

枣飞象对枣树七种挥发物 EAG 和嗅觉行为反应*

阎雄飞^{1,2**} 刘永华^{1,2} 李刚^{1,2} 强大宏¹ 许育平¹

(1. 榆林学院生命科学学院, 榆林 719000; 2. 榆林学院陕西省陕北矿区生态修复重点实验室, 榆林 719000)

摘要 【目的】枣飞象 *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto 是枣树重要害虫之一。近年来, 在陕北黄河沿岸枣区暴发成灾, 造成了严重的经济和生态损失。为了明确枣树挥发物在枣飞象寄主定向过程中的作用, 以便为开发植物源引诱剂奠定理论基础。【方法】采用触角电位仪和 Y 型嗅觉仪测定了枣飞象对枣树 7 种挥发物的触角电位和嗅觉行为反应。【结果】EAG 试验结果表明: 枣树的 7 种挥发物在一定的浓度下, 都能引起枣飞象雌雄成虫明显触角电位反应, 当刺激浓度为 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时, 枣飞象对测定的 7 种挥发物的触角电位值达到最高, 其中枣飞象雌雄虫对罗勒烯的 EAG 反应相对值均为最大, 分别达 2.87 和 2.53。嗅觉行为反应试验结果表明: 罗勒烯、 α -法呢烯均对枣飞象雌雄虫有明显的引诱作用, 其中枣飞象雌雄成虫对罗勒烯趋向率高达 70.8%、70.4%, 而反-2-己烯醇仅对其雌虫表现引诱作用, 对雄虫未表现出引诱作用。【结论】罗勒烯和 α -法呢烯为吸引枣飞象雌雄成虫的活性物质, 本反-2-己烯醇为吸引枣飞象雌虫的活性物质。

关键词 枣飞象, 枣树, 挥发物, 触角电位反应, 嗅觉反应

EAG and olfactory behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* to seven volatiles from the *Zizyphus jujube*

YAN Xiong-Fei^{1,2**} LIU Yong-Hua^{1,2} LI Gang^{1,2} QIANG Da-Hong¹ XU Yu-Ping¹

(1. College of Life and Science, Yulin University, Yulin 719000, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Ecological Restoration in Shanbei Mining Area, Yulin University, Yulin 719000, China)

Abstract 【Objectives】*Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto is one of the most serious pests of the Chinese jujube (*Zizyphus jujube*) and have, in recent years, caused considerable economic and ecological damage to Chinese jujubes in northern Shaanxi province. The aim of this study is to clarify the role of Chinese jujube volatiles in the *S. yasumatsui* host orientation process, and provide a theoretical basis for the further development of effective botanical attractants for *S. yasumatsui*. 【Methods】The olfactory and behavioral responses of *S. yasumatsui* to seven Chinese jujube volatiles were tested using an electroantennogram (EAG) and Y-tube olfactometer, respectively. 【Results】The EAG test results show that a certain concentration of seven volatiles induced clear EAG responses in adult female and male *S. yasumatsui*. The highest EAG responses occurred at volatile concentrations of 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$. The EAG responses of male and female adults to ocimene (2.87 and 2.53, respectively) were the highest. Olfactory behavioral response tests show that both adult males and females were attracted to ocimene and α -farnesene, these volatile having response rates of 70.8% and 70.4%, respectively, whereas trans-2-hexenol was attractive to females only. 【Conclusion】Ocimene and α -farnesene are attractive to both female and male *S. yasumatsui*, but trans-2-hexenol is only attractive to females.

Key words *Scythropus yasumatsui*, *Zizyphus jujube*, volatiles, EAG, olfactory response

*资助项目 Supported projects: 教育部归国留学人员启动基金项目 (13GK42); 2014 榆林市产学研科技计划项目 (2014cxy-02-01); 国家自然科学基金地区项目 (31760211)

**通讯作者 Corresponding author, E-mail: yxfei1220@126.com

收稿日期 Received: 2016-10-31, 接受日期 Accepted: 2016-12-11

枣飞象 *Scythropus yasumatsui* Kono *et al.* Morimoto, 别名枣食芽象甲、太谷月象、枣月象、灰象鼻虫等, 属于鞘翅目 Coleoptera, 象甲科 Curculionidae, 是危害枣树幼芽的害虫之一(任登洲和齐向英; 2009)。该象甲危害严重时常将枣芽全部吃光, 受害枣芽尖端光秃, 而再次萌发的新芽, 相邻节间缩短, 导致枣树结“未茬枣”(师光禄等, 2000; 高永强等, 2009)。近年来, 由于缺乏有效的防治方法, 加之化学农药滥用, 造成该虫在陕北地区的枣林中暴发成灾, 导致红枣产量和质量下降, 甚至绝收(阎雄飞等, 2014)。更为严重的是, 由于枣飞象在陕北黄河沿岸枣区连年成灾, 已造成大面积新栽植的枣树长势衰弱甚至死亡, 致使当地脆弱的生态环境有进一步恶化的趋势, 严重影响了西北部地区的生态环境建设和区域经济的发展(唐学亮等, 2013)。鉴于此, 研究枣树害虫和寄主之间化学通讯机制, 有利于发展枣树害虫的行为调控策略, 从而实现枣树害虫的安全监测和控制。

