



汤夏安, 李贤良, 池章辰, 韦舒蔚, 邓业成, 邓志勇, 骆海玉, 邓明学. 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 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (2): 485–491.

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

汤夏安¹, 李贤良², 池章辰¹, 韦舒蔚¹, 邓业成^{1*}, 邓志勇¹, 骆海玉¹, 邓明学²

(1. 广西师范大学生命科学学院, 珍稀濒危动植物生态与环境保护省部共建教育部重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 广西特色作物研究院, 广西 桂林 541004)

摘要: 为了发现对柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 具有引诱活性的寄主植物嫩梢挥发物, 采用 Y 型嗅觉仪在室内测定柑橘木虱对 12 种寄主植物嫩梢及其挥发物成分的趋性反应, 采用固相微萃取技术 (SPME) 和气-质联用分析技术 (GC-MS) 分析鉴定嫩梢挥发物的共同成分。结果表明, 柑橘木虱对九里香 *Murraya exotica*、沙田柚 *Citrus maxima* ‘Shatian You’、红肉酸柚 *Cgrandis* ‘Hongrousuanyou’、HB 柚 *Citrus grandis* ‘HB’、高斑柚 *Citrus grandis* ‘gaoban You’ 和纽荷尔脐橙 *Citrus sinensis* ‘Newhall’ 6 种植物嫩梢具有显著的趋性反应, 选择率分别为 66.70%、66.04%、63.77%、63.86%、61.67% 和 60.35%。从寄主植物嫩梢中鉴定出 8 种挥发物共同成分, 分别为 α -石竹烯、(-)- β -石竹烯、萜品油烯、芳樟醇、(+)- α -蒎烯、3-蒎烯、D-柠檬烯和 γ -松油烯。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 $\mu\text{L/mL}$ (-)- 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%。研究结果为进一步开发柑橘木虱引诱剂奠定了基础。

关键词: 柑橘木虱; 寄主植物; 挥发物; 趋性反应

中图分类号: Q965; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 02-0485-07

Tendency response of *Diaphorina citri* Kuwayama to shoots and volatile components of twelve host plants

TANG Xia-An¹, LI Xian-Liang², CHI Zhang-Chen¹, WEI Shu-Wei¹, DENG Ye-Cheng^{1*}, DENG Zhi-Yong, LUO Hai-Yu¹, DENG Min-Xue² (1. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education of China/ College of Life Science, Guangxi Normal University, Guangxi Province, Guilin 541004, China; 2. Guangxi Academy of Specialty Crops, Guangxi Province, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to find the volatile components of shoots of the host plants with attractive activity to citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama, Y-type olfactory instrument was used to measure the tendency response of citrus psyllid to the shoots of twelve host plants and their volatile components, and solid phase microextraction (SPME) and gas-mass spectrometry (GC-MS) analysis were used to identify the common components of volatiles of the shoots. The results showed that the citrus psyllid had significant selective response to the shoots of *Murraya exotica*, *Citrus maxima* ‘Shatian You’, *Citrus grandis* ‘Hongrousuanyou’, *Citrus grandis* ‘HB’, *Citrus grandis* ‘gaoban You’ and *Citrus sinensis* ‘Newhall’, and the

基金项目: 广西科技重大专项 (桂科 AA18118046)

作者简介: 汤夏安, 男, 1995 年生, 硕士, 研究方向为天然产物的开发与利用以及病虫害防治, E-mail: 15078371592@163.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 邓业成, 博士, 教授, 主要研究方向为植物保护与天然产物, E-mail: dyecheng@163.com

收稿日期 Received: 2020-03-05; 接受日期 Accepted: 2020-08-28

selective rates were 66.70% ,66.04% ,63.77% ,63.86% ,61.67% and 60.35% , respectively. Eight common volatile constituents were identified from the shoots volatiles of host plants , namely α -humulene , (-) β -caryophyllene , terpinolene , linalool , (+) α -pinene , 3-carene , D-limonene and γ -terpinene. Citrus psyllid has selective response to the 8 plant volatile components. The selective rates to (-) β -caryophyllene and D-limonene at 10 μ L/mL reach 73.2% and 71.88% respectively , and the selective rate to linalool at 1 μ L/mL reach 79.19% . The results laid the foundation for further development of attractants of citrus psyllid.

