

烟粉虱 MED 隐种对 13 种植物挥发性物质的行为反应

李 姝¹ 赵 静^{1,2} 张晓曼¹ 王文君¹ 罗 晨¹ 王 甦^{1*}

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097; 2. 潍坊科技学院, 山东 寿光 262700)

摘要: 为明确烟粉虱 *Bemisia tabaci* MED 隐种对不同植物挥发性物质的行为选择, 采用 Y 型嗅觉仪测定了烟粉虱雌、雄成虫对 13 种植物挥发性物质的趋向行为反应。结果显示, 烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫对不同浓度植物挥发性物质的选择性存在明显差异。1、0.01 和 0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度的芳樟醇、反-2-己烯醛和桉树脑对烟粉虱 MED 隐种雌、雄虫校正反应率均为正值, 具显著吸引效果; 而 *p*-伞花烃、月桂烯、3-萜烯、 α -蒎烯和顺-3-己烯-1-醇对雌、雄成虫的校正反应率均为负值, 说明其对烟粉虱 MED 隐种雌、雄虫具有不同程度的趋避性。雌烟粉虱对 0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度桉树脑的选择率达最大值 70.30%, 与对照差异显著, 具显著吸引作用。雌、雄烟粉虱对 0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度的顺-3-己烯-1-醇的选择率最小, 仅为 24.75% 和 27.03%, 具显著驱避作用。因此, 烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫对不同浓度植物挥发性物质趋性反应不同, 可能是烟粉虱环境适应性的表现。

关键词: 烟粉虱; 挥发性物质; 嗅觉; 趋性行为

Behavioral responses of *Bemisia tabaci* MED to 13 plant volatiles

Li Shu¹ Zhao Jing^{1,2} Zhang Xiaoman¹ Wang Wenjun¹ Luo Chen¹ Wang Su^{1*}

(1. Institute of Plant and Environmental Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. College of Weifang Science & Technology, Shouguang 262700, Shandong Province, China)

Abstract: In order to evaluate the reactive preference of *Bemisia tabaci* MED to the volatiles from various plants, the behavioral response of whitefly adults to volatile odors were observed via a Y-type olfactometer, which was conducted to investigate the repellent effect of 13 volatile odors to *B. tabaci*. The results showed that there was significant difference in the orientation rate to different concentrations of aliphatic compounds between the male and female. The response rates of both *B. tabaci* females and males were positive to 1, 0.01 and 0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ of linalool, trans-2-hexenal, and 1 β -cineole, which showed significant attractive effect. However, the response rates were negative value in all concentrations of *p*-cymene, myrcene, 3-carene, α -pinene and cis-3-hexen-1-ol, which indicated that they were repellent to both *B. tabaci* females and males. It was found that 0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 1 β -cineole had the highest attraction to *B. tabaci* MED females with the selectivity of 70.30%. *B. tabaci* MED females and males had the lowest selectivity of 24.75% and 27.03% to 0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ cis-3-hexen-1-ol, respectively. *B. tabaci* MED males and females had different orientational behaviors to different concentrations of plant volatiles, which might reflect their environmental adaptiveness.

Key words: *Bemisia tabaci*; volatile; olfaction; behavioral response

植物挥发性物质给昆虫的寄主选择提供了重要依据, 同时在进化过程中, 植物也利用一些挥发性物

质来驱避植食性昆虫。随着植物化学物质分离和提纯技术的发展, 促进了对植食性昆虫嗅觉及其寄主

基金项目: 国家自然科学基金(31471773) 北京市叶类蔬菜创新团队建设(BLVT-13) 国家公益性行业(农业)科研专项(2013003019)

* 通讯作者(Author for correspondence), E-mail: anthocoridae@163.com

收稿日期: 2015-10-19

植物之间识别机理的研究。近年来,国内外对植物挥发性物质的组分、基本特性、释放机制以及昆虫对植物挥发性物质的接收器官、反应机制和植物挥发性物质对昆虫行为的作用进行了大量研究(Powell et al. 2006; 陆宴辉等 2008; Michereff et al. 2011)。

烟粉虱 *Bemisia tabaci* (Gennadius) 作为一种世界性重要农业害虫,为复合种,包括至少 31 个形态上不易鉴别,但是遗传上存在差异的隐种(de Barro et al. 2011, 刘银泉和刘树生 2012)。烟粉虱 MED 隐种(原称 Q 生物型)于 2003 年在我国云南首次发现,在多个省份大规模发生,给农业生产造成严重的经济损失。烟粉虱 MED 隐种比 MEAM1 隐种(原称 B 生物型)具有更强的生殖力、更短的发育历期及对新烟碱类药剂更强的耐受性(Horowitz et al. 2005; Karunker et al. 2008; Rao et al. 2011)。随着其入侵定殖种群增加,逐渐取代 MEAM1 隐种而成为优势种群(Hu et al. 2011; Rao et al. 2011)。因此,密切关注烟粉虱 MED 隐种对寄主植物的选择机制,对于研究烟粉虱 MED 隐种种群扩散入侵机制及烟粉虱综合防控技术是非常必要的。