植物挥发性化合物是由一些分子量 100~200 u 的有机化学物组成, 其中包括醇类、酮类、酯类、萜烯类等小分子物质(戴建青等, 2010; 闫凤鸣, 2011; Knolhoff and Heckel, 2014)。每种植物都有不同的挥发物, 各自都以较为精确的比例构成该种植物的化学指纹谱(樊慧等, 2004; Dicke and Baldwin, 2010)。植食性昆虫与植物长期协同进化过程中, 很多植食性昆虫能够识别其寄主植物的特异性挥发物指纹谱, 并依靠其进行寄主植物的识别及定位(Visser, 1986; Bruce *et al.*, 2005; 韩颖等, 2010)。

寄主植物是植食性象甲发生各种行为活动的场所, 其寄主分为两类, 取食寄主和产卵寄主(杨毅等, 2012)。植食性象甲在取食寄主植物上获得营养物质, 在产卵寄主上繁殖后代, 为了完成它的营养需求并找到适宜的产卵场所, 寄主定位非常重要; 而在这一过程中寄主挥发物同样发挥关键作用(赵艳等, 2014)。例如, 长足竹大象 *Cyrtotrachelus buqueti* 利用竹笋挥发物定向寄主(杨桦等, 2010); 豌豆象 *Pisum sativum* 利用豌豆叶片的挥发性气味进行寄主定位(Doss

et al., 1995); 新鲜香蕉假茎或根茎挥发物对香蕉象甲 *Cosmopolites sordidus* 成虫具有明显的吸引作用, 能吸引香蕉象甲雌雄成虫前来取食和产卵(Budenberg *et al.*, 1993; 尹炯, 2012)。绿鳞象甲 *Hypomeces squamosus* 的室内外诱捕试验表明, 绿鳞象甲的适宜寄主芒果, 其挥发物对绿鳞象甲有明显的引诱作用(高景林等, 2012)。随着挥发物提取及分析技术的飞速发展, 目前人们已能够准确的鉴定寄主挥发物中吸引植食性象甲的活性成分: 如油菜 *Brassica napus* 挥发物中的 4-戊烯基异硫氰酸酯 (4-pentenyl isothiocyanate)、3-丁烯基异硫氰酸酯 (3-butenyl isothiocyanate) 和 2-苯乙基异硫氰酸酯 (2-phenylethyl isothiocyanate) 是吸引甘蓝象甲 *Ceutorhynchus assimilis* 的活性成分(Bartlett *et al.*, 1993); 茶树挥发物中的 γ -萜品烯 (γ -terpinene)、顺式-3-己烯醋酸酯 ((Z)-3-hexenyl acetate) 则是吸引茶丽纹象甲 *Myllocerinus aurolineatus* 的活性成分(Sun *et al.*, 2010)。毫无疑问, 阐明寄主植物挥发物中对于植食者进行寄主定位或起关键作用的活性物质, 不仅对于深入理解寄主植物-植食者的协同进化具有重要科学意义, 同时对于未来开发以植物挥发物活性成分作为引诱剂的生防产品具有重要的现实意义(李为争等, 2015)。

迄今为止, 关于枣树和枣飞象之间的化学通讯机制的研究几乎未见报道, 仅在前期研究中发现, 枣飞象对枣树挥发物具有显著的寄主偏好性, 尤其是萌芽期枣树对于枣飞象具有显著吸引作用(阎雄飞和李善才, 2012), 但具体是哪些活性物质的引诱作用则鲜有报道。有鉴于此, 本课题组在前期研究工作中对枣飞象嗜好寄主木枣枣芽挥发性物质进行了鉴定, 共得到 19 种化合物(未发表数据), 按照相对分子质量在 100~200 之间, 可能吸引植食性昆虫的挥发性物质(戴建青等, 2010), 且试剂公司能够提供或合成, 进行筛选, 最后筛选出 7 种信息化合物, 分别对枣飞象进行触角电位和嗅觉行为反应测定, 以期发现枣飞象进行定位的信息化合物, 为未来实现枣飞象的田间防控提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2015 年 3 月, 在陕西佳县佳芦镇和乌镇枣园里采集枣飞象的蛹, 放在透明塑料瓶中, 置于室内实验室, 温度控制在 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$, 相对湿度控制在 75%~85% 条件下, 光照条件 L:D=16:

8, 待枣飞象羽化为成虫后, 选择生长发育健康, 大小整齐的成虫供试。

1.2 供试标准化合物

7 种标准化合物的名称、纯度、来源见表 1, 将每种标准化合物分别用液体石蜡 (纯度 99%, 天津市盛鑫源伟业贸易有限公司) 作为溶剂配置成, 配置的浓度为 0.1、1、10、50、100 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 。

表 1 7 种标准化合物的名称、纯度和来源
Table 1 Name, purity and source of seven standard compounds

标准化合物 Standard compounds	纯度 Purity	来源 Source of supply
罗勒烯 Ocimene	98%	Sigma 公司
3-萜烯 3-carene	91.7%	东京化成工业株式会社
α -水芹烯 α -phellandrene	≥ 95	Sigma 公司
α -法呢烯 α -farnesene	90%	Sigma 公司
反-2 己烯醇 trans-2-hexenol	97%	Sigma 公司
桉树醇 Eucalyptus alcohol	99%	Sigma 公司
乙酸正丁酯 N-butyl acetate	≥ 99.7	Sigma 公司

1.3 触角电位测定

采用荷兰 Syntech 公司生产的触角电位仪进行生测反应, 该电位仪主要由直流/交流放大器 Syntech IDAC-232、刺激放大器 Syntech CS-55、微动操作仪 Syntech MP-15、Ag 电极和 Syntech EAG 数据记录分析软件构成。

触角电位 (EAG) 测定方法参照王茹林等 (2011) 和李为争等 (2013) 的方法。用解剖刀将枣飞象的触角从头基部切下, 触角端部切开一个小口, 立即用导电胶将切好的触角粘在电极两端, 然后调试仪器, 待基线平稳后开始测定。

将滤纸剪成长 5 cm、宽 4~5 mm 的长条, 用移液器取 20 μL 待测液体均匀滴加在滤纸条上, 对折后慢慢滑入巴斯德管, 将装有样品的巴斯德管连接到气体刺激控制装置, 连续湿润气体流量为 400 mL/min , 脉冲刺激气体流量为 120 mL/min , 刺激时间为 0.5 s, 连续两次刺激间隔不小于 40 s, 保证触角完全恢复感受功能。为了消除系统误差, 不同标准样品的测定顺序随机抽取, 但同一标准样品刺激的浓度由低到高。每处理测试 6 头枣飞象, 每头枣飞象只选取 1 个触角测试,

每样品平均测试 3 次。以液体石蜡作为对照, 将每一样品测定值的平均数除以前后 2 次对照测定值的平均数即得 EAG 反应相对值。

1.4 “Y”型嗅觉仪器生物测定

室内嗅觉行为试验于 2015 年 6—7 月, 使用 Y 型嗅觉仪进行测定, 选取 EAG 反应最大浓度进行嗅觉行为测定, 测定方法参照王保新等 (2014) 进行测定。

Y 型嗅觉仪主要包括: 大气采样仪 (QC-2B)、活性炭过滤装置、空气加湿器和 Y 型管 (北京博龙玻璃仪器公司) Y 型管主臂即适应臂长 10 cm, 两侧臂长 8 cm, 内径均为 2 cm, 两侧臂间的夹角 75° , 流量控制器、样品室。载气的顺序为: 活性炭过滤塔、大气采样仪、空气加湿装置、气体流量计、两侧臂、主臂。

测定时取 10 μL 待测化合物, 滴在 $5 \text{ cm} \times 0.4 \text{ cm}$ 的滤纸条上, 随后放入样品室内, 打开大气采样仪, 调节气体流量计使两支路的气流分别为 120 mL/min , 从放虫口引入 1 头枣飞象成虫, 待枣飞象成虫爬入主臂开始计时, 如果枣飞象成虫爬入任何一侧臂 5 cm, 并停留 1 min 以上则记

录为枣飞象有选择,如果枣飞象 5 min 后还停留在适应臂则记录为无选择。每 6 头枣飞象编为一组,每测定 2 头枣飞象将两侧臂调换位置,每组测试完成后更换滤纸条、Y 型管和锥形瓶,各种玻璃管件用无水乙醇清洗,用蒸馏水冲洗后,置于阴凉处阴干用于测试下一组。每次测定 30~40 头枣飞象。

1.5 数据分析

采集到的数据采用 DPS 7.5 软件进行统计分析,利用 Duncan's 多重比较法,比较同一标准化化合物不同浓度之间的 EAG 差异显著性,采用卡方检验分析选择气味臂的枣飞象总头数和选择对照臂枣飞象总头数的差异。

2 结果与分析

2.1 枣飞象对不同浓度枣树挥发物的触角电位反应

枣飞象对 7 种不同浓度枣树挥发物的触角电位反应见表 2,当挥发物浓度为 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$,所

