

黄龙病侵染增强沙糖橘对柑橘木虱吸引 作用机制的初步研究*

黄克志^{1**} 杨玉枝^{1,2**} 闫梦梦¹

George Andrew Charles BEATTIE³ 徐长宝¹ 岑伊静^{1***}

(1. 华南农业大学柑橘黄龙病研究室, 绿色农药全国重点实验室, 广州 510642;

2. 广东岭南职业技术学院, 广州 510663; 3. School of Science and Health,

Western Sydney University, Penrith NSW 2751)

摘要 【目的】黄龙病是柑橘最严重的传染性病害, 柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 是黄龙病的媒介昆虫。与健康橘树相比, 感染黄龙病的橘树对木虱的吸引作用显著增强, 本研究目的是探明病树挥发物的改变是否与此现象有关。【方法】在前期分析健康和染病沙糖橘 *Citrus reticulata* Blanco.cv. Shatangju 嫩梢挥发物成分变化的基础上, 分别在室内外测定部分差异较大的化合物单体标样及其混合物对柑橘木虱的吸引效果。【结果】雌虫对 α -蒎烯 (1 $\mu\text{L/mL}$)、 γ -蒎品烯 (0.01 $\mu\text{L/mL}$) 和芳樟醇 (0.1 $\mu\text{L/mL}$) 具有显著的正趋性, 但对柠檬烯各浓度均未表现出明显的趋性; 雄虫对 4 种单体标样所有浓度均未表现出显著的趋性。将各种化合物按其有效浓度混合后, 雌虫对 6 种混合物均有显著的正趋性, 其中, 对 γ -蒎品烯 (0.2 $\mu\text{L/mL}$) + α -蒎烯 (0.8 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (0.3 $\mu\text{L/mL}$) 具有极显著正趋向选择; 雄虫对 4 种混合物有显著的正趋性。将化合物单体及其混合物作为诱剂, 在九里香 *Murraya paniculata* L. 上测定其诱集效果。结果表明, 单一物质均无显著效果, 但 15 种混合物中有 5 种诱到的木虱数量显著多于对照。将其中 3 种混合物 γ -蒎品烯 (20 $\mu\text{L/mL}$) + α -蒎烯 (80 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (30 $\mu\text{L/mL}$)、 γ -蒎品烯 (2 $\mu\text{L/mL}$) + α -蒎烯 (8 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (3 $\mu\text{L/mL}$) 和 γ -蒎品烯 (20 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (30 $\mu\text{L/mL}$) 在橘园进行测试, 结果表明, 3 种诱剂诱到的木虱数量均显著增加。【结论】 α -蒎烯、 γ -蒎品烯含量增加可能是沙糖橘病树对木虱吸引作用增强的部分原因, 这些物质有望用于制备柑橘木虱的引诱剂, 但其最佳配比还有待进一步研究。

关键词 柑橘木虱; 黄龙病; 沙糖橘; 寄主挥发物; 引诱剂

Preliminary research on the mechanism underlying the increased attraction of *Diaphorina citri* for *Citrus reticulata* Blanco. cv. Shatangju infected with huanglongbing

HUANG Ke-Zhi^{1**} YANG Yu-Zhi^{1,2**} YAN Meng-Meng¹

George Andrew Charles BEATTIE³ XU Chang-Bao¹ CEN Yi-Jing^{1***}

(1. Citrus Huanglongbing Research Laboratory, State Key Laboratory of Green Pesticide, South China Agricultural University,

Guangzhou 510642, China; 2. Guangdong Lingnan Institute of Technology, Guangzhou 510663, China;

3. School of Science and Health, Western Sydney University, Penrith NSW 2751, Australia)

Abstract [Aim] To determine whether infection of the ‘Shatangju’ variety of *Citrus reticulata* (*Citrus × aurantium* L.) with the Asian form of huanglongbing (HLB), a serious disease of citrus associated with the phloem-limited bacterium ‘*Candidatus*

*资助项目 Supported projects: 2023 年乡村振兴战略专项资金省级项目 (农业检疫性有害生物防控与农药试验研究); 国家现代柑橘产业技术体系 (CARS-26)

**共同第一作者 Co-first authors, E-mail: 448769151@qq.com; 245080270@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: cenyj@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2022-09-29; 接受日期 Accepted: 2023-08-04

Liberibacter asiaticus (CLas), increases the attractiveness of infected plants to the Asian citrus psyllid (ACP), *Diaphorina citri* Kuwayama. **[Methods]** Responses of male and female ACP to volatiles (linalool, limonene, α -pinene, and γ -terpinene) emitted by infected, and pathogen-free, seedlings, indicate that those from infected seedlings were not significantly more attractive to females. In a previous study, volatile compounds from young shoots of pathogen-free and 'CLas'-infected 'Shatangju' mandarins were analyzed. In this study, the attractiveness of several chemical components that were elevated in infected plants, and their mixtures, were tested in both the laboratory and the field. **[Results]** Males were not attracted to any of the chemicals tested but females were significantly attracted to α -pinene (1 $\mu\text{L/mL}$), γ -terpinene (0.01 $\mu\text{L/mL}$) and linalool (0.1 $\mu\text{L/mL}$), but not to limonene at the concentrations tested. Females were also significantly attracted by 6 mixtures of the above chemicals. Of these mixtures, γ -terpinene (0.2 $\mu\text{L/mL}$) + α -pinene (0.8 $\mu\text{L/mL}$) + linalool (0.3 $\mu\text{L/mL}$) was the most attractive. Males were not attracted to any of the individual chemicals tested, but were significantly attracted by 4 mixtures. Compound monomers and their mixtures were placed in bottle traps in *Murraya paniculata* (L) Jack trees and the number of insects caught by each lure was compared. The results indicate that 5 of the 15 mixtures were significantly more attractive to *D. citri* adults than the others, whereas none of the single compounds was significantly more attractive. Three mixtures; γ -Terpinene (20 $\mu\text{L/mL}$) + α -Pinene (80 $\mu\text{L/mL}$) + Linalool (30 $\mu\text{L/mL}$), γ -Terpinene (2 $\mu\text{L/mL}$) + α -Pinene (8 $\mu\text{L/mL}$) + Linalool (3 $\mu\text{L/mL}$), and γ -Terpinene (20 $\mu\text{L/mL}$) + Linalool (30 $\mu\text{L/mL}$), were then tested in a citrus orchard. After 10 days, the average numbers of adults captured in traps using these mixtures was significantly higher than the number captured in control traps. **[Conclusion]** These findings suggest that the attractiveness of CLas-infected mandarin trees to *D. citri* is, in part, enhanced by the higher than normal levels of α -pinene and γ -terpinene emitted by infected plants. It may, therefore, be feasible to use these chemicals to trap the *D. citri* in orchards.