烟粉虱通过取食韧皮部汁液、传播植物病毒等多种方式,为害超过 600 种植物(罗晨和张芝利, 2000; Pan et al. 2011)。尽管寄主植物丰富,但烟粉虱对不同寄主植物上的取食和产卵有明显的选择性(林克剑等, 2008; 周福才等, 2008; 钟苏婷等, 2009),而且在不同寄主植物上的发育适合度、成虫存活率也显著不同(郭建英等, 2011)。目前,应用刺吸电波技术已证实了烟粉虱对寄主植物有选择特异性和适应性(林克剑等, 2007; 李晓敏等, 2013)。因此,烟粉虱的寄主选择性、适应性与不同寄主植物挥发物质差异密切相关。曹凤勤等(2008)利用 Y 型嗅觉仪试验证明了 1- β -桉树脑对烟粉虱 MEAM1 隐种有显著吸引作用,而高浓度的 α -蒎烯和顺-3-己烯-1-醇对其有明显的趋避行为。Bleeker et al. (2009)通过电生理学和嗅觉行为测定发现野生番茄中的某些倍半萜烯和单萜类,如姜烯、姜黄烯、*p*-伞花烃和 α -松油烯对烟粉虱 MED 隐种有趋避行为。近年来,杜文晓和秦玉川(2014)进一步明确了烟粉虱 MED 隐种头部感器结构;吴帆等(2015)也深入研究了烟粉虱 MED 隐种相关化学感受蛋白,因此,为进一步深入解析烟粉虱 MED 隐种化学感受系统与入侵地寄主植物挥发性物质的识别结合机制,本试验应用 Y 型嗅觉仪测定了烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫对 13 种植物挥发性物质或虫害诱导后气

体的趋性行为反应,以期明确烟粉虱 MED 隐种选择寄主植物的机理提供基础行为学证据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫:烟粉虱来自北京农林科学院植物保护环境保护研究所养虫室,经分子标记(罗晨等, 2002)鉴定为 MED 隐种,并在温室内温度 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ 、RH 60%~80%、光照 L:D=15 h:8 h 的条件下,以普通烟草 *Nicotiana tabacum* L. (品种为云烟 117) 为寄主进行连代饲养。

试剂:芳樟醇(linalool)、 β -紫罗兰酮(β -ionone)、月桂烯(myrcene)、丁香酚(eugenol)、*p*-伞花烃(*p*-cymene)、壬醛(1-nonanal)、柠檬烯(limonene)、3-蒎烯(3-carene)、 β -石竹烯(β -caryophyllene)、 α -蒎烯(α -pinene)、顺-3-己烯-1-醇(cis-3-hexen-1-ol)、反-2-己烯醛(trans-2-hexenal)、桉树脑(1- β -cineole) 纯度 >97%,上海百灵威化学技术有限公司。

仪器:Y 型嗅觉仪由 Y 型无色透明玻璃管构成,内径 1.5 cm,两臂各长 10 cm,外加 2 cm 磨口套管,两臂夹角 60° ,Y 型管上方 25 cm 处放有 40 W 日光灯,室内温度保持 $25 \pm 3^\circ\text{C}$,管中气体流速 100 mL/min。每个玻璃臂分别与流量计、味源玻璃容器和活性碳管等相连。

1.2 方法

1.2.1 挥发性气味物质样品制备

分别将 13 种植物挥发性物质的标准品以石蜡油稀释至 0.01、0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度,充分混匀后密封,放置于 4°C 冰箱内储存。在滤纸上分别滴加 1 μL 的纯品、0.01、0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度溶液,以石蜡油为对照,测定 3 个梯度浓度下烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫的趋性反应。

1.2.2 烟粉虱对植物挥发物质的行为反应测定

Y 型嗅觉仪测试前,按照试验设置要求,将味源置于味源瓶中,然后通气 10 min,使气味充满管道,以保证测试结果。分别采集烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫,并饥饿 4 h 后备用。每次测定接入 1 头成虫于嗅觉仪 Y 型管基部,观察其 3 min 内(即从释放口开始计时到进入两臂的时间)的行为选择反应,当雌虫越过某臂 1/3 处则视为选择,3 min 内不作选择,则记无反应。每头烟粉虱只测试 1 次,每测试 10 头后,用 95% 乙醇擦洗管的内、外壁,烘干后调换对称的两臂与味源瓶联接的位置,以消除误差。具

