具有较好的趋避作用, α -石竹烯和氧化石竹烯的作用不明显。

在 5 种植物源挥发物中, γ -萜品烯和氧化石竹烯对双斑长跗萤叶甲雌虫的驱避率均为 50.00%, 达到显著水平 ($P<0.05$); D-柠檬烯、 β -紫罗酮和 α -石竹烯在试验浓度范围内对双斑长跗萤叶甲雌虫的引诱量均略多于对照,但未达到显著水平 ($P<0.05$) (图 2)。在 5 种供试的挥发物中, β -紫罗酮的引诱率和反应率均最大, 分别为 56.25% 和 95.00%; γ -萜品烯的反应率最小,

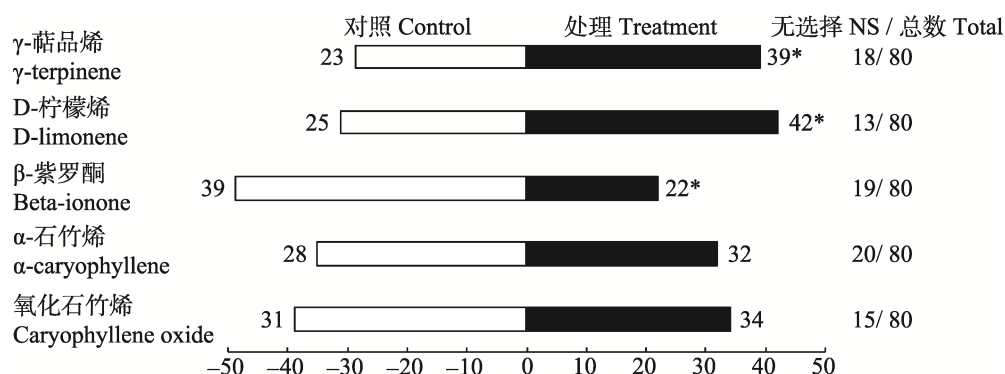


图 1 双斑长跗萤叶甲雄成虫对不同挥发物的行为反应

Fig. 1 The behavioral responses of *Monolepta hieroglyphica* male adult to different volatiles

所得数据均经 χ^2 检验, *表示差异显著 ($P<0.05$), NS 表示无选择。下同。

* and NS means there is significant difference at 0.05 level and no selection by χ^2 test, respectively. The same below.

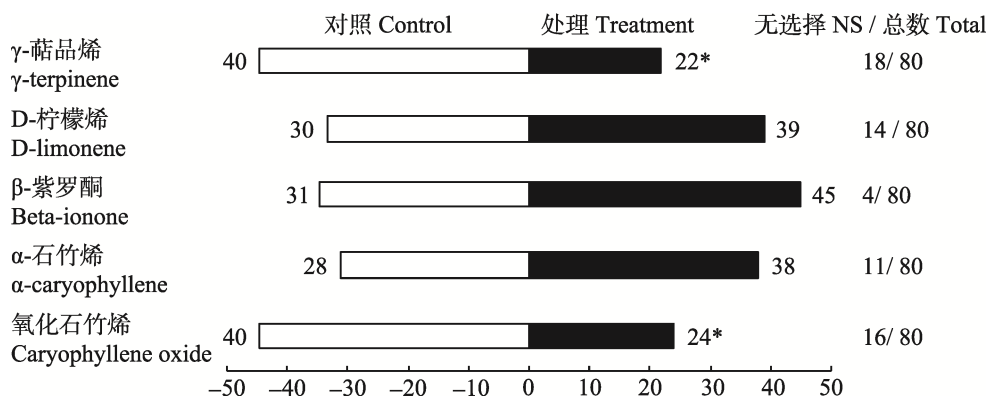


图 2 双斑长跗萤叶甲雌成虫对不同挥发物的行为反应

Fig. 2 The behavioral responses of *Monolepta hieroglyphica* female adult to different volatiles

为 77.50%。综上所述, γ -萜品烯和氧化石竹烯对双斑长跗萤叶甲雌虫具有较好的驱避作用; β -紫罗酮有一定的引诱作用; D-柠檬烯和 α -石竹烯作用不明显。

2.3 双斑长跗萤叶甲雌、雄成虫对不同配比混合物的嗅觉行为反应

根据 5 种挥发物单体的测定结果, 我们挑选出作用较明显的 4 种, 配置成 5 种不同配比的混合配方 A、B、C、D、E, 将此 5 种配方分别与对照石蜡进行行为反应测定 (图 3, 图 4)。