Key words *Diaphorina citri* Kuwayama; huanglongbing; Shatangju mandarin; host plant volatiles; attractants

黄龙病(huanglongbing)是目前柑橘最严重的传染性病害,柑橘植株一旦感染,树势逐渐衰退,产量逐年下降,严重时全树死亡,因此,黄龙病对全球柑橘产业造成了严重威胁。柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 是黄龙病的媒介昆虫,其发生流行与黄龙病爆发密切相关。在长期的进化过程中,植物的病原菌通过媒介昆虫传播,病原菌-媒介昆虫-寄主植物三者间的相互作用是一个复杂的生物过程(Nadarasah and Stavrinides, 2011; 王辉, 2011; 吕亮等, 2020; 张旭颖和岑伊静, 2020)。病原菌可以改变寄主植物的气味,并诱导寄主释放利己激素,从而调控媒介昆虫行为,感病植物产生的挥发性化合物改变了植物、昆虫和病原菌间相互作用模式(Mayer *et al.*, 2008a, 2008b)。据报道,在感染黄龙病的柑橘植株和健康植株之间,柑橘木虱会优先选择染病植株,但是取食过染病植株后又转而趋向于未染病的植株,从而促进病原菌传播(Mann *et al.*, 2012; Hall *et al.*, 2013; 吴丰年等, 2013, 2015)。寄主植物感染黄龙病也会使柑橘木虱的生物学习性发生明显改变(Wu *et al.*,

2018)。利用植物、矿物源农药的诱杀或拒避作用来防治害虫,不仅可以减少化学农药的大量使用和对生态环境的破坏,还可以显著降低害虫的抗药性,是害虫生态控制策略中很有应用前景的技术方法(Gottwald *et al.*, 2010; 欧阳革成等, 2010; Zaka *et al.*, 2010; Mann *et al.*, 2011; 张小凤等, 2018)。以研究植物次生物质生态功能为内容的植物化学生态学正在蓬勃发展,不仅对揭示植物与其他有机体之间的化学作用关系、阐明生物共进化原理具有重要的理论价值,而且为符合持续发展策略的植物保护提供了新的机会(Hilker, 2014; 向玉勇等, 2015; Schuman *et al.*, 2016; Giron *et al.*, 2018; Kang, 2019; 盛子耀等, 2019)。

本研究前期分析了沙糖橘 *Citrus reticulata* Blanco.cv. Shatangju 受黄龙病感染前后挥发物组分的变化,明确了感染后新出现或含量变化较大的物质种类(杨玉枝等, 2015)。在此基础上,测定了部分挥发物单体标样对柑橘木虱的吸引作用,筛选出有效的化合物和浓度,将其进一步配制成不同浓度、组分的组合配方,作为诱剂测

定其对柑橘木虱的诱集效果,初步解释感染黄龙病菌导致沙糖橘更吸引柑橘木虱的机制,并为配制柑橘木虱的高效引诱剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

柑橘木虱成虫采集于华南农业大学校园的九里香 *Murraya paniculata* L., 并在网室内用九

里香饲养扩繁;液体石蜡购自江苏强盛功能化学股份有限公司;粘胶瓶(白色、黄色)购自广州瑞丰生物科技有限公司;挥发物标样的分子式、种类、纯度和来源见表 1。

Y 型嗅觉仪两臂长 15 cm, 直臂长 15 cm, 内径 2 cm, 接虫口径 2.5 cm, 两侧臂夹角 75°。装置组成依次为空气吹气泵→活性炭柱空气过滤装置→空气湿润装置→流量计→味源瓶(或对照瓶)→Y 型嗅觉仪, 各装置间用聚四氟乙烯管连接。

表 1 挥发物标样的分子式、种类、纯度和来源
Table 1 Molecular formula, type, purity and source of volatile standard

化合物 Compound	分子式 Molecular formula	CAS 号 CAS no.	纯度 (%) Purity (%)	来源 Source
γ-萜品烯 γ-Terpinene	C ₁₀ H ₁₆	99-85-4	> 95	TCI
α-蒎烯 α-Pinene	C ₁₀ H ₁₆	80-56-8	97	ACROS
柠檬烯 Limonene	C ₁₀ H ₁₆	138-86-3	> 95	TCI
芳樟醇 Linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	78-70-6	> 96	TCI
水杨酸甲酯 Methyl salicylate	C ₈ H ₈ O ₃	119-36-8	99.5	Dr. Ehrenstorfer GmbH

1.2 试验方法

1.2.1 柑橘木虱成虫对沙糖橘嫩梢挥发物标样的趋性反应测定

(1) 挥发物标样制备

不同浓度梯度挥发物标样的制备: 将每种标样 100 μL 溶于 900 μL 液体石蜡中, 在漩涡混合器上充分混合, 用液体石蜡分别按体积比配成 100-0.001 μL/mL 浓度系列, 浓度以 10 倍递减。

不同标样配制: 根据 4 种标样在沙糖橘嫩梢中的含量以及不同浓度梯度下单个标样对柑橘木虱的生测结果, 将具有较好吸引效果的标样单体 α-蒎烯、芳樟醇、γ-萜品烯、水杨酸甲酯按比例混合(表 2)。

配好的药品均装于 2 mL 密闭棕色玻璃瓶中, 保存于 4 °C 冰箱备用。

(2) 趋性反应测定

将不同浓度的各挥发性物质的标样分别与对照(液体石蜡)组合进行柑橘木虱对挥发物趋性的行为测定。试验期间温度(26±1)°C、相对湿度 60%-80%, Y 型嗅觉仪两侧臂气流 200-

250 mL/min, 上方放一盏 15 W 荧光灯, 保持室内空气流通, 排除光线带来的影响, 保证两侧臂的条件一致, 生测时间为 9:00-16:00。用毛笔将柑橘木虱成虫转入 Y 型管直臂的进虫口处, 从试虫进入管口开始计时, 当试虫进入侧臂 1/3 处, 记录为试虫对该臂气味源做出选择; 如果试虫进入直臂 4 min 后仍无选择, 则视为无反应并结束观察。每次测试 1 头虫, 每头虫只用 1 次, 雌雄各测 30 头。测定时每次用移液枪取出配制好的 30 μL 挥发物滴在定量滤纸(5 cm×3 cm)上, 置于味源瓶中, 对照瓶滤纸滴 30 μL 液体石蜡, 每张滤纸测试 15 min, 15 min 后更换。每测定 5 头后调换两侧臂的位置, 并调换对称的两臂与味源瓶和对照瓶的联接位置, 以消除几何位置对试虫行为产生影响。每测 10 头虫后, 用 100%乙醇清洗 Y 型管并吹干待用, 更换另一支干净的 Y 型管继续测试。