有行为选择的有效重复为 60 头。选择率 = 选择臂虫口数 / 总头数 $\times 100\%$, 校正反应率 = (处理臂虫口数 - 对照臂虫口数) / 总头数 $\times 100\%$, 若值为正, 为诱集率, 若值为负, 则为驱避率。

1.3 数据分析

试验数据用 SPSS 17.0 进行统计分析。采用 χ^2 分析法检验烟粉虱 MED 隐种雌、雄虫于不同浓度下在 2 个处理气味源间的趋性选择是否呈假设 H_0 为 50:50 的理论分布, 并计算 χ^2 值。

2 结果与分析

2.1 1 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度下 MED 隐种的选择性

烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫对不同浓度的挥发性气味物质选择显著不同(图 1), 供试的 13 种物质在 1 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度时, 与对照相比, 仅有丁香酚对烟粉虱 MED 隐种雌虫吸引极显著, 壬醛对雌虫和月桂烯对雄虫驱避性极显著 ($P < 0.01$)。桉树脑、 β -石竹烯对雌虫和 β -紫罗兰酮对雄虫吸引力显著, 顺-3-己烯-1-醇对雌虫的驱避性显著 ($P < 0.05$)。雌、雄烟粉虱对其余物质选择性差异不显著。

2.2 0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度下 MED 隐种的选择性

烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫对浓度为 0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 植物挥发性物质的反应相似(图 2)。桉树脑、反-2-己烯醛和芳樟醇对雌、雄烟粉虱 MED 隐种具有极显著吸引力 ($P < 0.01$), 其中对 0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度芳樟醇的选择率达到了 67.13% 和 60.89%。

α -蒎烯对雌、雄烟粉虱有强烈的驱避作用, 与对照差异极显著 ($P < 0.01$)。p-伞花烃和 3-萜烯对雌虫表现有强烈的驱避作用, 与对照差异极显著 ($P < 0.01$); 3-萜烯对雄虫和丁香酚对雌虫表现一定的驱避作用, 与对照差异显著 ($P < 0.05$)。雌、雄烟粉虱对 0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度的顺-3-己烯-1-醇选择率最小, 仅为 24.75% 和 27.03%, 具有显著驱避反应。

2.3 0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度下 MED 隐种的选择性

雌烟粉虱对 0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度桉树脑的选择率达到最大值, 为 70.30%, 对反-2-己烯醛的选择率次之, 为 68.80%, 均与对照差异极显著 ($P < 0.01$, 图 3)。烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫对芳樟醇表现强烈的选择性, 与对照差异显著 (雌虫: $P < 0.01$; 雄虫: $P < 0.05$)。 α -蒎烯和 p-伞花烃对烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫表现强烈的驱避作用, 与对照差异极显著 ($P < 0.01$); 而顺-3-己烯-1-醇和 3-萜烯对雌虫表现出极显著的驱避作用 ($P < 0.01$), 对雄虫的驱避性显著 ($P < 0.05$)。

2.4 烟粉虱 MED 隐种对 13 种化学成分的反应率

烟粉虱 MED 隐种雌、雄成虫对不同浓度的芳樟醇、反-2-己烯醛和 1- β -桉树脑的校正反应率始终为正值(表 1), 说明其在不同浓度下都具有一定的吸引作用。而雌、雄成虫对 3 种浓度下 p-伞花烃、月桂烯、3-萜烯、 α -蒎烯和顺-3-己烯-1-醇的校正反应率都为负值, 说明其具有不同程度的驱避作用。其余挥发性物质只有在特定浓度时对烟粉虱有作用(表 1)。