在 5 种植物源混合配方中, 配方 C 和 E 对双斑长跗萤叶甲雄虫的引诱率分别为 47.50% 和 45.00%, 达显著水平 ($P < 0.05$); 配方 B、D 在试验浓度范围内对双斑长跗萤叶甲雄成虫的引诱量均略高于对照石蜡; 配方 A 在试验浓度范围内对双斑长跗萤叶甲雄虫的引诱量略低于对照石蜡, 均未达到显著水平 ($P < 0.05$) (图 3)。在 5 种供试的挥发物中, 配方 B 的反应率最高, 为 88.75%, 配方 E 的反应率达最低, 为 68.75%。综上所述, 配方 C、E 具有较好的引诱作用; 配方 B、D 的引诱作用次之, 而配方 A 有一定的驱避作用。

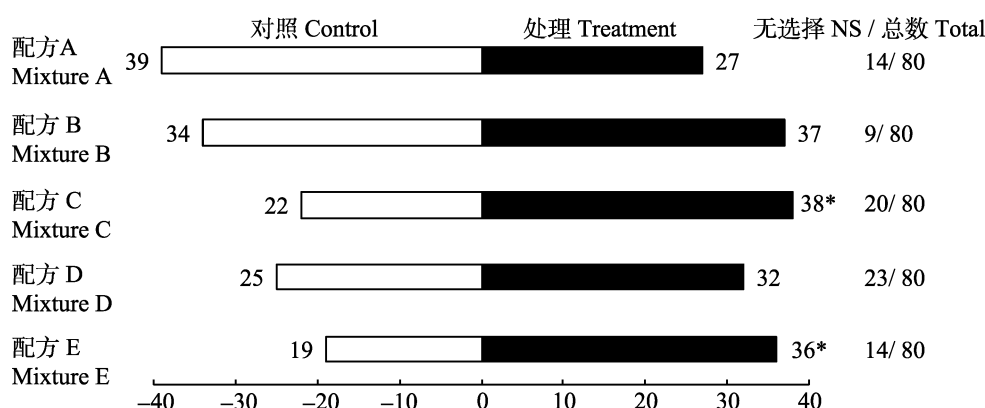


图 3 双斑长跗萤叶甲雄成虫对不同配比混合物的行为反应

Fig. 3 The behavioral responses of *Monolepta hieroglyphica* male adult to different mixture of volatiles

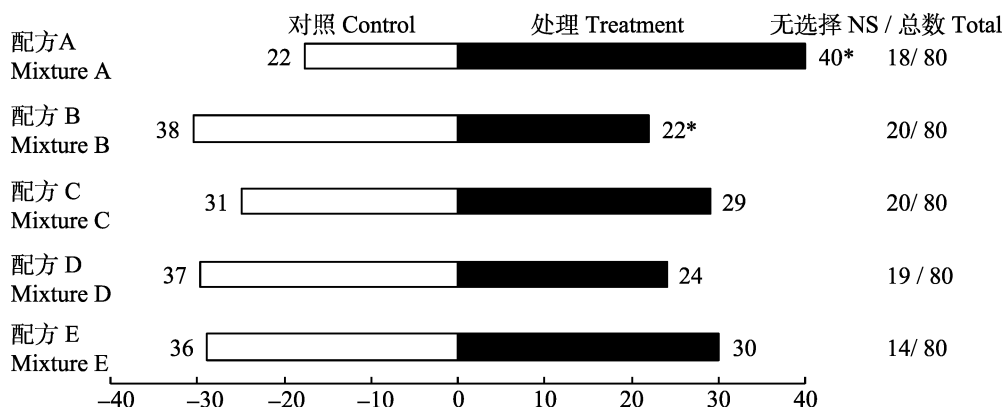


图 4 双斑长跗萤叶甲雌成虫对不同配比混合物的行为反应

Fig. 4 The behavioral responses of *Monolepta hieroglyphica* female adult to different mixture of volatiles

在 5 种植物源混合配方中, 配方 A 对双斑长跗萤叶甲雌虫的驱避率为 50.00%, 达显著水平 ($P < 0.05$); 配方 B 对双斑长跗萤叶甲雌虫的引诱率为 47.50%, 达显著水平 ($P < 0.05$); 配方 C、D、E 在试验浓度范围内对双斑长跗萤叶甲