Key words: Asian citrus psyllid; host plant; volatiles; tendency response

柑橘木虱 *Diaphorina citri* Kuwayama 属半翅目扁木虱科, 是柑橘黄龙病自然传播的主要虫媒。柑橘黄龙病是一种分布广泛的对柑橘产业造成严重威胁的病害 (王国平等, 2007), 其病原为韧皮部杆菌 *Candidatus Liberibacter asiaticus*。由于该韧皮部杆菌目前尚无法人工培养, 所以对柑橘黄龙病的病理和防治研究进展十分缓慢。目前对柑橘黄龙病的防治研究主要集中在对柑橘木虱的防控上, 而对柑橘木虱的防治以化学手段为主。但长期使用化学药剂不仅对果园生态系统造成严重破坏, 而且还会带来农药残留和木虱抗药性等问题 (邓明学等, 2012; 田发军等, 2018)。面对不断肆虐的柑橘黄龙病问题, 研究柑橘木虱的绿色防控技术显得十分重要和迫切。

现行的柑橘木虱绿色防控措施以物理手段为主, 物理防控手段当中以黄板诱杀较为流行 (邓明学等, 2010)。在黄板诱集柑橘木虱的过程中也会带来一些负面影响, 有研究表明有很大数量的昆虫具有趋黄性, 在果园中采取黄板诱杀柑橘木虱的过程中会诱捕到大量的柑橘木虱天敌昆虫, 从而一定程度上损害了果园生态系统 (毛润乾等, 2014)。还有研究表明昆虫的视觉作用范围十分有限, 因此超过一定距离色板可能无法对该区域的木虱起到诱集效果。此外黄板诱集柑橘木虱的效果还受黄板的间距、高度和方向是否合适等因素的影响 (赵政等, 2018)。因此在田间使用黄板诱集柑橘木虱的效果并不理想。

植食性昆虫可通过对植物挥发性气体的辨别来对寄主植物进行准确的定向和定位。柑橘木虱具有发达的嗅觉系统, 有研究表明柑橘木虱触角上分布有多种嗅觉受体, 可使柑橘木虱触角嗅觉神经元对月桂烯和丁酸乙酯等多种化合物产生强烈的电生理反应 (Coutinhoabreu *et al.* , 2014)。通过对柑橘木虱具有引诱活性的化合物的筛选, 从而开发针对柑橘木虱的植物源引诱剂已成为柑橘

木虱防控的一个重要研究方向。已有研究结果显示寄主植物嫩梢挥发物中几种萜类物质对柑橘木虱具有明显的吸引作用 (Pattt&Sétamou , 2010)。还有研究者通过对九里香挥发物进行分析研究, 筛选出一种对柑橘木虱具有较强引诱效果的混剂 (宋晓兵等, 2019)。由于柑橘木虱专性取食芸香科植物, 又由于同科植物的亲缘关系相近, 所以推测芸香科植物中所含的共同挥发物成分有可能对柑桔木虱具有引诱作用。本文对柑橘木虱寄主植物挥发物共同成分进行分析并从中找出对柑橘木虱具有引诱活性的共同成分, 旨在为柑橘木虱引诱剂的开发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试昆虫及植物: 柑橘木虱成虫采自广西桂林市临桂区灌塘村 5 年生柠檬园, 将虫子从野外带回在实验室半年生砂糖橘幼苗上进行饲养。2 d 后挑选健康的柑橘木虱进行试验。供试植物九里香 *Murraya exotica*、HB 柚 *Citrus grandis* ‘HB’、红肉酸柚 *Citrus grandis* ‘Hongrousuanyou’、沙田柚 *Citrus maxima* ‘Shatian You’、高斑柚 *Citrus grandis* ‘gaoban You’、纽荷尔脐橙 *Citrus sinensis* ‘Newhall’、香水柠檬 *Citrus limon* ‘Xiangshui’、酸橙 *Citrus aurantium*、夏橙 *Citrus sinensis*、温州蜜柑 *Citrus reticulata* ‘Unshiu’、贡柑 *Citrus reticulata* ‘gonggan’、沃柑 *Citrus reiculata* ‘Orah’ 嫩梢, 均采自广西特色作物研究院柑橘研究所柑橘种质园。

标准品: 96% α -石竹烯、98% (-) β -石竹烯、96% 萜品油烯、97% 芳樟醇、99% α -蒎烯、96% 3-蒎烯, 美国 Sigma-Aldrich 公司; 99% D-柠檬烯、95% γ -松油烯, TCI 公司; 90% 液体石蜡油, 希恩思公司。