有挥发物引起的触角电位反应比较微弱;当挥发物刺激浓度升高到 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$,枣飞象成虫的触角电位反应相对值都有不同程度的增加,其中枣飞象雄虫对罗勒烯、3-萜烯、反-2-己烯醇、乙酸正丁酯和雌虫对罗勒烯、3-萜烯、 α -法呢烯的触角电位反应的相对值有显著提高 ($P < 0.05$);当刺激浓度达到 10 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$,除枣飞象雌虫对 3-萜烯、雄虫对 α -水芹烯以外,枣飞象对其它挥发物触角电位相对值与刺激浓度为 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 差异极显著 ($P < 0.01$);当挥发物浓度达到 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$,枣飞象成虫对所有挥发物触角电位相对值都达到最大;当挥发物浓度达到 100 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 时,枣飞象对 7 种挥发物的触角电位反应相对值出现降低,且大部分化合物的触角电位反应相对值同 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 相比降低达到显著差异水平 ($P < 0.01$) (枣飞象雌虫对 3-萜烯和雄虫对 α -水芹烯触角电位相对反应值除外)。

选择触角电位反应相对值为最大时的浓度 (50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$),比较了枣飞象对不同挥发物的触角电位反应相对值的差异和同种化合物在枣飞

表 2 枣飞象成虫对 7 种化合物不同浓度的 EAG 反应

Table 2 EAG response of *Scythropus yasumatsui* female and male weevils to 7 compounds at different concentration

标准化化合物 Compounds	性别 Sex	EAG 反应相对值 Relative EAG response ($\mu\text{g}/\mu\text{L}$)				
		0.1	1	10	50	100
罗勒烯 Ocimene	雌虫 Female	1.12±0.04dD	1.58±0.06cC	2.03±0.10bB	2.87±0.21aA	2.34±0.07bB
	雄虫 Male	1.04±0.06dC	1.30±0.08cC	1.98±0.07bB	2.53±0.13aA	2.16±0.03bB
3-萜烯 3-carene	雌虫 Female	0.81±0.31dD	1.40±0.06cC	1.73±0.09bcC	2.32±0.09aA	2.07±0.10aA
	雄虫 Male	1.17±0.03dD	1.38±0.05cC	1.63±0.07bB	2.27±0.06aA	1.72±0.04bB
α -水芹烯 α -phellandrene	雌虫 Female	1.03±0.02dD	1.20±0.06dD	1.53±0.12cC	2.34±0.09aA	1.79±0.01bB
	雄虫 Male	1.05±0.01bB	1.22±0.03bB	1.20±0.08bB	2.31±0.07aA	2.19±0.06aA
α -法呢烯 α -farnesene	雌虫 Female	0.94±0.08dD	1.21±0.05cC	1.42±0.06bB	2.10±0.07aA	1.43±0.05bB
	雄虫 Male	1.01±0.06cC	1.02±0.06cC	1.39±0.05bB	2.09±0.12aA	1.52±0.06bB
反-2-己烯醇 trans-2-hexenol	雌虫 Female	1.02±0.05cC	1.13±0.07cC	1.57±0.03bB	2.23±0.08aA	1.73±0.09bB
	雄虫 Male	1.19±0.08dD	1.45±0.09cC	1.81±0.10bB	2.14±0.05aA	1.62±0.06bcB
乙酸正丁酯 N-butyl acetate	雌虫 Female	1.03±0.02cC	1.26±0.08bcC	1.58±0.05bB	2.07±0.11aA	1.43±0.19bB
	雄虫 Male	1.07±0.05dD	1.32±0.03cC	1.69±0.04bB	2.10±0.09aA	1.63±0.08bB
桉树醇 Eucalyptus alcohol	雌虫 Female	0.96±0.03cC	1.02±0.06cC	1.42±0.05bB	2.28±0.12aA	1.48±0.04bB
	雄虫 Male	1.04±0.01cC	1.14±0.07cC	1.64±0.03bB	2.43±0.08aA	1.58±0.07bB

表中数据为平均值±标准误;同行数据后标有不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),标有不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Data in the table are mean ±SE, and followed by different small letters in the same row indicate significant difference at 0.05 level ($P < 0.05$), while followed by different capital letters indicate extremely significant difference at 0.01 level.

象雌、雄触角电位反应相对值的差异。从表 2 中不难看出, 枣飞象雌、雄成虫对罗勒烯的触角电位反应相对值最高, 分别为 2.87 和 2.53, 枣飞象雌成虫对罗勒烯的触角电位反应相对值显著高于其它 6 种化合物 ($P < 0.05$), 在该刺激浓度下, 枣飞象雌成虫和雄成虫的触角电位反应相对值差异显著 ($P < 0.05$), 而其它 6 种化合物枣飞象雌成虫和雄成虫的触角电位反应相对值差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 枣飞象成虫对枣树挥发性气味的嗅觉行为反应

选择触角电位反应最强的浓度 $50 \mu\text{g}/\mu\text{L}$, 测定了枣飞象对枣树不同挥发物的嗅觉行为反应, 结果见表 3。枣飞象雌性成虫对 7 种标准化化合物的趋向率由高到低分别为: 罗勒烯 > 反-2-己烯