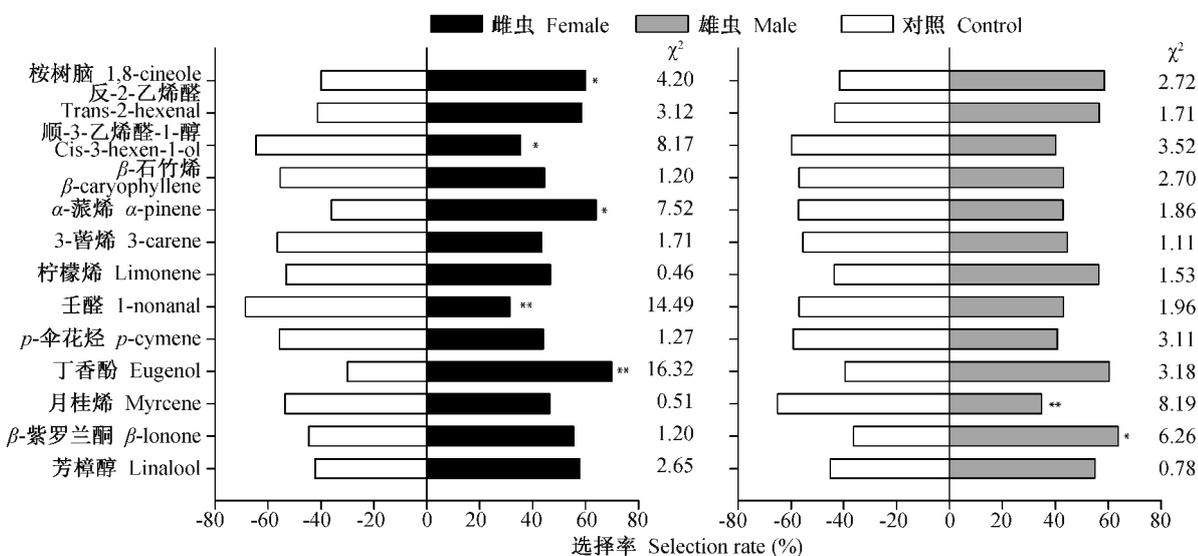


图 1 雌、雄烟粉虱 MED 隐种对 1 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ 浓度下不同植物挥发性物质的选择性

Fig. 1 Taxis response of *Bemisia tabaci* females and males to 1 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$ of aliphatic compounds

* 和 ** 表示处理间经 χ^2 检验分别在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著。* or ** indicates significant difference among different treatments at $P < 0.05$ or $P < 0.01$ level by χ^2 test.

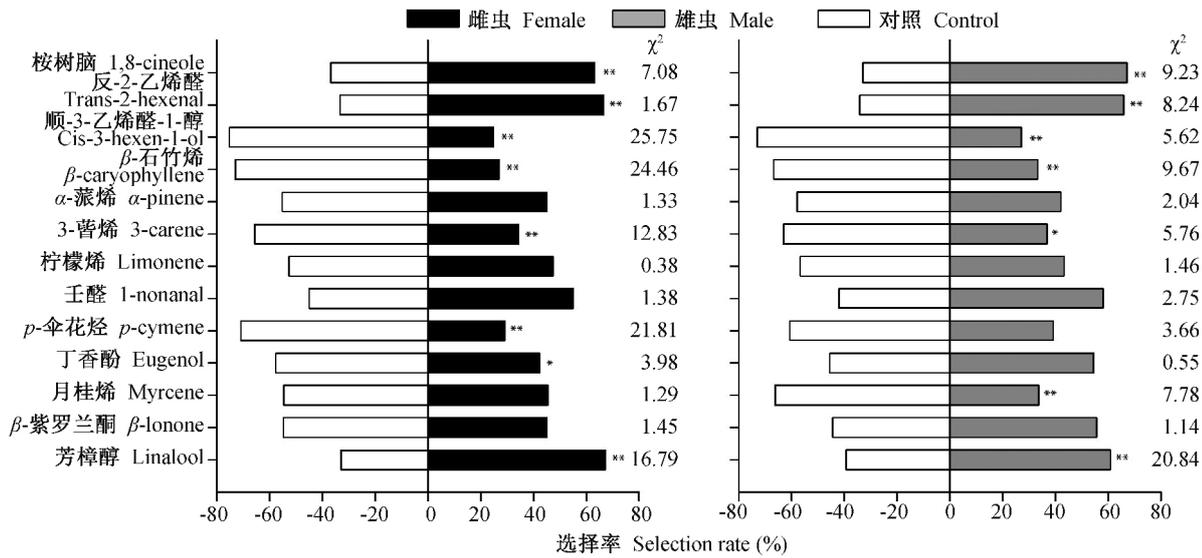


图2 雌、雄烟粉虱 MED 隐种对 0.01 μL/μL 浓度植物挥发性物质的选择性

Fig.2 Taxis response of *Bemisia tabaci* females and males to 0.01 μL/μL of aliphatic compounds

* 和 ** 表示处理间经 χ^2 检验分别在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著。* or ** indicates significant difference among different treatments at $P < 0.05$ or $P < 0.01$ level by χ^2 test.