仪器: 自制 Y 型嗅觉仪, Y 型管直臂长

13 cm, 两侧臂长 8 cm, 夹角 75°, 各臂内径均为 1.5 cm。两侧臂末端分别连接一内径 5 cm 的陷阱球。Y 型管两测臂末端依次用 Teflon (聚四氟乙烯) 管连接流量计、500 mL 味源瓶、250 mL 空气加湿瓶、1 L 活性炭干燥塔以及吹气泵, Y 型嗅觉仪各器皿均由透明玻璃制成; Agilent 7890A-5975C 气-质谱联用仪 (GC-MS), Agilent 公司; 固相微萃取 (SPME) 手柄, Supleco 公司; DVB/CAR/PDMS, 50/30 μm SPME 萃取头, 安谱实验科技股份有限公司; ACO-001 型电磁式吹气泵, 饶平县兴成机电水族用品有限公司。

1.2 方法

1.2.1 柑橘木虱对 12 种寄主植物嫩梢趋性行为测定

参考吴国强等 (2012) 和唐良德等 (2015) 的方法并进行适当改进, 利用 Y 型嗅觉仪测定柑橘木虱成虫对 12 种寄主植物嫩梢的趋性。Y 型管两侧臂空气流速均控制在 100 mL/min, 试验温度为 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 试验时间为 8:30–19:30, 味源分别为九里香、红肉酸柚、HB 柚、沙田柚、高斑柚、纽荷尔脐橙、香水柠檬、酸橙、夏橙、温州蜜柑、贡柑和沃柑的嫩梢。取 100 g 供试植物嫩梢置于味源瓶中, 以洁净的空气作为对照。每次试验从 Y 型管直臂末端接入单头柑橘木虱成虫, 雌雄随机。当试虫接入 Y 型管后进行计时, 试虫进入陷阱球并在其中持续时间超过 1 min, 记为选择; 5 min 内未做出选择的, 记为无反应。每试验 5 头柑橘木虱后调换两侧臂的位置。每试验 10 头柑橘木虱后用 95% 乙醇清洗 Y 型管并吹干待用, 更换另一只干净的 Y 型管继续试验。每种嫩梢试验测试柑橘木虱成虫 20 头, 每种处理重复 3 次。统计做出选择的柑橘木虱成虫虫数计算选择率, 嫩梢选择率 (%) = 对味源嫩梢做出选择的柑橘木虱数量 / 有反应的木虱数量 $\times 100$, 对照选择率 (%) = 对对照做出选择的柑橘木虱数量 / 有反应的木虱数量 $\times 100$ 。

1.2.2 6 种柑橘木虱寄主植物嫩梢挥发物共同组分分析鉴定

选择九里香、纽荷尔脐橙、HB 柚、高斑柚、红肉酸柚和沙田柚等 6 种对柑橘木虱具有较好引诱活性植物的嫩梢, 利用 SPME 与 GC-MS 法对嫩梢挥发物共同组分进行分析鉴定。取 100 g 洁净的嫩梢于 250 mL 锥形瓶中并用锡箔纸覆盖锥形瓶口, 再用封口胶封住锡箔纸。将锥形瓶置于 $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 的采样室内进行气味平衡 30 min, 然后采用

SPME 萃取头顶空萃取 2 h。萃取结束后立刻将萃取头插入 GC-MS 进样口进样。GC 色谱柱为 HP-5MS (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 μm); 载气为高纯氦气; 载气流速 0.1 mL/min; 进样口温度为 250°C ; 无分流进样; 升温程序为 40°C 保持 3 min, 以 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 160°C 保持 2 min, 然后以 $8^\circ\text{C}/\text{min}$ 升至 220°C 保持 3 min。MS 为 EI 源电离; 电离能为 70 eV; 离子源温度为 230°C ; 四级杆温度 150°C ; 扫描范围为 50 ~ 550 amu。通过 GC-MS 机载 (NIST08) 谱库检索匹配分析组分的质谱数据, 并参考结合标准图谱对化合物进行鉴定。采用归一化法计算各组分相对含量。

1.2.3 柑橘木虱对寄主植物嫩梢挥发物成分的趋性测定

利用 Y 型嗅觉仪测定柑橘木虱对 8 种寄主植物嫩梢共同组分的趋性。试验方法同 1.2.1 所述, 不同的是将味源瓶中嫩梢改为由石蜡油稀释成 10、1、0.01、0.001 $\mu\text{L}/\text{mL}$ 的 8 种挥发物成分供试液, 将 20 μL 供试液滴加至 2.0 cm $\times$ 1.5 cm 的滤纸上置于味源瓶中作为味源, 以 20 μL 石蜡油作为对照。每种处理试验测试柑橘木虱成虫 20 头, 每种处理重复 3 次。统计做出选择的柑橘木虱成虫虫数计算选择率, 选择率 (%) = 对味源做出选择的柑橘木虱数量 / 有反应的木虱数量 $\times 100$ 。