1.2.2 沙糖橘挥发物活性单体及其混合物对柑橘木虱的吸引作用测定 将 α-蒎烯、芳樟醇、γ-萜品烯、水杨酸甲酯单体及其混合物作为诱剂分别置入白色粘胶瓶和黄色粘胶瓶内(柑橘木虱对

黄色具有正趋性,对白色无明显趋向性),将诱瓶悬挂在华南农业大学校园的九里香植株上,九里香株高约 80 cm,冠幅约 60 cm,株间距约 1 m。共设 24 种诱剂,其中 9 个为挥发物单体、15 个为各单体的混合物。诱剂制备方法如下:

(1)挥发物单体:将一定量的单体标样分别溶于液体石蜡中,在漩涡混合器上充分混匀后,用液体石蜡分别按体积比配成待测浓度系列。

(2)挥发物单体混合物:根据 1.2.1 的测试结果,将在 Y 型嗅觉仪中对柑橘木虱具有

较好吸引效果的标样浓度按相同浓度混合到一起。

被测标样单体浓度及其混合浓度见表 2。每个诱剂分别取 1 mL 加入白色粘胶瓶和黄色粘胶瓶中,用棉花团做诱剂载体,以液体石蜡为对照,每处理设 5 个重复,每个诱瓶为 1 个重复,采用完全随机设计方法,将诱瓶随机挂在九里香顶端枝条,每株挂同一处理的白色粘胶瓶和黄色粘胶瓶各 1 个,相距约 20 cm,10 d 后调查诱集到的柑橘木虱成虫数量。

表 2 γ -萜品烯、 α -蒎烯、芳樟醇和水杨酸甲酯不同浓度配比
Table 2 Different concentration ratios of γ -Terpinene, α -Pinene, linalool and methyl salicylate

混合物编号 Mixture no.	γ -萜品烯 ($\mu\text{L/mL}$) γ -Terpinene ($\mu\text{L/mL}$)	α -蒎烯 ($\mu\text{L/mL}$) α -Pinene ($\mu\text{L/mL}$)	芳樟醇 ($\mu\text{L/mL}$) Linalool ($\mu\text{L/mL}$)	水杨酸甲酯 ($\mu\text{L/mL}$) Methyl salicylate ($\mu\text{L/mL}$)	液体石蜡 ($\mu\text{L/mL}$) Liquid paraffin ($\mu\text{L/mL}$)
1-1	20	80	30	20	850
1-2	2	8	3	2	935
1-3	0.2	0.8	0.3	0.2	998.5
2-1	20	80	30	—	870
2-2	2	8	3	—	987
2-3	0.2	0.8	0.3	—	998.7
3-1	2	8	—	—	990
3-2	0.2	0.8	—	—	999
3-3	0.02	0.08	—	—	999.90
4-1	—	80	30	—	890
4-2	—	8	3	—	989
4-3	—	0.8	0.3	—	998.9
5-1	20	—	30	—	950
5-2	2	—	3	—	995
5-3	0.2	—	0.3	—	999.5

1.2.3 挥发物混合物在柑橘园对柑橘木虱的吸引作用研究 试验在广东省博罗县杨侨镇一个失管沙糖橘 *Citrus reticulata* Blanco.cv. Shatangju 园进行,该园树龄为 5 年,树高约 3 m。选择在校园九里香上吸引效果较好的 3 个配方: γ -萜品烯 (20 $\mu\text{L/mL}$) + α -蒎烯 (80 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (30 $\mu\text{L/mL}$)、 γ -萜品烯 (2 $\mu\text{L/mL}$) + α -蒎烯 (8 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (3 $\mu\text{L/mL}$) 和 γ -萜品烯 (20 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (30 $\mu\text{L/mL}$),每个配方分别加入 1 mL 诱剂于白色粘胶瓶和黄色粘胶

瓶中,以液体石蜡为空白对照,采用完全随机设计方法,每处理 10 次重复,每重复 1 个诱瓶,每株橘树悬挂 1 个诱瓶,诱瓶底部距地面约 1.5 m,10 d 后调查每个诱瓶诱集到的木虱成虫数量。

1.3 数据处理

Y 型嗅觉仪测定柑橘木虱成虫对挥发物的趋性反应测定均用卡平方适合性检验。趋性反应计算反应率和选择率,计算公式如下:

反应率 (%) = (味源瓶中虫体数+对照瓶中

虫体数)/测试总虫数×100,

选择率(%)=味源瓶中虫体数/(味源瓶中虫体数+对照瓶中虫体数)×100。

寄主挥发物活性成分对柑橘木虱的田间诱集效果数据用多因素方差 Duncan's 多重比较分析方法。所有数据均采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 柑橘木虱成虫对沙糖橘嫩叶挥发物标样的趋性反应

由表 3 可以看出,柑橘木虱成虫对不同浓度 γ -萜品烯的趋性反应率达 85.71%以上。雌虫对 0.01 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯的正趋性较明显,与对照相比差异达显著水平($\chi^2=4.8$, $P=0.028<0.05$),但对其他 5 个浓度未表现出显著趋性。该化合物的 6 个测试浓度对雄性成虫均无明显作用。

由表 4 可看出,柑橘木虱成虫对不同浓度 α -蒎烯的趋性反应率达 78.95%-100.00%。雌虫对 1 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯的正趋性比较明显,与对照相比差异达显著水平($\chi^2=4.8$, $P=0.028<0.05$),对其他 5 个浓度没有表现出显著的趋性。雄成虫对所测试的 6 个浓度均无明显的趋性。

由表 5 可以看出,木虱成虫对不同浓度芳樟醇的趋性反应率达 81.08%-100.00%。雌虫对 0.1 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇的正趋性比较明显,与对照相比差异达显著水平($\chi^2=6.533$, $P=0.011<0.05$),对其他浓度未表现出显著趋性。所有浓度对雄成虫无明显吸引作用。

表 6 结果表明,木虱雌雄成虫对不同浓度柠檬烯的趋性反应与对照相比均无显著差异,说明柠檬烯不同测试浓度对雌雄成虫均无明显的吸引作用。

表 7 结果表明,木虱雌虫对 0.02 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯+ 0.08 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯+ 0.03 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇+ 0.02 $\mu\text{L/mL}$ 水杨酸甲酯($\chi^2=4.8$, $P=0.028<0.05$)和 0.2 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯+ 0.8 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯+ 0.3 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇+ 0.2 $\mu\text{L/mL}$ 水杨酸甲酯($\chi^2=6.533$, $P=0.011<0.05$)均具有显著的正趋性,对另外 2 种混合物则无显著趋性;雄虫对 0.2 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯+ 0.8 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯+ 0.3 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇+ 水杨酸甲酯($\chi^2=6.533$, $P=0.011<0.05$)和 2 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯+8 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯+ 3 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇+ 2 $\mu\text{L/mL}$ 水杨酸甲酯($\chi^2=4.8$, $P=0.028<0.05$)均具有显著的正趋性,对另外 2 种混合物没有显著趋性。说明雌雄成虫对混合物的趋性反应存在差异。