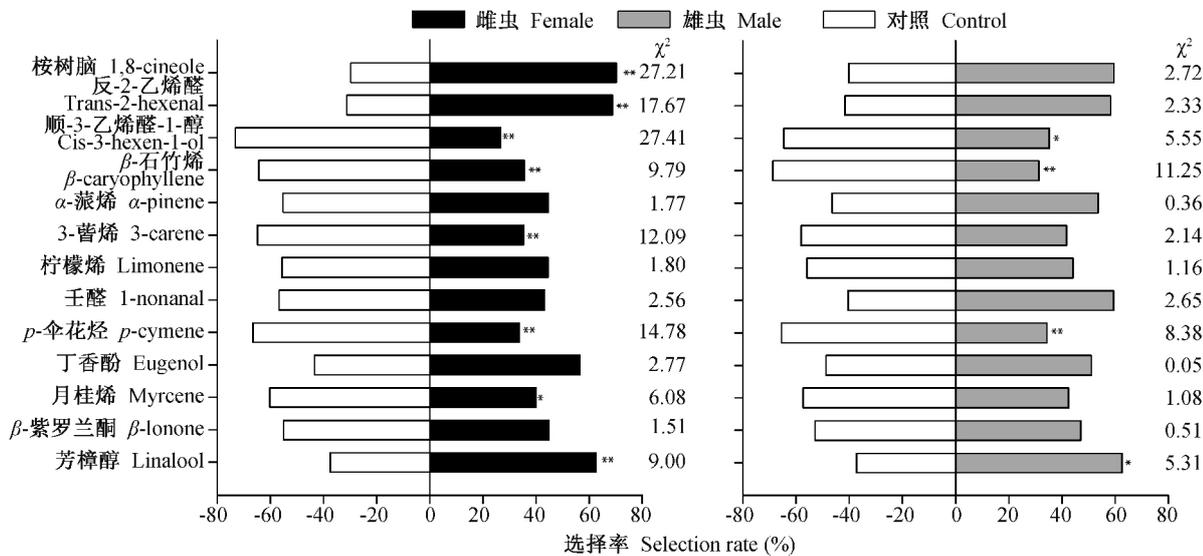


图3 雌、雄烟粉虱 MED 隐种对 0.0001 μL/μL 浓度植物挥发性物质的选择性

Fig.3 Taxis response of *Bemisia tabaci* female and male to 0.0001 μL/μL of aliphatic compounds

* 和 ** 表示处理间经 χ^2 检验分别在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平差异显著。* or ** indicates significant difference among different treatments at $P < 0.05$ or $P < 0.01$ level by χ^2 test.

3 讨论

寄主植物挥发性物质对植食性昆虫在寄主选择、定向中起着重要作用(钦俊德,1995; 安新城和任顺祥 2007; 林克剑等 2007)。番茄、棉花健康时释放单萜类和倍半萜类化合物等(如 α-蒎烯、月桂烯、顺-3-己烯-1-醇) 而受害虫为害时会迅速大量释放这些化合物及其诱导产生的开环类萜化合物(如

芳樟醇等)、反-2-己烯醛等(Loughrin et al. ,1994; 娄永根和程家安,2000)。烟粉虱作为多食性害虫对寄主植物的选择存在差异,与植物挥发性物质不同有密切联系(赵艳群等 2012)。曹凤勤等(2008) 认为番茄植株特有的挥发性香味物质,如 1,8-桉树脑、柠檬烯、月桂烯对烟粉虱 MEAM1 隐种有吸引作用,但涂洪涛(2014) 认为 β-月桂烯和柠檬烯对烟粉虱 MED 隐种有驱避效果,驱避率和浓度呈正相关。

表 1 烟粉虱 MED 隐种对不同浓度的 13 种挥发性物质的校正反应率

Table 1 The response rates of *Bemisia tabaci* females and males to different concentrations of aliphatic compounds %