1.3 数据分析

利用 SPSS 19.0, 采用 t 检验法对选择率进行差异显著性检验, 采用单因素方差分析对柑橘木虱对不同挥发物标准品在不同浓度下的选择率进行分析。

2 结果与分析

2.1 柑橘木虱对 12 种寄主植物嫩梢的趋性反应

利用 Y 型嗅觉仪测定柑橘木虱对 12 种植物嫩梢趋性反应, 结果如表 1 所示, 柑橘木虱对九里香、沙田柚、红肉酸柚、HB 柚、高斑柚和纽荷尔脐橙嫩梢的选择率分别为 66.70%、66.04%、63.77%、63.86%、61.67% 和 60.35%, 相对于对照选择率差异极显著 ($P < 0.01$); 对香水柠檬和沃柑嫩梢的选择率为 57.82% 和 58.60%, 相对于对照选择率差异显著 ($P < 0.05$); 对酸橙、夏橙、温州蜜柑和贡柑的选择率分别为 53.51%、55.46%、54.30% 和 55.37%, 相对于对照选择率差异不显著 ($P < 0.05$)。以上结果显示九里香、

沙田柚、红肉酸柚、HB 柚、高斑柚和纽荷尔脐橙等 6 种植物嫩梢对柑橘木虱成虫拥有较好的引诱活性,这也表明这 6 种植物嫩梢挥发物中可能存

在对柑橘木虱具有较好引诱活性的物质,所以选择这 6 种植物的嫩梢进行下一步挥发物成分分析试验。

表 1 柑橘木虱对 12 种寄主植物嫩梢的选择反应

Table 1 Selection response of Asian citrus psyllids to tender shoots of 12 host plants

植物名称 Plant name	嫩梢选择率 (%) Tender shoot selection rate	对照选择率 (%) Control selection rate	P 值 P value	显著性 Significance
九里香 <i>M. exotica</i>	66.70 ± 1.40	33.30 ± 1.40	0.000	**
沙田柚 <i>C. maxima</i> 'Shatian You'	66.04 ± 1.69	33.96 ± 1.69	0.000	**
红肉酸柚 <i>C. grandis</i> 'Hongrousuanyou'	63.77 ± 0.87	36.23 ± 0.87	0.000	**
HB 柚 <i>C. grandis</i> 'HBI'	63.86 ± 3.47	36.14 ± 3.47	0.001	**
高斑柚 <i>C. grandis</i> 'gaobanl'	61.67 ± 2.36	38.33 ± 2.36	0.001	**
纽荷尔脐橙 <i>C. sinensis</i> 'Newhall'	60.35 ± 2.16	39.65 ± 2.16	0.001	**
香水柠檬 <i>C. limon</i> 'Xiangshui'	57.82 ± 1.82	42.18 ± 1.82	0.027	*
酸橙 <i>C. aurantium</i>	53.51 ± 3.28	46.49 ± 3.28	0.099	NS
夏橙 <i>C. sinensis</i>	55.46 ± 4.00	44.54 ± 4.00	0.062	NS
温州蜜橘 <i>C. reticulata</i> 'Unshiu'	54.30 ± 3.26	45.70 ± 3.26	0.068	NS
贡柑 <i>C. reticulata</i> 'gonggan'	55.37 ± 4.54	44.63 ± 4.54	0.077	NS
沃柑 <i>C. reiculata</i> 'Orah'	58.60 ± 4.41	41.40 ± 4.41	0.018	*

注: *, 表示处理与其对照间差异显著 ($P < 0.05$); **, 表示处理与对照间差异极显著 ($P < 0.01$); NS, 表示无显著差异 ($P < 0.05$)。Note: *, Meant significant difference between treatment and control, $P < 0.05$; **, Meant extremely significant difference between treatment and control, $P < 0.01$, Meant no significant difference ($P < 0.05$).