雌虫的引诱量均略多于对照石蜡, 但未达到显著水平 ($P < 0.05$) (图 4)。在 5 种供试的挥发物中, 配方 B 的引诱率最高, 达 47.50%, 配方 D 次之; 配方 A 驱避率最高, 达 50.00%, 配方 E 次之。配方 E 的反应率最大, 82.50%; 配方 B、C 的反

应率最低, 均为 75.00%。综上所述, 配方 A 对双斑长跗萤叶甲雌虫具有较好的驱避作用; 配方 B 具有较好的引诱作用; 而其他 3 种配方的作用均不明显。

3 讨论

在特定浓度下, 玉米和棉花的 7 种挥发性化合物均可引起双斑长跗萤叶甲雌雄成虫的 EAG 反应, 其中萜类和酮类挥发物对其反应较明显, 这一结果与双条杉天牛 *Semanotus bifasciatus* (Motschulsky) 的研究结果相近 (孙月琴, 2008)。t-检验表明, 在一定刺激剂量下, 双斑长跗萤叶甲雌虫具有明显的触角电位反应, 且均显著高于雄虫, 这说明在较低剂量气味刺激下, 雌虫触角比雄虫的更敏感。这一现象与华山松大小蠹 *Dendroctonus armandi* (王茹琳, 2011) 结果一致。植食性昆虫对挥发性信息化合物的反应都有一个浓度范围, 在此范围内时, 反应率随浓度的增加而升高 (樊慧等, 2003)。双斑长跗萤叶甲雄虫对 β -紫罗酮、D-柠檬烯、 γ -萜品烯的 EAG 活性随浓度的升高整体呈上升趋势, 这与桃蛀螟 *Conogethes punctiferalis* (Guenée) 雄虫的反应规律较相似 (李倩, 2013); 双斑长跗萤叶甲雌虫对 D-柠檬烯的 EAG 活性随浓度的升高而上升, 这与光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 雌虫反应规律较为相似 (王佩星, 2015)。

双斑长跗萤叶甲雌、雄虫对同种挥发物的行为反应存在显著性差异。 $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的氧化石竹烯均可引起双斑长跗萤叶甲雌、雄虫的 EAG 反应, t-检验表明, 雌虫的 EAG 值大于雄虫。嗅觉行为测定结果表明, 氧化石竹烯对雄虫具有显著的引诱作用, 对雌虫具有显著的驱避作用。这也许与雌雄成虫的触角对植物挥发的信息素的接受和辨识能力存在一定的差异有关 (Tichenor and Seigler, 1980; Raguso *et al.*, 1996)。

准确寻找和定位寄主植物对植食性昆虫的营养需求和寻找合适的产卵位点都至关重要, 植物挥发物在这个过程中起着十分重要的作用 (Paré and Tumlinson, 1999)。本试验利用 EAG

和“Y”型嗅觉仪研究双斑长跗萤叶甲雌雄成虫对棉花和玉米的 7 种挥发物的电生理反应和行为反应, 为进一步筛选该叶甲的引诱剂提供依据。但本试验仅测定了双斑长跗萤叶甲成虫对棉花和玉米同一浓度挥发物混配后的行为反应, 还需进一步研究多种浓度植物挥发物单品不同配比对双斑长跗萤叶甲成虫行为的作用。

参考文献 (References)