醇 > α -法呢烯 > 3-萜烯 > α -水芹烯 > 乙酸正丁酯 > 桉树醇, 枣飞象雄成虫的趋向率由高到低为罗勒烯 > α -法呢烯 > 3-萜烯 > 反-2-己烯醇 > α -水芹烯 > 乙酸正丁酯 > 桉树醇。枣飞象雌、雄成虫对罗勒烯趋向率最高分别为 70.8% 和 70.4%, 其次为 α -法呢烯趋向率分别为 68.8% 和 67.7%, 且 χ^2 检验结果表明, 枣飞象成虫选择罗勒烯和 α -法呢烯味源的总虫数与选择空气对照臂的总虫数差异均达到显著水平 ($P < 0.05$), 说明罗勒烯和 α -法呢烯对枣飞象雌、雄成虫均有引诱作用。枣飞象雌性成虫对反-2-己烯醇趋向率为 69.0%, 同空气对照相比反-2-己烯醇仅对其雌虫表现出明显引诱作用 ($P < 0.05$), 对雄虫则没有表现出引诱作用, 而 3-萜烯、桉树醇、乙酸正丁酯和 α -水芹烯引诱作用不明显 ($P > 0.05$)。

表 3 枣飞象对 7 种化合物的嗅觉行为反应

Table 3 Behavioral responses of *Scythropus yasumatsui* female and male weevils to 7 compounds

化合物 Compounds	性别 Sex	总虫数 Total numbers of weevil			趋向率 (%) Response rate	检验 (P) χ^2 test (P)
		气味臂 Odor arm	对照臂 Control arm	无反应 No response		
罗勒烯 Ocimene	雌虫 Female	17	7	6	70.8	4.1667* ($P=0.0412$)
	雄虫 Male	19	8	4	70.4	4.4815* ($P=0.0343$)
3-萜烯 3-carene	雌虫 Female	16	12	6	57.1	0.5714 ^{NS} ($P=0.4497$)
	雄虫 Male	17	13	4	56.7	0.5333 ^{NS} ($P=0.4652$)
α -水芹烯 α -phellandrene	雌虫 Female	15	13	5	53.6	0.1429 ^{NS} ($P=0.7055$)
	雄虫 Male	17	15	3	53.1	0.1250 ^{NS} ($P=0.7237$)
α -法呢烯 α -farnesene	雌虫 Female	22	10	2	68.8	4.5000* ($P=0.0339$)
	雄虫 Male	21	10	4	67.7	3.9032* ($P=0.0482$)
反-2-己烯醇 trans-2-hexenol	雌虫 Female	20	9	5	69.0	4.1724* ($P=0.0411$)
	雄虫 Male	19	15	6	55.9	0.7576 ^{NS} ($P=0.3841$)
乙酸正丁酯 N-butyl acetate	雌虫 Female	14	16	5	46.7	0.1333 ^{NS} ($P=0.7150$)
	雄虫 Male	16	15	6	51.6	0.0323 ^{NS} ($P=0.8575$)
桉树醇 Eucalyptus alcohol	雌虫 Female	15	18	4	45.5	0.2727 ^{NS} ($P=0.6015$)
	雄虫 Male	17	19	3	47.2	0.1111 ^{NS} ($P=0.7389$)

检验中的 NS 表示 $P > 0.05$, * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$ 。

Significance levels of χ^2 test are indicated by NS ($P > 0.05$), * ($P < 0.05$) and ** ($P < 0.01$).

3 讨论

触角电位反应和嗅觉行为测定是筛选信息化合物对昆虫活性的主要方法和手段 (闫凤鸣, 2011; 李为争等, 2013)。本研究试验结果表明,

在一定的浓度下, 在枣飞象的触角电位试验中的 7 种标准化化合物均可引起枣飞象雌雄成虫的触角电位反应, 且成虫对罗勒烯的触角电位反应最强, 表明枣飞象对枣树挥发物的反应具有广泛性和特异性。这和红棕象甲 *Rhynchophorus*

ferrugineus (魏娟等, 2009)、茶丽纹象 (Sun *et al.*, 2010)、槐绿虎天牛 *Chlorophorus diadema* (陈艳萍等, 2016)、光肩星天牛 *Anoplophora blabripennis* (穆丹等, 2014) 等很多植食性昆虫研究结果类似。植食性昆虫对不同浓度的同一种植物挥发物表现出不同的生理活性, 每种昆虫对于挥发化合物都有一个最佳的剂量范围, 低于或高于此范围, 反应强度均有所下降 (王霞等, 2009)。试验中, 枣飞象成虫对所测试化合物的触角电位反应最强的浓度为 50 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 在该浓度下, 进行嗅觉行为试验, 枣飞象雌雄成虫对罗勒烯的趋向率均为最高, 被其明显引诱, α -法呢烯对其引诱作用仅次于罗勒烯, 而反-2-己烯醇仅对其雌虫表现明显的引诱作用, 对雄虫未表现出明显的引诱作用, 结合触角电位的实验结果, 说明罗勒烯和 α -法呢烯为枣树挥发物中吸引枣飞象雌雄成虫的活性物质, 而反-2-己烯醇为吸引枣飞象雌虫的活性物质。这些单一定位的信息化合物, 为开发对其有效的植物源引诱剂提供一定的理论依据, 为未来实现枣飞象的田间防控提供基础资料。