2.2 6 种寄主植物嫩梢挥发物的共同组分

利用 SPME 与 GC-MS 联用法分别对 6 种植物嫩梢挥发物成分进行分析鉴定,从 6 种植物嫩梢挥发物中鉴定出醇类、脂类、烯炔类、酮类和醛类等 5 类物质。其中共鉴定出 8 种嫩梢挥发物共同组分,分别为 γ -松油烯、3-萜烯、萜品油烯、(-)- β -石竹烯、 α -石竹烯、(+)- α -蒎烯、D-柠檬烯和芳樟醇,以上 8 种物质及其在 6 种植物嫩梢挥发物中的相对含量见表 2。这几种挥发物在不同植物嫩梢挥发物中的相对含量不尽相同,其中 γ -松油烯在 6 种植物挥发物中相对含量为 8.23% ~ 35.80%, 3-萜烯的相对含量为 4.13% ~ 10.03%, 萜品油烯的相对含量为 1.25% ~ 15.53%, (-)- β -石竹烯的相对含量为 0.03% ~ 5.22%, α -石竹烯的相对含量为 0.60% ~ 1.72%, (+)- α -蒎烯的相对含量为 1.72% ~ 13.89%, 芳樟醇的相对含量为 0.29% ~ 2.64%, D-柠檬烯的相对含量为 2.18% ~ 14.95%。这些挥发物共同组分在不同植物嫩梢挥发物中的相对含量不同可能与不同嫩梢所表现出的不同柑橘木虱引诱活性相联系。结合相关文献

笔者推测在这 8 种挥发物共同组分中可能存在对柑橘木虱成虫具有引诱活性的物质,遂购买这 8 种挥发物共同组分的标准品进行柑橘木虱成虫引诱试验。

2.3 柑橘木虱对寄主植物嫩梢挥发物共同组分的趋性反应

不同浓度的嫩梢挥发物标准品对柑橘木虱成虫的引诱活性试验结果见表 3。由表 3 可以看出 8 种嫩梢挥发物标准品在 0.01、0.1、1 和 10 $\mu\text{L/mL}$ 4 个浓度下对柑橘木虱成虫均有一定的引诱活性。其中柑橘木虱对 (-)- β -石竹烯的选择率随人工合成单品浓度的增加而逐渐增大,在 10 $\mu\text{L/mL}$ 浓度时对 (-)- β -石竹烯选择率最大达 73.2%; 柑橘木虱对芳樟醇的选择率随其浓度的增加先逐渐增大后降低,在 1 $\mu\text{L/mL}$ 时达到最大值 79.19%; 柑橘木虱对 γ -松油烯、3-萜烯、萜品油烯、 α -石竹烯、(+)- α -蒎烯以及 D-柠檬烯纯品的选择率与纯品浓度没有明显的相关性,在试验浓度下选择率最高分别达到 64.45%、65.64%、69.17%、60.17%、67.91%、60.17% 和 71.88%。

表 2 8 种植物嫩梢挥发物共同组分相对含量

Table 2 Relative content of common components in volatiles from eight shoots of plants

化合物 Compounds	CAS 号 CAS number	相对含量 (%) Relative content					
		九里香 <i>M. exotica</i>	纽荷尔脐橙 <i>C. sinensis</i> 'Newhall'	HB 柚 <i>C. grandis</i> 'HB'	高斑柚 <i>C. grandis</i> 'gaobanl'	沙田柚 <i>C. maxima</i> 'Shatian You'	红肉酸柚 <i>C. grandis</i> 'Hongrousu an You'
γ-松油烯 γ-Terpinene	99-85-4	9.32	18.50	8.23	35.80	4.31	20.65
萜烯 3-Carene	13466-78-9	5.64	4.13	7.16	10.03	9.33	6.13
萜品油烯 Terpinolene	586-62-9	1.25	15.53	9.76	2.09	4.74	4.28
(-)-β-石竹烯 (-)-β-Caryophyllene	87-44-5	0.56	0.38	0.77	2.23	0.03	5.22
α-石竹烯 α-Humulene	6753-98-6	1.11	0.81	0.79	0.85	1.72	0.60
(+)-α-蒎烯 (+)-α-Pinene	7785-70-8	4.75	10.74	1.72	4.42	7.29	13.89
芳樟醇 Linalool	78-70-6	1.28	2.64	1.88	0.79	0.29	2.02
D-柠檬烯 D-limonene	5989-27-5	2.18	7.37	14.95	14.26	10.32	8.26

表 3 不同浓度挥发物纯品对柑橘木虱成虫的引诱活性

Table 3 Attractive activity of volatiles at different concentrations on adult Asian citrus psyllids