表 3 柑橘木虱成虫对不同浓度 γ -萜品烯的趋性反应

Table 3 Taxis response of *Diaphorina citri* adults to different concentrations of γ -Terpinene

浓度 ($\mu\text{L/mL}$) Concentrations ($\mu\text{L/mL}$)	雌虫 Female					雄虫 Male				
	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P
0.001	32	93.75	56.67	0.533	0.465	36	83.33	50.00	0.000	1.000
0.01	33	90.91	70.00	4.800	0.028*	42	71.43	63.33	2.133	0.144
0.1	30	100.00	63.33	2.133	0.144	38	78.95	43.33	0.533	0.465
1	35	85.71	50.00	0.000	1.000	32	93.75	63.33	2.133	0.144
10	31	96.77	46.67	0.133	0.715	31	96.77	53.33	0.133	0.715
100	34	88.24	56.67	0.533	0.465	37	81.08	60.00	1.200	0.273

P 列中数字后带*和**分别表示经 χ^2 检验,处理与对照在 0.05 水平和 0.01 水平上差异显著。下表同。

The numbers in column P followed by * and ** indicate that there is significant difference between the treatment and the control at the level of 0.05 and 0.01 by χ^2 test, respectively. The same below.

表 4 柑橘木虱成虫对不同浓度 α -蒎烯的趋性反应Table 4 Taxis response of *Diaphorina citri* adults to different concentrations of α -Pinene

浓度 ($\mu\text{L/mL}$) Concentrations ($\mu\text{L/mL}$)	雌虫 Female					雄虫 Male				
	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P
0.001	33	90.91	60.00	1.200	0.273	35	85.71	63.33	2.133	0.144
0.01	37	81.08	53.33	0.133	0.715	30	100.00	56.67	0.533	0.465
0.1	30	100.00	43.33	0.533	0.465	36	83.33	33.33	3.333	0.068
1	31	96.77	70.00	4.800	0.028*	34	88.24	36.67	2.133	0.144
10	34	88.24	50.00	0.000	1.000	33	90.91	50.00	0.000	1.000
100	38	78.95	53.33	0.133	0.715	32	93.75	53.33	0.133	0.715

表 5 柑橘木虱成虫对不同浓度芳樟醇的趋性反应

Table 5 Taxis response of *Diaphorina citri* adults to different concentrations of linalool

浓度 ($\mu\text{L/mL}$) Concentrations ($\mu\text{L/mL}$)	雌虫 Female					雄虫 Male				
	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P
0.001	34	88.24	53.33	0.133	0.715	32	93.75	53.33	0.133	0.715
0.01	37	81.08	60.00	1.200	0.273	38	78.95	50.00	0.000	1.000
0.1	31	96.77	73.33	6.533	0.011*	35	85.71	53.33	0.133	0.715
1	35	85.71	56.67	0.533	0.465	32	93.75	46.67	0.133	0.715
10	33	90.91	50.00	0.000	1.000	31	96.77	46.67	0.133	0.715
100	30	100.00	46.67	0.133	0.715	39	76.92	46.67	0.000	1.000

表 6 柑橘木虱成虫对不同浓度柠檬烯的趋性反应

Table 6 Taxis response of *Diaphorina citri* adults to different concentrations of limonene

浓度 ($\mu\text{L/mL}$) Concentrations ($\mu\text{L/mL}$)	雌虫 Female					雄虫 Male				
	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P	测试虫数 (头) Number of test insects (ind.)	反应率 (%) Reaction rate (%)	选择率 (%) Selection rate (%)	χ^2	P
0.001	35	85.71	53.33	0.133	0.715	33	90.91	50.00	0.000	1.000
0.01	33	90.91	63.33	1.200	0.273	37	81.08	43.33	0.533	0.465
0.1	37	81.08	46.67	0.133	0.715	32	93.75	46.67	0.133	0.715
1	30	100.00	46.67	0.133	0.715	31	96.77	53.33	0.133	0.715
10	30	100.00	60.00	1.200	0.273	43	69.77	63.33	2.133	0.144
100	35	85.71	60.00	1.200	0.273	35	85.71	53.33	0.133	0.715

表 7 柑橘木虱成虫对 γ -萜品烯、 α -蒎烯、芳樟醇和水杨酸甲酯混合物的趋性反应Table 7 Taxis response of *Diaphorina citri* adults to γ -terpinene, α -pinene, linalool and methyl salicylate mixture

性别 Sex	挥发物种类及浓度 ($\mu\text{L/mL}$)				测试虫数		反应率 (%) 选择率 (%)		χ^2	P
	Volatile species and concentration ($\mu\text{L/mL}$)				(头)		Reaction rate (%)	Selection rate (%)		
	γ -萜品烯 γ -Terpinene	α -蒎烯 α -Pinene	芳樟醇 Linalool	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	Number of test insects (ind.)					
雌虫 Female	0.02	0.08	0.03	0.02	37		81.08	70.00	4.800	0.028*
	0.2	0.8	0.3	0.2	35		85.71	73.33	6.533	0.011*
	2	8	3	2	41		73.17	36.67	2.133	0.144
	20	80	30	20	36		83.33	53.33	0.133	0.715
雄虫 Male	0.02	0.08	0.03	0.02	36		83.33	60.00	1.200	0.273
	0.2	0.8	0.3	0.2	37		81.08	73.33	6.533	0.011*
	2	8	3	2	38		78.95	70.00	4.800	0.028*
	20	80	30	20	32		93.75	46.67	0.133	0.715