在嗅觉行为测定中, 鞘翅目的很多昆虫每次可以放入多只同一性别的昆虫进行嗅觉选择, 可以提高试验效率和准确度 (Knolhoff and Heckel, 2014), 但是由于枣飞象个体之间存在非常有趣的现象, 如果一次放入两头以上枣飞象雌虫, 它们会聚集在一起而不进行选择; 若一次放入两头以上雄虫, 成虫就会在嗅觉仪里面时而聚集时而打斗, 而不是进行嗅觉行为选择, 从而影响嗅觉试验结果。为了保证嗅觉行为测定的准确性, 本试验每次测定, 仅放入一头枣飞象, 且成虫在嗅觉试验中只使用一次, 因此数据统计分析时使用卡方检验, 没有使用配对 *t*-检验。

一般来说, 植食性昆虫的嗅觉作用十分复杂, 它是对植物气味的化学指纹谱综合识别, 故植物挥发性物质的单一组分与全组分刺激时触角电位反应会有较大差异 (Hare, 2011; 李为争等, 2015)。在本研究仅测定了枣飞象对枣树 7 种挥发物的触角电位和嗅觉行为反应, 试验结果表明了 3-萜烯、桉树醇、乙酸正丁酯和 α -水芹烯有较强的触角电位反应, 但对枣飞象引诱作用

不明显, 这可能与单一组分作用不明显有关。有研究表明, 植物挥发物的某一物质可能本身并不能引起较强的触角电位和嗅觉行为反应, 但其混配起来可以综合引起昆虫的行为反应如红棕象甲 (魏娟等, 2009)、甘薯小象甲 *Cylas formicarius* (张世祚, 2008)、华山松大小蠹 *Dendroctonus arandi* (王茹林等, 2011)、槐绿虎天牛 *Chlorophorus diadema* (陈艳萍等, 2016) 等, 在进一步的研究中, 将各种单体化合物进行组合混配, 对枣飞象进行生理和行为测定进行研究。

参考文献 (References)