化合物 Compounds	选择率 (%) Selection rate			
	10 μL/mL	1 μL/mL	0.1 μL/mL	0.01 μL/mL
γ-松油烯 γ-Terpinene	58.84 ± 4.16 cde	59.76 ± 3.47 bcde	59.07 ± 5.37 cde	61.40 ± 6.56 bcde
萜烯 3-Carene	65.64 ± 2.33 bcde	63.27 ± 2.72 bcde	57.42 ± 1.37 de	62.26 ± 0.85 bcde
萜品油烯 Terpinolene	66.08 ± 2.19 bcde	69.17 ± 3.23 abcde	63.27 ± 2.72 bcde	55.90 ± 2.54 e
(-)-β-石竹烯 (-)-β-Caryophyllene	73.20 ± 4.35 ab	66.09 ± 3.53 bcde	65.05 ± 5.31 bcde	62.22 ± 5.15 bcde
α-石竹烯 α-Humulene	66.08 ± 2.19 bcde	67.91 ± 2.43 abcde	57.90 ± 3.72 de	62.22 ± 5.15 bcde
(+)-α-蒎烯 (+)-α-Pinene	58.84 ± 4.16 cde	57.52 ± 3.58 de	59.07 ± 5.37 cde	60.17 ± 5.36 bcde
芳樟醇 Linalool	68.00 ± 2.3 bcde	79.19 ± 2.98 a	71.88 ± 2.70 abc	58.91 ± 0.86 cde
D-柠檬烯 D-limonene	71.88 ± 2.70 abc	66.09 ± 3.53 bcde	65.53 ± 5.31 bcde	70.21 ± 5.15 abcd

注：同行数据后具相同小写字母表示处理间在 0.05 水平上差异不显著。Note: Different letters followed mean numbers indicated significant difference among different concentrations of chemical (LSD, $P < 0.05$).

3 结论与讨论

植食性昆虫对寄主植物的选择存在较大差异，王少丽等（2011）测定了朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 对不同蔬菜寄主的取食选择性，发现朱砂叶螨最喜食菜豆，其次为茄子、番茄和黄瓜，相对不喜欢取食辣椒。植食性昆虫对同种寄主植物的不同部位的喜爱也存在较大差异，魏智娟（2008）通过观察对比假眼小绿叶蝉 *Empoasca vitis* 对茶树不同叶片的取食选择性，发现假眼小绿叶

蝉成虫喜欢在茶树第三叶到第六叶上取食，第三叶到第六叶的落虫数与第一、第八叶落虫数差异显著。柑橘木虱对寄主植物不同部位的取食选择也具有明显的差异，相对于寄主植物的其他部位，其对寄主植物的嫩梢具有明显的偏好性（许鑫，2018）。有研究发现柑橘木虱对柑橘属植物以及九里香属的九里香表现出明显的偏爱（姚廷山等，2018）。植物释放出的挥发性物质是昆虫对寄主选择的重要刺激信号，马铃薯挥发性物质中的反式-2-己烯醛和顺式-3-乙酸叶醇脂等化合物可吸引马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata*（Dickens，

2001)。为明确柑橘木虱寄主植物挥发物对柑橘木虱的引诱作用,本试验选择 12 种柑橘木虱寄主植物的嫩梢作为试验材料,通过生物测定发现柑橘木虱对不同寄主植物嫩梢表现出不同强度的趋向性,其对沙田柚、九里香、纽荷尔脐橙、HB 柚、高斑柚、红肉酸柚等 6 种植物嫩梢表现出较好的趋性。之后选择以上 6 种对柑橘木虱具有较好引诱活性的寄主植物嫩梢为材料,利用 SPME 与 GC-MS 技术联用对这 6 种嫩梢挥发物成分进行提取、分离和鉴定以明确柑橘木虱寄主植物挥发物中共同组分,从中共鉴定出 8 种挥发物共同组分分别为 γ -松油烯、3-萜烯、萜品油烯、(-)- β -石竹烯、 α -石竹烯、(+)- α -蒎烯、D-柠檬烯以及芳樟醇。有研究者从九里香、砂糖橘、沙田柚、尤力克柠檬、红肉脐橙、沙田柚以及黄皮嫩梢挥发物中鉴定出 α -石竹烯、(-)- β -石竹烯、 β -罗勒烯和 β -榄香烯等共 4 种共同组分(高传贺,2016),除 α -石竹烯和(-)- β -石竹烯外本研究在九里香、HB 柚、沙田柚和红肉酸柚嫩梢挥发物中也鉴定出了 β -罗勒烯,但未在纽荷尔脐橙和高斑柚嫩梢挥发物中鉴定出;在九里香、HB 柚、高斑柚和沙田柚嫩梢挥发物中鉴定出 β -榄香烯,但未在纽荷尔脐橙和红肉酸柚嫩梢挥发物中鉴定出。还有研究结果显示九里香和柠檬挥发物的主要成分是 β -罗勒烯、芳樟醇、乙酸芳樟酯和(-)- β -石竹烯(Pattt&Sétamou, 2010),本研究也从九里香挥发物中鉴定到了以上 4 种挥发物成分。植物挥发物成分组成受生理因素的影响很大,在不同时间段存在较大差异。薛丹等(2012)对早、中和晚 3 个时间段的大柘花香成分进行分析后发现这 3 个时间段内大柘花香成分的种类以及含量都存在较大差异。马艳等(2019)对不同危害条件下山核桃 *Carya cathayensis* Sarg. 挥发物进行分析后发现在不同星天牛危害下的山核桃挥发物存在差异,并且星天牛对不同危害下的山核桃挥发物的反应也存在一定差异,对蒎烯、罗勒烯、对二乙苯、萜品烯、壬醛、 α -萜品醇、五甲基苯、丙烯酸-2-乙基己酯、2,6-二甲基萘以及正十六烷 10 种挥发物产生显著的触角电位反应,对其他挥发物成分无反应。本研究对部分柑橘木虱寄主嫩梢挥发物的鉴定结果与前人试验结果存在一定差异,这些差异可能是由于试验时间以及试验材料的状态差异造成的,但具体原因还需进一步研究分析。