2.2 沙糖橘挥发物活性成分及其混合物对柑橘木虱的诱集效果

2.2.1 对九里香上柑橘木虱的诱集效果

(1) 白色粘胶瓶的诱集效果

由图 1 可知, 挂瓶 10 d 后, 在白色粘胶瓶上, γ -萜品烯、 α -蒎烯和芳樟醇 3 种挥发物单体各浓度在九里香上诱集到的木虱成虫数量无显著差异 ($P>0.05$), 说明均无显著的诱集效果。但 15 个混合物中有 5 个诱集到的木虱数量显著高于对照 ($P<0.05$)。其中 2-1 配方 (20 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯 + 80 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯 + 30 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇) 诱集到的数量最多, 为 14 头/瓶; 其次为 1-1 (20 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯 + 80 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯 + 30 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇 + 20 $\mu\text{L/mL}$ 水杨酸甲酯)、1-2 (2 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯 + 8 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯 + 3 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇 + 2 $\mu\text{L/mL}$ 水杨酸甲酯)、2-2 (2 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯 + 8 $\mu\text{L/mL}$ α -蒎烯 + 3 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇), 诱集到的数量为 10.2-11.6 头/瓶; 5-1 配方 (20 $\mu\text{L/mL}$ γ -萜品烯 + 30 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇) 诱集到的数量为 7.4 头/瓶。其余诱剂诱集到的木虱数量均在 4.8 头/瓶以下, 与对照 (0.4 头/瓶) 差异不显著 ($P>0.05$)。

(2) 黄色粘胶瓶的诱集效果

在黄色粘胶瓶上的试验结果与白色粘胶瓶一致。3 种挥发物单体各浓度对木虱也无显著的

诱集效果, 15 个混合物中有 5 个诱集到的木虱成虫数量显著高于对照 ($P<0.05$)。其中 2-1 配方诱集到的数量最多, 为 29.6 头/瓶, 与对照相比达差异极显著水平; 1-1、1-2、2-2 配方诱集到的数量接近, 为 22.2-24 头/瓶; 5-1 配方诱集到的数量为 15.2 头/瓶, 其余诱剂诱集到的数量均在 9.6 头/瓶以下, 与对照 (0.6 头/瓶) 差异不显著 ($P>0.05$) (图 1)。

同种诱剂相比, 黄色粘胶瓶诱到的木虱数量均多于白色粘胶瓶。

2.2.2 对橘园柑橘木虱的诱集效果 由图 2 可知, 在柑橘园, 2-1、2-2、5-1 这 3 种诱剂配方在白色粘胶瓶和黄色粘胶瓶上诱集到的木虱数量均显著高于对照 ($P<0.05$)。白色粘胶瓶诱集到的数量为 2.25-3.38 头/瓶, 黄色粘胶瓶为 2.75-3.88 头/瓶。同种诱剂的黄白粘胶瓶相比, 2-1、2-2 配方黄色粘胶瓶略高于白色粘胶瓶, 而 5-1 则黄色粘胶瓶略低于白色粘胶瓶, 但差异均不显著 ($P>0.05$)。

3 讨论

本研究结果表明, 沙糖橘感染黄龙病后含量显著增加的 α -蒎烯、 γ -萜品烯特定浓度对柑橘木虱雌虫具有显著的吸引作用, 说明这些物质与染病橘树对木虱的吸引作用增强有关。但雄虫对这

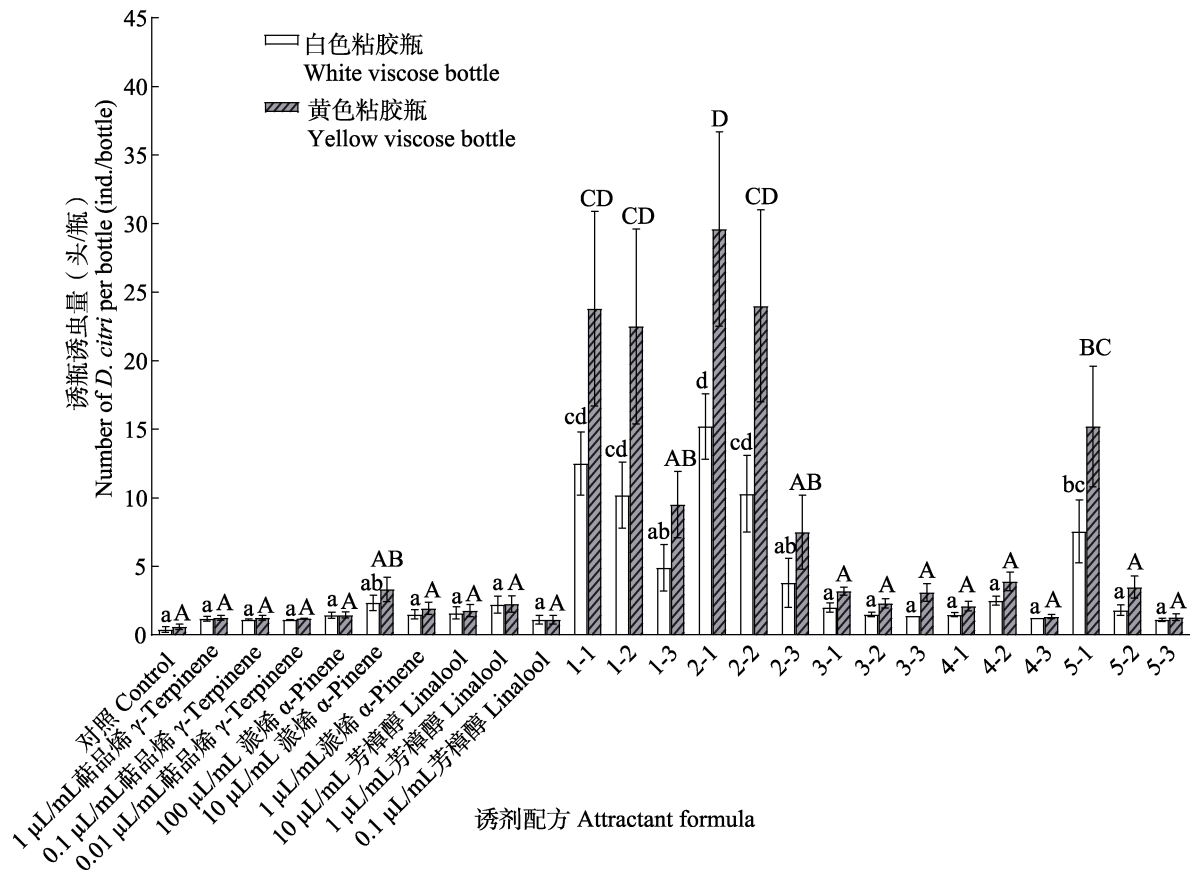


图 1 沙糖橘挥发物单体及其混合物对九里香柑橘木虱成虫的诱集效果
Fig. 1 Trapping effect of Shatangju mandarin volatile monomers and their mixtures on *Diaphorina citri* adults