- Benelli G, Pavela R, Maggi F, Petrelli R, Nicoletti M, 2017. Commentary: making green pesticides greener? The potential of plant products for nanosynthesis and pest control. *Journal of Cluster Science*, 28(1): 1–8.
- Bernays EA, Chapman RF, 1994. Host-Plant Selection by Phytophagous Insects. New York: Chapman & Hall. 1–312.
- Blight MM, Pickett JA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 1995. Antennal perception of oilseed rape, *Brassica napus*, (Brassicaceae) by the cabbage seedpod weevil *Ceutorhynchus assimilis* (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of Chemical Ecology*, 21(11): 1649–1664.
- Byers JA, Lanne BS, Löfqvist J, Schlyter F, Bergström G, 1985. Olfactory recognition of host-tree susceptibility by pine shoot beetles. *Naturwissenschaften*, 72(6): 324–326.
- Cai PY, Mao SM, Zhang HY, Sun HZ, 2014. Current progress in research of botanical insecticides in China and worldwide. *Agrochemicals*, 53(8): 547–551. [蔡璞瑛, 毛绍名, 章怀云, 孙汉洲, 2014. 植物源杀虫剂国内外研究进展. 农药, 53(8): 547–551.]
- Chen GH, Yin W, Li Q, Hu HY, 2016. Research progress on *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky). *China Plant Protection*, 36(10): 19–26. [陈光辉, 尹弯, 李勤, 胡红英. 2016. 双斑长跗萤叶甲研究进展. 中国植保导刊, 36(10): 19–26.]
- Chen J, Zhang JP, Zhang JH, Yu HF, Li GW, 2007. Food preference of *Monolepta hieroglyphica*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(3): 357–360. [陈静, 张建萍, 张建华, 喻峰华, 李广伟, 2007. 双斑长跗萤叶甲的嗜食性. 昆虫知识, 44(3): 357–360.]
- Dev V, Whaley WH, Bailey SR, Chea E, Dimaano JG, Jogani DK, Eggett D, 2010. Essential oil composition of nine Apiaceae species from western United States that attract the female Indra swallowtail butterfly (*Papilio indra*). *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(4): 538–547.
- Dickens JC, 1989. Green leaf volatiles enhance aggregation pheromone of boll weevil, *Anthonomus grandis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 52(3): 191–203.
- Fan H, Jin YJ, Li JQ, Chen HJ, 2004. Advances on plant volatile semiochemicals attracting herbivorous insects. *Journal of Beijing Forestry University*, 26(3): 76–81. [樊慧, 金幼菊, 李继泉, 陈华君, 2004. 引诱植食性昆虫的植物挥发性信息化合物的研究进展. 北京林业大学学报, 26(3): 76–81.]
- Haralambos EK, Georgia P, Athanasios A, Nicolaos S, Nikolaos R, 2005. Composition and insect attracting activity of the essential oil of *Rosmarinus officinalis*. *Journal of Chemical Ecology*, 31