昆虫对不同信息化合物有着不同的反应阈值

(Dickens, 1984),不同的挥发物气味对柑橘木虱的影响在特定浓度下才能起到作用。有研究表明 α -石竹烯和(-)- β -石竹烯分别在 1 和 0.1、10 $\mu\text{L/mL}$ 对柑橘木虱具有一定的引诱活性(高传贺,2016)。本文通过测定柑橘木虱对 8 种挥发物标准品的趋性发现 8 种挥发物标准品在 4 个试验浓度下均对柑橘木虱具有一定的引诱活性,其中(-)- β -石竹烯、D-柠檬烯以及芳樟醇对柑橘木虱的引诱活性最好,(-)- β -石竹烯、D-柠檬烯在浓度为 10 $\mu\text{L/mL}$ 时引诱率达到最高 73.2% 和 71.88%,芳樟醇在浓度为 1 $\mu\text{L/mL}$ 时引诱率引诱率达到 79.19%。昆虫对寄主植物的定位受寄主植物挥发物所调控,而寄主植物挥发物是由多个活性成分以特定比例混合而成的混合物(Nojima *et al.*, 2003; Bruce *et al.*, 2005; Tasin *et al.*, 2007)。有学者将萜品油烯、(+)- α -蒎烯和芳樟醇按照 2:8:3 的比例进行混配,得到一种柑橘木虱的引诱剂,其田间引诱木虱数量比液体石蜡油对照提高 49.3 倍(岑伊静等,2014)。还有学者利用 α -石竹烯、萜品油烯以及石油醚按照体积比 3:3:4 进行混配,研发出了一种柑橘木虱引诱剂(王永模和刘慧,2013)。本研究结果表明 γ -松油烯、3-萜烯、萜品油烯、(-)- β -石竹烯、 α -石竹烯、(+)- α -蒎烯、D-柠檬烯以及芳樟醇等 8 种物质在不同浓度下对柑橘木虱均有一定的引诱活性,研究结果为进一步混配筛选柑橘木虱高效引诱剂以及柑橘木虱绿色防控技术的研究提供了一定参考。

参考文献 (Reference)

- Bruce TJA, Wadhams LJ, Woodcock CM. Insect host location: A volatile situation [J]. *Trends in Plant Science*, 2005, 10 (6): 269-274.
- Coutinhoabreu IV, McNally S, Forster L, *et al.* Odor coding in a disease-transmitting herbivorous insect, the Asian citrus psyllid [J]. *Chemical Senses*, 2014, 39 (6): 539-549.
- Cen YJ, Yang YZ, Xu CB, *et al.* Composition for Attracting Citrus Psyllid and Use Method Thereof [P]. China, 104222078B, 2015-11-18. [岑伊静, 杨玉枝, 徐长宝等. 一种用于引诱柑桔木虱的组合物及其使用方法 [P]. 中国, 104222078B, 2015-11-18]
- Deng MX, Chen GF, Tang ML, *et al.* Field trial preliminary of trapping adult *Citrus psylla* with yellow trap [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26 (12): 247-251. [邓明学, 陈贵峰, 唐明丽, 等. 黄色粘胶板诱杀柑橘木虱成虫田间试验初报 [J]. 中国农学通报, 2010, 26 (12): 247-251]
- Deng MX, Pan ZX, Tan YL, *et al.* Cross-resistance of Asian citrus