柱上不同小写字母表示白色粘胶瓶上的木虱成虫数量差异显著, 不同大写字母表示黄色粘胶瓶上的木虱成虫数量差异显著 ($P < 0.05$, Duncan's 检验)。其中 1-1 (20 μL/mL γ-萜品烯 + 80 μL/mL α-蒎烯 + 30 μL/mL 芳樟醇 + 20 μL/mL 水杨酸甲酯)、1-2 (2 μL/mL γ-萜品烯 + 8 μL/mL α-蒎烯 + 3 μL/mL 芳樟醇 + 2 μL/mL 水杨酸甲酯)、1-3 (0.2 μL/mL γ-萜品烯 + 0.8 μL/mL α-蒎烯 + 0.3 μL/mL 芳樟醇 + 0.2 μL/mL 水杨酸甲酯)、2-1 (20 μL/mL γ-萜品烯 + 80 μL/mL α-蒎烯 + 30 μL/mL 芳樟醇)、2-2 (2 μL/mL γ-萜品烯 + 8 μL/mL α-蒎烯 + 3 μL/mL 芳樟醇)、2-3 (0.2 μL/mL γ-萜品烯 + 0.8 μL/mL α-蒎烯 + 0.3 μL/mL 芳樟醇)、3-1 (2 μL/mL γ-萜品烯 + 8 μL/mL α-蒎烯)、3-2 (0.2 μL/mL γ-萜品烯 + 0.8 μL/mL α-蒎烯)、3-3 (0.02 μL/mL γ-萜品烯 + 0.08 μL/mL α-蒎烯)、4-1 (80 μL/mL α-蒎烯 + 30 μL/mL 芳樟醇)、4-2 (8 μL/mL α-蒎烯 + 3 μL/mL 芳樟醇)、4-3 (0.8 μL/mL α-蒎烯 + 0.3 μL/mL 芳樟醇)、5-1 (20 μL/mL γ-萜品烯 + 30 μL/mL 芳樟醇)、5-2 (2 μL/mL γ-萜品烯 + 3 μL/mL 芳樟醇)、5-3 (0.2 μL/mL γ-萜品烯 + 0.3 μL/mL 芳樟醇)。图 2 同。

The different lowercase letters above the bars indicate that the number of *D. citri* adults on the white viscose bottle is significant difference; while different capital letters indicate that the number of *D. citri* adults on the yellow viscose bottle is significant difference ($P < 0.05$, Duncan's test). 1-1 represents (20 μL/mL γ-Terpinene + 80 μL/mL α-Pinene + 30 μL/mL Linalool + 20 μL/mL Methyl salicylate), 1-2 (2 μL/mL γ-Terpinene + 8 μL/mL α-Pinene + 3 μL/mL Linalool + 2 μL/mL Methyl salicylate), 1-3 (0.2 μL/mL γ-Terpinene + 0.8 μL/mL α-Pinene + 0.3 μL/mL Linalool + 0.2 μL/mL Methyl salicylate), 2-1 (20 μL/mL γ-Terpinene + 80 μL/mL α-Pinene + 30 μL/mL Linalool), 2-2 (2 μL/mL γ-Terpinene + 8 μL/mL α-Pinene + 3 μL/mL Linalool), 2-3 (0.2 μL/mL γ-Terpinene + 0.8 μL/mL α-Pinene + 0.3 μL/mL Linalool), 3-1 (2 μL/mL γ-Terpinene + 8 μL/mL α-Pinene), 3-2 (0.2 μL/mL γ-Terpinene + 0.8 μL/mL α-Pinene), 3-3 (0.02 μL/mL γ-Terpinene + 0.08 μL/mL α-Pinene), 4-1 (80 μL/mL α-Pinene + 30 μL/mL Linalool), 4-2 (8 μL/mL α-Pinene + 3 μL/mL Linalool), 4-3 (0.8 μL/mL α-Pinene + 0.3 μL/mL Linalool), 5-1 (20 μL/mL γ-Terpinene + 30 μL/mL Linalool), 5-2 (2 μL/mL γ-Terpinene + 3 μL/mL Linalool), 5-3 (0.2 μL/mL γ-Terpinene + 0.3 μL/mL Linalool). The same for Fig. 2.

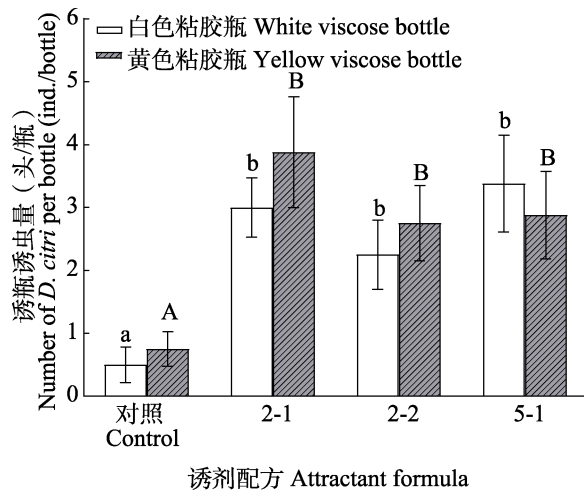


图2 沙糖橘挥发物单体标样混合物对橘园柑橘木虱的诱集效果

Fig. 2 Trapping effect Shatangju mandarin volatile chemical mixture on *Diaphorina citri* in a Shatangju orchard

些挥发性化合物单体标样所有浓度均未表现出显著的趋向,这可能是因为雌虫需要选择合适的寄主植物以利于后代的生存繁衍,往往对寄主植物的挥发性化合物有高度的识别能力与敏感性 (Aluja and Prokopy, 1992)。Lapis 和 Borden (1993) 和 Soroker 等 (2004) 分别报道,银合欢木虱 *Heteropsylla cubana* 和喀木虱属的 *Cacopsylla bidens* 的雌虫受到寄主植物气味吸引,而雄虫则没有受到吸引,均证明寄主植物的气味对木虱科雌虫具有更强的吸引力。雌雄虫对 α -蒎烯、 γ -萜品烯、芳樟醇和水杨酸甲酯 4 种标样混合物的特定浓度和特定比例的正趋向选择达到显著水平,说明具有活性的物质均须在特定的浓度下才能发挥作用。植物挥发性信息化合物的组成、比例、浓度、距离等均会对植食性昆虫的寄主定向产生很大影响,昆虫对不同植物的偏好性,是二者长期协同进化的结果,同一物质的不同浓度对植食性昆虫表现出不同的生理活性 (樊慧等, 2004)。

室内和室外试验相比,3 种在室内测定中表现出显著吸引效果的挥发物单体在室外对木虱成虫的诱集效果与对照均无显著差异,可能与化学物质的挥发性及环境条件有关。但这些物质的 15 种混配剂中有 5 种有显著的诱集效果,其中,