- Bartlett E, Bliht MM, Hick AJ, Williams MA, 1993. The response of the cabbage seed weevil (*Ceutorhynchus assimilis*) to the odour of oilseed rape (*Brassica napus*) and to some volatiles isothiocyanates. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 68(3): 295–302.
- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM, 2005. Insect host location: a volatile situation. *Trends in Plant Science*, 10(6): 269–274.
- Budenberg WJ, Ndiege IO, Karago FW, Hansson BL, 1993. Behavioral and electrophysiological responses of the banana weevil *Cosmopolites sordidus* to host plant volatiles. *Journal of Chemical Ecology*, 19(2): 267–277.
- Chen YP, Liu Q, Li M, Wang XJ, Zhang LL, Cao LJ, Qi BR, 2016. EAG and behavioral responses of *Chlorophorus diadema* to six volatiles from *Caragana kroschinskii*. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 53(3): 632–641. [陈艳萍, 刘强, 李敏, 王星霖, 张玲玲, 曹丽娟, 鄢博蕊, 2016. 槐绿虎天牛对柠条锦鸡儿 6 种挥发物的 EAG 和行为反应. 应用昆虫学报, 53(3): 632–641.]
- Dai JQ, Han SC, Du JW, 2010. Progress in studies on behavioural effect of semiochemicals of host plant to insects. *Journal of Environmental Entomology*, 32(3): 407–414. [戴建青, 韩诗晴, 杜家纬, 2010. 植物挥发性信息化学物质在昆虫寄主选择行为中的作用. 环境昆虫学报, 32(3): 407–414.]
- Dicke M, Baldwin IT, 2010. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the ‘cry for help’. *Trends in Plant Science*, 15(15): 167–175.
- Doss RP, Proebsting WM, Potter SW, Clement SL, 1995. Response of Np mutant of pea (*Pisum sativum* L.) to pea weevil (*Bruchus pisorum* L.) oviposition and extracts. *Journal of Chemical Ecology*, 21(1): 97–106.
- 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化合物的研究进展. *北京林业大学学报*, 26(3): 76–81.]
- Gao JL, Lu FP, Zhao DX, Jia FZ, 2012. EAG responses of *Hypomeces squamosus* to 11 volatiles and the selectivity of these beetles to 4 host-plants. *Journal of Tropical Crops*, 33(9): 1677–1680. [高景林, 卢芙蓉, 赵冬香, 贾芳盟, 2012. 绿鳞象甲对 11 种挥发物的 EAG 反应及对 4 种寄主的选择性. *热带作物学报*, 33(9): 1677–1680.]
- Gao YQ, Lu LH, Zhang X, Li JJ, Li XL, 2009. Tests of several chemical on control of *Scythropus yasumatsui*. *Journal Northwest Forestry University*, 24(6): 106–108. [高永强, 路丽华, 张欣, 李建军, 李修炼, 2009. 几种药剂防治酸枣食芽象甲试验. *西北林学院学报*, 24(6): 106–108.]
- Han Y, Li XG, Yang LJ, Fan YL, Zhang XW, 2010. Volatiles of Chinese jujube during different developmental phases. *Journal of Northwest Forestry University*, 25(5): 170–175. [韩颖, 李新岗, 杨立军, 范艳林, 张学武, 2010. 枣树不同发育期挥发物研究. *西北林学院学报*, 25(5): 170–175.]
- Hare JD, 2011. Ecological role of volatiles produced by plants in response to damage by herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 56(1): 161–180.
- Knolhoff LM, Heckel DG, 2014. Behavioral assays for studies of host plant choice and adaptation in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 59(1): 263–278.
- Li WZ, Hu JJ, Chen HJ, Guo XR, Wang Q, Yuan GH, 2015. A new perspective on the screening and blending of volatile pest attractants derived from plants. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(5): 1094–1106. [李为争, 胡晶晶, 陈汉杰, 郭线茹, 王琼, 原国辉, 2015. 挥发性植物源害虫引诱剂筛选与混配方法的新视角. *应用昆虫学报*, 52(5): 1094–1106.]
- Li WZ, Yang L, Shen XW, Yuan YH, Yuan GH, Luo MH, Guo XR, 2013. Electroantennographic and behavioural responses of scarab beetles to *Ricinus communis* leaf volatiles. *Acta Entomologica Sinica*, 33(21): 6895–6903. [李为争, 杨雷, 申小卫, 袁莹华, 原国辉, 罗梅浩, 郭线茹, 2013. 金龟甲对蓖麻叶挥发物的触角电位和行为反应. *生态学报*, 33(21): 6895–6903.]
- Mu D, Liu ZK, Tao Y, Yu WW, Zhou LZ, Wang JQ, 2014. Selective response of *Anoplophora blabripennis* adults to plant volatiles. *Journal of Harbin Normal University (Natural Sciences)*, 30(4): 94–97. [穆丹, 刘正奎, 陶袁, 许文文, 周连柱, 汪佳晴, 2014. 光肩星天牛成虫对植物气味的选择反应. *哈尔滨师范大学学报 (自然科学)*, 30(4): 94–97.]
- Ren DZ, Qi XY, 2009. Preliminary study on the control of *Scythropus yasumatsui* in Northern Shaanxi. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 13(6): 40–41. [任登州, 齐向英, 2009. 陕北地区枣食芽象防治初探. *河北农业科学*, 13(6): 40–41.]
- Shi GL, Fan BH, Jia FB, Liu SQ, Cao H, 2000. Studies on the occurrence and copulation behavior of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto. *Chinese Entomology towards the 21st Century - The Chinese Society of Insects in 2000 Academic Essays*. 589–593. [师光禄, 樊宝华, 贾峰彪, 刘素琪, 曹辉, 2000. 枣飞象发生规律及交配行为的研究. *走向 21 世纪的中国昆虫学—中国昆虫学会 2000 年学术年会论文集*. 589–593.]
- Sun XL, Wang GC, Cai XM, Jin S, Gao Y, Z Chen ZM, 2010. The tea weevil, *Myloccerinus aurolineatus*, is attracted to volatiles induced by conspecifics. *Journal of Chemical Ecology*, 36(2): 388–395.
- Tang XL, Zhao HZ, Zhang XW, 2013. Techniques for the control of *Scythropus yasumatsui* in the Northern Shaanxi. *Shaanxi Forest Science and Technology*, (4): 131–132. [唐学亮, 赵宏志, 张学武, 2013. 陕北枣树食芽象甲防治技术研究. *陕西林业科技*, (4): 131–132.]
- Visser JH, 1986. Host odour perception in phytophagous insects. *Annual Review of Entomology*, 31: 121–124.
- Wang BX, Yang H, Yang W, Yang CP, Cai Y, Zhou M, He XH, 2014. EAG and behavioral responses of *Batocera lineolata* Chevrolat (Coleoptera: Cerambycidae) to ten plant volatiles. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 51(2): 481–489. [王保新, 杨桦, 杨伟, 杨春平, 蔡艳, 周梦, 何晓华, 2014. 云斑天牛对 10 种植物挥发物的 EAG 和行为反应. *应用昆虫学报*, 51(2): 481–489.]
- 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 plant 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 X, Xu J, Shen YL, Liu FY, Du YJ, 2009. Electroantennogram responses of *Maruca testulalis* (Lepidoptera Pyralidae) to plant volatiles and sex pheromone. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(8): 1–7. [王霞, 徐静, 沈幼莲, 刘凤英, 杜永均, 2009. 豆野螟成虫触角对植物挥发物和性信息素化合物的触角电位反应. *应用生态学报*, 20(8): 1–7.]
- Wei J, Qin WQ, Ma ZL, Huang SC, Yan W, Han CW, 2009. Behavior response of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) adult to volatile compounds from fermented plants. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 30(11): 1651–1655. [魏娟, 覃伟权, 马子龙, 黄山春, 阎伟, 韩超文, 2009. 红棕象甲成虫对 5 种植物发酵挥发物的行为反应. *热带作物学报*, 30(11): 1651–1655.]
- Yan FM, 2011. *Chemical Ecology* (2nd ed.). Beijing: Science Press.