- (1): 111–122.
- Li GW, Chen XL, 2010. Studies on biological characteristic and population dynamics of *Monolepta hieroglyphica* in cotton in Xinjiang. *China Plant Protection*, 30(6): 8–10. [李广伟, 陈秀琳, 2010. 新疆棉区双斑长跗萤叶甲生活习性及消长动态调查研究. 中国植保导刊, 30(6): 8–10.]
- Li JX, 2008. The chemosensory mechanism of beet armyworm *Spodoptera exigua* (Hübner). Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [李建勋, 2008. 甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 化学感受基础的研究. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Li Q, 2013. Electrophysiological responses to corn volatiles and antennal ultra-structure of *Conogethes punctiferalis* (Guenée). Master dissertation. Baoding: Hebei Agricultural University. [李倩, 2013. 桃蛀螟对玉米挥发性物质的电生理反应及触角超微结构观察. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学.]
- Liu H, Chi DF, Chen HY, Yu J, Li XC, 2013. EAG and behavioral responses of *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) to several volatile compounds. *Forest Research*, 26(4): 488–493. [刘航, 迟德富, 陈海一, 宇佳, 李晓灿, 2013. 双斑长跗萤叶甲对几种植物挥发物的触角电位和行为反应. 林业科学研究, 26(4): 488–493.]
- Liu X, Tian G, Wang FY, Li HX, Li ZH, Wang XY, Wang ZH, Wang GL, Wang YW, 2016. Population dynamics of *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) in millet field. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 32(21): 177–180. [刘鑫, 田岗, 王枫叶, 李会霞, 李志华, 王晓宇, 王振华, 王国梁, 王玉文, 2016. 谷田中双斑长跗萤叶甲种群动态初步研究. 中国农学通报, 32(21): 177–180.]
- Mo SS, Zhao DX, Chen Q, 2006. Advances on relationship between plant volatiles and insect behavior. *Chinses Journal of Tropical Agriculture*, 26(6): 84–89. [莫圣书, 赵冬香, 陈青, 2006. 植物挥发物与昆虫行为关系研究进展. 热带农业科学, 26(6): 84–89.]
- Paré PW, Tumlinson JH, 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiology*, 121(2): 325–332.
- Pettersson J, Karunaratne S, Ahmed E, 1998. The cowpea aphid, shape *Aphis craccivora*, host plant odours and pheromones. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 88(2): 177–184.
- Pichersky E, Gershenzon J, 2002. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense. *Current Opinion in Plant Biology*, 5(3): 237–243.
- Raguso RA, Light DM, Pickersky E, 1996. Electroantennogram responses of *Hyles lineata* (Sphingidae: Lepidoptera) to volatile compounds from *Clarkia breweri* (Onagraceae) and other moth-pollinated flowers. *Journal of Chemical Ecology*, 22(10): 1735–1766.
- Shao RZ, Liu XA, Sun L, Hu LF, 2017. Progresses in botanical pesticides in China. *Hubei Agricultural Sciences*, 56(8): 1401–1404. [邵仁志, 刘小安, 孙兰, 胡利锋, 2017. 中国植物源农药的研究进展. 湖北农业科学, 56(8): 1401–1405.]
- Showler AT, 2001. *Spodoptera exigua* oviposition and larval feeding preferences for pigweed, *Amaranthus hybridus*, over squaring cotton, *Gossypium hirsutum*, and a comparison of free amino acids in each host plant. *Journal of Chemical Ecology*, 27: 2013–2028.
- Sun YQ, 2008. Sensilla and behavioral responses of adults of *Semanotus bifasciatus* (Coleoptera: Cerambycidae) to volatile compounds of *Platyclusus orientalis*. Master dissertation. Beijing: Beijing Forestry University. [孙月琴, 2008. 双条杉天牛成虫的感受器及对侧柏挥发物的行为反应. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]
- Tian J, Cui J, Wu L, Xu W, Chen BC, Shi SS, 2014. Screening of pesticides for controlling *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky). *Agrochemicals*, 53(10): 767–770. [田径, 崔娟, 吴磊, 徐伟, 陈宝存, 史树森, 2014. 双斑长跗萤叶甲 *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) 的药剂防治试验. 农药, 53(10): 767–770.]
- Tichenor LH, Seigler DS, 1980. Electroantennogram and oviposition responses of *Manduca sexta* to volatile components of tobacco and tomato. *Journal of Insect Physiology*, 26(5): 309–314.
- Wang PX, 2015. EAG response of Asian longhorn beetle *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) to volatiles of Hickory. Master dissertation. Hangzhou: Zhejiang A & F University. [王佩星, 2015. 光肩星天牛对山核桃挥发物的触角电生理反应. 硕士学位论文. 杭州: 浙江农林大学.]
- Wang RL, Yang W, Yang ZZ, Chen XP, Yang CP, Li Q, Li F, Chen CM, 2011. Electroantennographic and behavioral responses of *Dendroctonus armandi* (Coleoptera: Ipsidae) to host volatiles. *Chinese Journal of Ecology*, 30(4): 724–729. [王茹琳, 杨伟, 杨佐忠, 陈小平, 杨春平, 李强, 李锋, 陈春茂, 2011. 华山松大小蠹对几种寄主挥发物组分的 EAG 和行为反应. 生态学杂志, 30(4): 724–729.]
- Wang YC, Li P, Chi DF, 2017. Electrophysiological and laboratory behavioral responses of a leaf beetle pest of elm, *Ambrostoma quadriimpressum*, to selected plant volatiles and essential oils. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 163(2): 140–149.
- Wanjiku C, Khamis FM, Teal PEA, Torto B, 2014. Plant volatiles influence the african weaver ant-cashew tree mutualism. *Journal of Chemical Ecology*, 40(11/12): 1167–1175.
- Yan SC, Cheng H, Yang H, Yuan HE, Zhang J, Chi DF, 2006. Effects of plant volatiles on the EAG response and behavior of the grey tiger longicorn, *Xylotrechus rusticus* (L.) (Coleoptera: Cerambycidae). *Acta Entomologica Sinica*, 49(5): 759–767. [严善春, 程红, 杨慧, 袁红娥, 张健, 迟德富, 2006. 青杨脊虎天牛对植物源挥发物的 EAG 和行为反应. 昆虫学报, 49(5): 759–767.]
- Yan XF, Liu YH, Li G, Qiang DH, Xu YP, 2017. EAG and olfactory behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* to seven volatiles from the *Zizyphus juube*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 54(4): 621–628. [阎雄飞, 刘永华, 李刚, 强大宏, 许育平, 2017. 枣飞象对枣树七种挥发物 EAG 和嗅觉行为反应. 应用昆虫学报, 54(4): 621–628.]
- Yu PY, Wang SS, Yang XK, 1996. Economic Insect Fauna of China. Beijing: Science Press. 82–196. [虞佩玉, 王书永, 杨星科, 1996. 中国经济昆虫志. 北京: 科学出版社. 82–196.]
- Zhang C, Yuan SH, Wang ZZ, He KL, Bai SX, 2014. Population dynamics of *Monolepta hieroglyphica* (Motschulsky) in cornfields. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(3): 668–675. [张聪, 袁志华, 王振营, 何康来, 白树雄, 2014. 双斑长跗萤叶甲在玉米田的种群消长规律. 应用昆虫学报, 51(3): 668–675.]