化学成分 Aliphatic compound	1 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$		0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$		0.0001 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$	
	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male	雌 Female	雄 Male
芳樟醇 Linalool	17.0 \pm 2.6	10.4 \pm 3.7	34.6 \pm 3.2	20.8 \pm 4.7	25.7 \pm 3.3	24.5 \pm 8.3
β -紫罗兰酮 β -ionone	11.3 \pm 1.2	27.1 \pm 6.3	-9.1 \pm 2.3	11.7 \pm 2.4	-11.5 \pm 6.2	-4.2 \pm 0.9
月桂烯 Myrcene	-7.1 \pm 0.8	-30.0 \pm 1.9	-8.5 \pm 3.2	-32.7 \pm 23.5	-21.4 \pm 9.3	-15.0 \pm 6.0
丁香酚 Eugenol	40.2 \pm 2.6	20.6 \pm 2.8	-14.8 \pm 12.9	9.7 \pm 4.5	13.2 \pm 10.3	2.6 \pm 8.6
<i>p</i> -伞花烃 <i>p</i> -cymene	-11.6 \pm 1.8	-18.3 \pm 1.6	-41.0 \pm 3.3	-21.9 \pm 4.2	-32.2 \pm 2.4	-30.1 \pm 6.4
壬醛 1-nonanal	-37.3 \pm 2.0	-13.9 \pm 2.0	9.9 \pm 6.8	15.9 \pm 5.2	-13.5 \pm 1.6	18.7 \pm 7.4
柠檬烯 Limonene	-7.0 \pm 5.0	13.0 \pm 1.9	-5.5 \pm 3.1	-12.7 \pm 4.4	-11.8 \pm 2.9	-12.2 \pm 5.9
3-萜烯 3-carene	-13.1 \pm 1.0	-10.6 \pm 3.6	-30.9 \pm 4.6	-27.2 \pm 2.5	-29.5 \pm 1.6	-16.0 \pm 5.8
β -石竹烯 β -caryophyllene	28.0 \pm 4.0	-14.8 \pm 0.7	-10.2 \pm 3.7	-15.4 \pm 4.9	-10.5 \pm 14.1	7.3 \pm 2.5
α -蒎烯 α -pinene	-10.5 \pm 4.7	-14.0 \pm 0.8	-47.2 \pm 3.8	-35.3 \pm 8.8	-28.2 \pm 1.8	-37.0 \pm 5.1
顺-3-己烯-1-醇 Cis-3-hexen-1-ol	-28.8 \pm 4.0	-20.4 \pm 3.0	-50.9 \pm 3.8	-45.8 \pm 3.8	-46.0 \pm 6.1	-28.5 \pm 0.5
反-2-己烯醛 Trans-2-hexenal	18.1 \pm 6.4	13.0 \pm 1.0	32.3 \pm 3.0	30.8 \pm 4.8	36.0 \pm 4.4	17.3 \pm 8.4
1 δ -桉树脑 1 δ -eineole	19.9 \pm 3.0	17.5 \pm 1.1	26.0 \pm 4.3	34.3 \pm 3.7	40.6 \pm 12.8	19.0 \pm 12.5

表中数据为平均数 \pm 标准差。正值代表诱集率; 负值代表驱避率。Data in the table are mean \pm SD. Positive value indicates trapping index, and negative value indicates avoidance index.

本试验也证实月桂烯对烟粉虱 MED 隐种有一定驱避作用, 而柠檬烯与对照表现不显著, 但从校正反应率来看, 其对雄虫在高浓度时略有引诱作用, 而随浓度降低, 对雌、雄虫略有驱避效果。

曹凤勤等(2008) 研究发现顺-3-己烯-1-醇、 α -蒎烯与烷烃类化合物十二烷在高浓度(0.1 和 0.01 $\mu\text{L}/\mu\text{L}$) 时, 对烟粉虱 MEAM1 隐种雌成虫有较强的排斥作用, 在低浓度下则没有任何作用。而本研究中, 顺-3-己烯-1-醇对 MED 隐种始终具有排斥作用。赵艳群等(2012) 认为 3-萜烯和 β -石竹烯对 MEAM1 隐种的驱避性较其它萜类强, 这与本试验结果一致。吴帆等(2015) 报道 3-萜烯与 1-NPN 竞争结合 MED 隐种 BtCSP1 重组蛋白具有较强的竞争作用, 证明了烟粉虱对该物质的驱避行为机制。

本研究中 β -紫罗兰酮、丁香酚、壬醛、石竹烯不同浓度下对雌、雄烟粉虱趋性反应不同, 这可能与昆虫通过不同浓度区别不同植物或者植物生理状态有关(赵艳群等, 2012)。如不同植物品种、植物健康或受损害状态所释放的挥发性物质浓度不同, 昆虫可以通过浓度高低来判断, 并用于选择寄主, 这也可能是烟粉虱的选择特异性和环境适应性的表现。

值得注意的是, 大多数利用嗅觉仪研究昆虫对植物气味或其它挥发性物质的趋性反应, 仅测试雌虫的选择性。在本研究中, 雌、雄烟粉虱对植物挥发性气体的选择性存在明显差异, 具体作用机制还需要进一步探讨。

参 考 文 献 (References)