γ -萜品烯 (20 $\mu\text{L/mL}$) + α -蒎烯 (80 $\mu\text{L/mL}$) + 芳樟醇 (30 $\mu\text{L/mL}$) 诱集到的木虱数量最多,显著多于其他诱剂,说明植物挥发性物质中各成分的混合比例也是影响昆虫趋性的重要因子。据报道,寄主植物释放的多种挥发性化学物质以特定比例混合的协调作用吸引植食性昆虫 (樊慧等, 2004)。宋晓兵等 (2019) 也报道,九里香中的挥发性物质 β -石竹烯、*D*-柠檬烯和芳樟醇对柑橘木虱均有显著的引诱效果,其 3 : 3 : 1 混剂的引诱率达 88.89%,田间悬挂黄色诱虫瓶 15 d 后,诱集到的木虱数量显著高于对照。汤夏安等 (2021) 报道,柑橘木虱对 8 种植物挥发物成分均有一定的趋性,其中对浓度为 10 $\mu\text{L/mL}$ 的 (-)- β -石竹烯和 *D*-柠檬烯的选择率分别为 73.20% 和 71.88%,对浓度为 1 $\mu\text{L/mL}$ 芳樟醇的选择率为 79.19%。Piñero 和 Dorn (2007) 报道,桃树嫩梢上释放的 3 种绿叶挥发物和 2 种芳香族化合物混合后,比单一物质更吸引梨小食心虫 *Cydia* (*Grapholita*) *molesta* (Busck) 到桃树嫩梢上产卵。利用缨翅目蓟马科昆虫 (Thysanoptera: Thripidae) 借助植物气味寻找寄主的特性,将烟碱乙酸酯和苯甲醛混合在一起制成诱芯在田间使用,能够准确预测花蓟马 *Frankliniella intonsa* Trybom 的发生及为害时期,可以大量诱杀成虫,且茴香醛与上述 2 种化合物混合后涂在粘胶上用以防治大棚中的西花蓟马 *Frankliniella occidentalis* (Pergande) 也有良好的效果 (Teulon *et al.*, 1993)。本研究中,2 个室外试验均采用了白色和黄色粘胶诱瓶,黄色瓶诱到的木虱数量均多于白色诱瓶,进一步说明柑橘木虱成虫具有趋黄性。在田间,柑橘黄叶更易吸引柑橘木虱,黄叶中的次生代谢产物黄酮类化合物对柑橘木虱有一定的吸引力和刺激作用 (Zhong *et al.*, 2019)。

据报道,昆虫气味结合蛋白 (Odorant binding proteins, OBPs) 对柑橘木虱的嗅觉反应中起到重要的作用,往往导致木虱行为的变化和对气味的敏感度 (Wang *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2021)。沙糖橘感染黄龙病后挥发物的成分产生较大改变,本研究仅分析了其中差异较大的 3 种化合物

对柑橘木虱的吸引效果,明确了其与病树对木虱的吸引作用增强有关,但其作用机理以及其余物质的作用有待继续研究。将多种具有诱集效果的物质进行科学组合,有望找到更有效的引诱剂,作为柑橘木虱生态防治的新途径,从而更有效地防控黄龙病,减少化学农药的使用。

参考文献 (References)

- Aluja M, Prokopy RJ, 1992. Host search behaviour by *Rhagoletis pomonella* flies: Inter-tree movement patterns in response to wind-borne fruit volatiles under field conditions. *Physiological Entomology*, 17(1): 1–8.
- 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.]
- Giron D, Dubreuil G, Bennett A, Dedeine F, Dicke M, Dyer LA, Erb M, Harris MO, Huguet E, Kaloshian I, Kawakita A, Lopez-Vaamonde C, Palmer TM, Petanidou T, Poulsen M, Sallé A, Simon JC, Terblanche JS, Thiéry D, Whiteman NK, Woods HA, Pincebourde S, 2018. Promises and challenges in insect-plant interactions. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(5): 319–343.
- Gottwald TR, Hall DG, Beattie GAC, Ichinose K, Nguyen MC, Le QD, Bar Joseph M, Lapointe S, Stover E, Parker PE, McCollum G, Hilf ME, 2010. Investigations of the effect of guava as a possible tool in the control management of huanglongbing. *Insects*, 17(17): 98–109.
- Hall DG, Richardson ML, Ammar ED, Halbert SE, 2013. Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, vector of citrus huanglongbing disease. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 146(2): 207–223.
- Hilker M, 2014. New synthesis: Parallels between biodiversity and chemodiversity. *Journal of Chemical Ecology*, 40(3): 225–226.
- Kang L, 2019. Overview: Biotic signalling for smart pest management. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 374(1767): 20180306.
- Lapis EB, Borden JH, 1993. Olfactory discrimination by *Heteropsylla cubana* (Homoptera: Psyllidae) between susceptible and resistant species of *Leucaena* (Leguminosae). *Journal of Chemical Ecology*, 19(1): 83–90.
- Liu XQ, Jiang HB, Fan JY, Liu TY, Meng LW, Liu Y, Yu HZ, Dou W, Wang JJ, 2021. An odorant-binding protein of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri*, participates in the response of host plant volatiles. *Pest Management Science*, 77(7): 3068–3079.
- Lu L, Xiao C, Tong Z, Zhang S, Wang YP, Sun ZH, 2020. Advances on studies of tree kinds of insect vectors of *Citrus huanglongbing*. *South China Fruits*, 49(2): 161–169. [吕亮, 肖翠, 全铸, 张舒, 王友平, 孙中海, 2020. 柑橘黄龙病三种媒介昆虫的研究进展. 中国南方果树, 49(2): 161–169.]
- Mann RS, Ali JG, Hermann SL, Tiwari S, Pelz-Stelinski KS, Alborn HT, Stelinski LL, 2012. Induced release of a plant-defense volatile 'deceptively' attracts insect vectors to plants infected with a bacterial pathogen. *PLoS Pathogens*, 8(3): e10026103.
- Mann RS, Rouseff RL, Smoot JM, Castle WS, Stelinski LL, 2011. Sulfur volatiles from *Allium* spp. affect Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae), response to citrus volatiles. *Bulletin of Entomological Research*, 101(1): 89–97.
- Mayer CJ, Vilcinskis A, Gross J, 2008a. Phytopathogen lures its insect vector by altering host plant odor. *Journal of Chemical Ecology*, 34(8): 1045–1049.
- Mayer CJ, Vilcinskis A, Gross J, 2008b. Pathogen-induced release of plant allomone manipulates vector insect behavior. *Journal of Chemical Ecology*, 34(12): 1518–1522.
- Nadarasah G, Stavrinides J, 2011. Insects as alternative hosts for phytopathogenic bacteria. *Federation of European Microbiological Societies Microbiology Reviews*, 35(3): 555–575.
- Ouyang GC, Fang XD, Guo MF, 2010. Preliminary report on the combination of refusal trap and attraction based on mineral oil emulsion for the control of *Diaphorina citri*. *South China Fruits*, 39(5): 47–49. [欧阳革成, 方小端, 郭明防, 2010. 以矿物油乳剂为基础的拒避—诱杀组合防治柑桔木虱试验初报. 中国南方果树, 39(5): 47–49.]
- Piñero JC, Dorn S, 2007. Synergism between aromatic compounds and green leaf volatiles derived from the host plant underlies female attraction in the oriental fruit moth. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 125(2): 185–194.
- Schuman MC, van Dam NM, Beran F, Harpole WS, 2016. How does plant chemical diversity contribute to biodiversity at higher trophic levels? *Current Opinion in Insect Science*, 14(1): 46–55.
- Sheng ZY, Li WZ, Yuan GH, 2019. Advances in studies on the relationship between plant odor diversity and insects. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 652–661. [盛子耀, 李为争, 原国辉, 2019. 植物气味多样性与昆虫关系的研究进展. 应用昆虫学报, 56(4): 652–661.]
- Song XB, Peng AT, Cui YP, Ling JF, Cheng BP, Chen X, 2019. Trapping effects of *Murraya exotica* volatiles on Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* and mixed screening test. *Journal of Plant Protection*, 46(3): 589–594. [宋晓兵, 彭埃天, 崔一平,