- 44–85. [闫凤鸣主编, 2011. 化学生态学(第二版). 北京: 科学出版社. 44–85.]
- Yan XF, Li G, Liu YH, He Y, Wang JH, 2014. Study on spatial distribution pattern and sampling technique of overwintering larvae of *Scythropus yasumatsui* Kono et Morimoto. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 30(31): 285–289. [阎雄飞, 李刚, 刘永华, 贺英, 王敬辉, 2014. 枣食芽象甲越冬幼虫空间分布型和抽样技术研究. 中国农学通报, 30(31): 285–289.]
- Yan XF, Li SC, 2012. The behavior responses of *Scythropus yasumatsui* to volatiles emanating from different cultivars of jujube trees. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 28(22): 197–200. [阎雄飞, 李善才, 2012. 枣食芽象甲对不同品种枣树挥发物气味行为反应. 中国农学通报, 28(22): 197–200.]
- Yang H, Yang MF, Yang W, Yang CP, Zhu TH, Huang Q, Zhao XY, 2010. Behavioral and EAG responses of *Cyrtotrachelus buqueti* Guerin-Meneville (Coleoptera:Curculionidae) adults to host volatiles and their body extracts. *Acta Entomologica Sinica*, 53(3):286–292. [杨桦, 杨茂发, 杨伟, 杨春平, 朱天辉, 黄琼, 赵晓英, 2010. 竹横锥大象对寄主及虫体挥发物的行为和触角电位反应. 昆虫学报, 53(3): 286–292.]
- Yang Y, Liang XY, Yang CP, Yang Y, Yang W, 2012. A review of research on Curculionidae pheromones. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 29(1): 125–129. [杨毅, 梁潇予, 杨春平, 杨桦, 杨伟, 2012. 象甲科昆虫信息素研究概况. 浙江农林大学学报, 29(1): 125–129.]
- Yin D, Zhao DX, Wang YJ, Gao JL, Lu FP, Wang AP, 2012. Study of the behavioral responses of *Odoiporus longicollis* to volatiles from banana pseudostems with different physiological status. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 49(4): 992–999. [尹炯, 赵冬香, 王玉洁, 高景林, 卢芙蓉, 王爱萍, 2012. 香蕉假茎象甲对不同生理状态香蕉假茎挥发物的行为反应. 应用昆虫学报, 49(4): 992–999.]
- Zhang SW, Talekar NS, Li ZY, Sun YX, 2008. Selection behaviors of *Cylas formicarius* (F.) adult to different parts of sweet potato plant. *Journal of Yunnan Agricultural University (Nature Science Edition)*, 30(1): 127–129. [张世祎, N.S.Talekar, 李正跃, 孙跃先, 2008. 甘薯小象甲成虫对甘薯植株不同部位的选择行为. 云南大学学报(自然科学版), 30(1): 127–129.]
- Zhao Y, Gao XY, Xiao C, 2014. Advance of weevils host selection behavior research. *Journal of Agricultural Catastrophology*, 4(7): 18–21, 46. [赵艳, 高晓余, 肖春, 2014. 象甲科昆虫寄主选择行为研究进展. 农业灾害研究, 4(7): 18–21, 46.]



金光短柄象 *Catapionus fossulatus* (Motschulsky, 1860)

体长 1 cm 左右, 体被覆致密的小圆形的鳞片, 具有紫红色或蓝绿色金属光泽。喙圆筒形, 长是宽的两倍; 上颚前缘有脱落性疤痕, 爪合生, 无眼叶, 鞘翅肩不明显, 行间刻点大。取食草本植物, 多生活在山地的高海拔区域。照片 2015 年 6 月 19 日拍摄于吉林延边自治州老里克湖。

(姜春燕, 中国科学院动物研究所)