- An XC, Ren SX. 2007. Host selection behavior of *Bemisia tabaci*. Chinese Bulletin of Entomology, 44(4): 566 - 570 (in Chinese) [安新城, 任顺祥. 2007. 烟粉虱对寄主的选择行为. 昆虫知识, 44(4): 566 - 570]
- Bleeker PM, Diergaarde PJ, Ament K, Guerra J, Weidner M, Schutz S, de Both MTJ, Haring MA, Schuurink RC. 2009. The role of specific tomato volatiles in tomato-whitefly interaction. Plant Physiology, 151(2): 925 - 935
- Cao FQ, Liu WX, Fan ZN, Wan FH, Cheng LS. 2008. Behavioral responses of *Bemisia tabaci* B-biotype to three host plants and their volatiles. Acta Entomologica Sinica, 51(8): 830 - 838 (in Chinese) [曹凤勤, 刘万学, 范中南, 万方浩, 程立生. 2008. B 型烟粉虱对三种寄主植物及其挥发物的行为反应. 昆虫学报, 51(8): 830 - 838]
- de Barro PJ, Liu SS, Boykin LM, Dinsdale AB. 2011. *Bemisia tabaci*: a statement of species status. Annual Review of Entomology, 56: 1 - 19
- Du WX, Qin YC. 2014. Head sensilla from Q cryptic species of *Bemisia tabaci* and their roles. Chinese Journal of Biological Control, 5(5): 647 - 653 (in Chinese) [杜文晓, 秦玉川. 2014. Q 隐种烟粉虱头部感器观察及功能初步研究. 中国生物防治学报, 5(5): 647 - 653]
- Guo JY, Yang Y, Cong L, Chen T, Wan FH. 2011. Development fitness of *Bemisia tabaci* B-biotype feeding on different host plants. Chinese Journal of Applied Entomology, 48(1): 43 - 47 (in Chinese) [郭建英, 杨洋, 丛林, 陈婷, 万方浩. 2011. 不同寄主植物对 B 型烟粉虱发育适合度的影响. 应用昆虫学报, 48(1): 43 - 47]
- Horowitz AR, Kontsedalov S, Khasdan V, Ishaaya I. 2005. Biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* and their relevance to neonicotinoid and pyriproxyfen resistance. Archives of Insect Biochemistry