- 凌金锋, 程保平, 陈霞, 2019. 九里香挥发物对柑橘木虱的引诱效果及混配筛选试验. 植物保护学报, 46(3): 589–594.]
- Soroker V, Talebaev S, Harari AR, Wesley SD, 2004. The role of chemical cues in host and mate location in the pear psylla *Cacopsylla bidens* (Homoptera: Psyllidae). *Journal of Insect Behavior*, 17(5): 613–626.
- Tang XA, Li XL, Chi ZC, Wei SW, Deng YC, Deng ZY, Luo HY, Deng MX, 2021. Tendency response of *Diaphorina citri* Kuwayama to shoots and volatile components of twelve host plants. *Journal of Environmental Entomology*, 43(2): 485–491. [汤夏安, 李贤良, 池章辰, 韦舒蔚, 邓业成, 邓志勇, 骆海玉, 邓明学, 2021. 柑橘木虱对 12 种寄主植物嫩梢及其挥发物成分的趋性反应. 环境昆虫学报, 43(2): 485–491.]
- Teulon DAJ, Penman DR, Ramakers PMJ, 1993. Volatile chemicals for Thrips (Thysanoptera: Thripidae) host-finding and applications for thrips pest management. *Journal of Economic Entomology*, 86(5): 1405–1415.
- Wang H, 2011. Study on *Diaphorina citri*--a vector transmitted huanglongbing and construction of suppression subtractive library of *Murraya paniculata* induced by HLB. Doctor dissertation. Wuhan: Huazhong Agricultural University. [王辉, 2011. 柑橘黄龙病昆虫媒介—柑橘木虱的研究及九里香感染黄龙病菌后的差减文库构建. 博士学位论文. 武汉: 华中农业大学.]
- Wang ZB, Gao CH, Liu JL, Zhou WW, Zeng XN, 2020. Host plant odours and their recognition by the odourant-binding proteins of *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). *Pest Management Science*, 76(7): 2453–2464.
- Wu FN, Cen YJ, Liang GW, 2015. Effects of different host plants, host plant maturity and intact host plants versus detached host plant stems on the survival of *Diaphorina citri* Kuwayama. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 52(3): 679–685. [吴丰年, 岑伊静, 梁广文, 2015. 不同离体寄主及其成熟度对亚洲柑橘木虱存活的影响. 应用昆虫学报, 52(3): 679–685.]
- Wu FN, Liang GW, Chen JC, Huang JB, Cen YJ, 2013. The movement and spread of nymphs of *Diaphorina citri* Kuwayama on host plants. *Journal of Environmental Entomology*, 35(5): 578–584. [吴丰年, 梁广文, CHEN Jian-Chi, 黄建邦, 岑伊静, 2013. 亚洲柑桔木虱若虫在寄主上的转移和扩散研究. 环境昆虫学报, 35(5): 578–584.]
- Wu FN, Qureshi JA, Huang JQ, Fox EGP, Deng XL, Wan FH, Liang GW, Cen YJ, 2018. Host plant-mediated interactions between ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ and its vector *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae). *Journal of Economic Entomology*, 111(5): 2038–2045.
- Xiang YY, Liu TX, Zhang SZ, 2015. Effect and application of plant volatiles on host selecting behavior of phytophagous insects. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 43(28): 92–94, 183. [向玉勇, 刘同先, 张世泽, 2015. 植物挥发物在植食性昆虫寄主选择行为中的作用及应用. 安徽农业科学, 43(28): 92–94, 183.]
- Yang YZ, Xu D, Cen YJ, 2015. Analysis of volatile compounds from young shoots of non-infected and huanglongbing-infected citrus. *Journal of Environmental Entomology*, 37(2): 328–333. [杨玉枝, 徐迪, 岑伊静, 2015. 健康和感染黄龙病沙糖桔嫩梢挥发性成分的分析. 环境昆虫学报, 37(2): 328–333.]
- Zaka SM, Zeng XN, Holford P, Beattie GAC, 2010. Repellent effect of guava leaf volatiles on settlement of adults of citrus psylla, *Diaphorina citri* Kuwayama, on citrus. *Insect Science*, 17(1): 39–45.
- Zhang XF, Guo YJ, Jiang H, Guo LY, Zhou XQ, Hu YP, Ji QH, 2018. Study on the repellent effect of crude extracts from fresh leaves of 9 different plants on the nymph of *Diaphorina citri* Kuwayama. *South China Fruits*, 47(6): 11–13. [张小凤, 郭雁君, 蒋惠, 郭丽英, 周希琴, 胡亚平, 吉前华, 2018. 9 种植物鲜叶粗提物对柑桔木虱若虫驱避作用的研究. 中国南方果树, 47(6): 11–13.]
- Zhang XY, Cen YJ, 2020. Recent advances in the interactions between ‘*Candidatus Liberibacter asiaticus*’ and *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Psyllidae). *Journal of Environmental Entomology*, 42(3): 630–637. [张旭颖, 岑伊静, 2020. 亚洲柑橘木虱与柑橘黄龙病菌互作的研究进展. 环境昆虫学报, 42(3): 630–637.]
- Zhong ZF, Zhou XJ, Lin JB, Liu XJ, Shao J, Zhong B, Peng T, 2019. Effects of leaf coloriness, pigment contents and allelochemicals on the orientation of the Asian citrus psyllid among four Rutaceae host plants. *BMC Plant Biology*, 19(1): 254.