- and Physiology, 58: 216–225
- Hu J, de Barro P, Zhao H, Wang J, Nardi F, Liu SS. 2011. An extensive field survey combined with a phylogenetic analysis reveals rapid and widespread invasion of two alien whiteflies in China. *PLoS ONE*, 6: e16061
- Karunker I, Benting J, Lueke B, Ponge T, Nauen R, Roditakis E, Vontas J, Gorman K, Denholm I, Morin S. 2008. Over-expression of cytochrome P450 *CYP6CM1* is associated with high resistance to imidacloprid in the B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 38: 634–644
- Li XM, Li JJ, Zhang DS, Bai RE, Tang QB, Yan FM. 2013. Resistance analysis of four host plants to *Bemisia tabaci* B biotype with DC-EPG. *Journal of Henan Agricultural University*, 47(2): 167–172 (in Chinese) [李晓敏, 李静静, 张大山, 白润娥, 汤清波, 闫凤鸣. 2013. 4种寄主植物对B型烟粉虱的抗性分析. *河南农业大学学报*, 47(2): 167–172]
- Lin KJ, Wu KM, Zhang YJ, Guo YY. 2007. Research on the ultra-structures of the antennal sensilla of *Bemisia taaci* Gennadius and the olfactory behavioral actions to the odors of host plants. *Journal of Plant Protection*, 34(4): 379–386 (in Chinese) [林克剑, 吴孔明, 张永军, 郭予元. 2007. B型烟粉虱触角感受器的超微结构及对寄主植物气味的嗅觉行为反应. *植物保护学报*, 34(4): 379–386]
- Lin KJ, Wu KM, Zhang YJ, Guo YY. 2008. The feeding and oviposition behaviors of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B on five host plants. *Journal of Plant Protection*, 35(3): 199–204 (in Chinese) [林克剑, 吴孔明, 张永军, 郭予元. 2008. B型烟粉虱成虫对五种寄主植物的取食和产卵行为. *植物保护学报*, 35(3): 199–204]
- Liu YQ, Liu SS. 2012. Species status of *Bemisia tabaci* complex and their distributions in China. *Journal of Biosafety*, 21(4): 247–255 (in Chinese) [刘银泉, 刘树生. 2012. 烟粉虱的分类地位及在中国的分布. *生物安全学报*, 21(4): 247–255]
- Lou YG, Cheng JA. 2000. Herbivore-induced plant volatiles: primary characteristics, ecological functions and its release mechanism. *Acta Ecologica Sinica*, 20(6): 1097–1106 (in Chinese) [娄永根, 程家安. 2000. 虫害诱导的植物挥发物: 基本特性、生态学功能和释放机制. *生态学报*, 20(6): 1097–1106]
- Loughrin JH, Manukian A, Heath RR, Turlings TCJ, Tumlinson JH. 1994. Diurnal cycle emission of induced volatile terpenoids by herbivore-injured cotton plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91: 11836–11840
- Lu YH, Zhang YJ, Wu KM. 2008. Host-plant selection mechanisms and behavioral manipulation strategies of phytophagous insect. *Acta Ecologica Sinica*, 28(10): 5113–5122 (in Chinese) [陆宴辉, 张永军, 吴孔明. 2008. 植食性昆虫的寄主选择机理及行为调控策略. *生态学报*, 28(10): 5113–5122]
- Luo C, Yao Y, Wang RJ, Yan FM, Hu DX, Zhang ZL. 2002. The use of mitochondrial cytochrome oxidase I (mt COI) gene sequences for the identification of biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 45(6): 759–763 (in Chinese) [罗晨, 姚远, 王戎疆, 阎凤鸣, 胡敦孝, 张芝利. 2002. 利用 mtDNA COI 基因序列鉴定我国烟粉虱的生物型. *昆虫学报*, 45(6): 759–763]
- Luo C, Zhang ZL. 2000. Study progress on *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Beijing Agricultural Sciences*, 18(S): 4–13 (in Chinese) [罗晨, 张芝利. 2000. B型烟粉虱(*Bemisia tabaci*)研究概述. *北京农业科学*, 18(S): 4–13]
- Michereff MFF, Laumann RA, Borges M, Michereff-Filho M, Diniz IR, Farias Neto AL, Moraes MCB. 2011. Volatiles mediating a plant-herbivore-natural enemy interaction in resistant and susceptible soybean cultivars. *Journal of Chemical Ecology*, 37: 273–285
- Pan HP, Chu D, Ge DQ, Wang SL, Wu QJ, Xie W, Jiao XG, Liu BM, Yang X, Yang NN, et al. 2011. Further spread of and domination by *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) biotype Q on field crops in China. *Journal of Economic Entomology*, 104: 978–985
- Powell G, Tosh CR, Hardie J. 2006. Host plant selection by aphids: behavioral, evolutionary, and applied perspectives. *Annual Review of Entomology*, 51: 309–330
- Qin JD. 1995. Studies on insect-plant relationships: recent trends and prospect. *Acta Zoologica Sinica*, 41(1): 12–20 (in Chinese) [钦俊德. 1995. 昆虫与植物关系的研究进展和前景. *动物学报*, 41(1): 12–20]
- Rao Q, Luo C, Zhang H, Guo X, Devine GJ. 2011. Distribution and dynamics of *Bemisia tabaci* invasive biotypes in central China. *Bulletin of Entomological Research*, 101: 81–88
- Tu HT. 2014. The effect of different celery cultivars against *Bemisia tabaci* on cucumber and study on its mechanism. Ph. D Thesis. Beijing: China Agricultural University (in Chinese) [涂洪涛. 2014. 不同芹菜品种对黄瓜上烟粉虱的防控及其机理探究. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学]
- Wu F, Zhang XM, Zhao L, Cui XH, Li HL, Luo C. 2015. Binding characterization of chemosensory protein CSP1 in the *Bemisia tabaci* biotype Q with plant volatiles. *Scientia Agricultura Sinica*, 48(10): 1955–1961 (in Chinese) [吴帆, 张晓曼, 赵磊, 崔旭红, 李红亮, 罗晨. 2015. Q型烟粉虱化学感受蛋白 CSP1 与植物挥发物的结合特征. *中国农业科学*, 48(10): 1955–1961]
- Zhao YQ, Zhao JR, Mao LJ, Shi ZH. 2012. Effects of the volatiles from different tomato varieties on host selection behavior of B-biotype *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23(9): 2509–2514 (in Chinese) [赵艳群, 赵金瑞, 毛黎娟, 施祖华. 2012. 不同番茄品种挥发物对B型烟粉虱寄主选择行为的影响. *应用生态学报*, 23(9): 2509–2514]
- Zhong ST, Li YF, Qin YC, Gao ZL, Pan WL, Li JC. 2009. A study on the repellent effect of capsicum and celery on *Bemisia tabaci*. *Chinese Journal of Biological Control*, (S1): 18–23 (in Chinese) [钟苏婷, 李耀发, 秦玉川, 高占林, 潘文亮, 李建成. 2009. B型烟粉虱对辣椒、芹菜、黄瓜寄主选择作用的研究. *中国生物防治*, (S1): 18–23]
- Zhou FC, Huang Z, Wang Y, Li CM, Zhu SD. 2008. Host plant selection of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Acta Ecologica Sinica*, 28(8): 3825–3831 (in Chinese) [周福才, 黄振, 王勇, 李传明, 祝树德. 2008. 烟粉虱(*Bemisia tabaci*)的寄主选择性. *生态学报*, 28(8): 3825–3831]

(责任编辑: 高峰)