- psylla to 4 neonicotinoid insecticides [J]. *Agrochemicals*, 2012, 51 (2): 153–155. [邓明学, 潘振兴, 谭有龙, 等. 柑橘木虱对 4 种新烟碱类杀虫剂的交互抗性 [J]. 农药, 2012, 51 (2): 153–155]
- Dickens JC. Olfaction in the boll weevil, *Anthonomus grandis* Boh. (Coleoptera: Curculionidae): Electroantennogram studies [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1984, 10 (12): 1759–1785.
- Dickens JC. Orientation of Colorado potato beetle to natural and synthetic blends of volatiles emitted by potato plants [J]. *Agricultural and Forest Entomology*, 2000, 2 (3): 167–172.
- Gao CH. The Study on Effects of Asian Citrus Psyllid Host Plants Volatiles Mediated Host Selection [D]. Guangzhou: South China Agricultural University Master Thesis, 2006. [高传贺. 柑桔木虱寄主挥发物介导寄主选择作用研究 [D]. 广州: 华南农业大学硕士论文, 2006]
- Mao RQ, Zheng JH, Chen CX. Some suggestions for the prevention and treatment of Asian citrus psyllid [J]. *South China Fruit Tree*, 2014, 43 (6): 48–51. [毛润乾, 郑基焕, 陈慈相. 关于柑桔木虱防治的几点建议 [J]. 中国南方果树, 2014, 43 (6): 48–51]
- Ma Y, Shi LY, Zhao Y, et al. GC–EAD and behavioral responses of *Anoplophora chinensis* (Coleoptera: Cerambycidae) to volatiles released from *Juglans mandshurica* plants after different types of damage [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2019, 56 (3): 530–538. [马艳, 史黎央, 赵艺, 等. 星天牛不同为害状态下山核桃挥发物成分的 GC–EAD 和行为反应 [J]. 应用昆虫学报, 2019, 56 (3): 530–538]
- Nojima S, Linn C Jr, Morris B, et al. Identification of host fruit volatiles from hawthorn (*Crataegus* spp.) attractive to hawthorn–origin *Rhagoletis pomonella* flies [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29 (2): 321–336.
- Patt JM, Sétamou M. Responses of the Asian citrus psyllid to volatiles emitted by the flushing shoots of its rutaceous host plants [J]. *Environmental Entomology*, 2010, 39 (2): 618–624.
- Song XB, Peng AT, Cui YP, et al. Trapping effects of *Murraya exotica* volatiles on Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* and mixed screening test [J]. *Journal of Plant Protection*, 2019, 46 (3): 589–594. [宋晓兵, 彭埃天, 崔一平, 等. 九里香挥发物对柑橘木虱的引诱效果及混配筛选试验 [J]. 植物保护学报, 2019, 46 (3): 589–594]
- Tang LD, Han Y, Wu JH, et al. The effect of host plants and chemicals on behavioral response of *Megalurothrips usitatus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2015, 37 (5): 1024–1029. [唐良德, 韩云, 吴建辉, 等. 豆大蓟马对寄主植物及挥发性化合物的趋性 [J]. 环境昆虫学报, 2015, 37 (5): 1024–1029]
- Tasin M, Bäckman AC, Coracini M, et al. Synergism and redundancy in a plant volatile blend attracting grapevine moth females [J]. *Phytochemistry*, 2007, 68 (2): 203–209.
- Tian FJ, Liu JL, Zeng XN. Progress in research on insecticide resistance in the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (4): 565–573. [田发军, 刘家莉, 曾鑫年. 柑橘木虱抗药性研究进展 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (4): 565–573]
- Wang GP, Ding F, Hong N. Citrus Huanglongbing and its Control [M]. Beijing: Jindun Press, 2007. [王国平, 丁芳, 洪霓. 柑橘黄龙病及其防治 [M]. 北京: 金盾出版社, 2007]
- Wei ZJ. Effects of Nitrogen Application on Tea Plant–pest–natural Enemy [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University Master Thesis, 2008. [魏智娟. 氮肥对茶树及主要害虫和天敌的影响 [D]. 福州: 福建农林大学硕士论文, 2008]
- Wang SL, Zhang YJ, Xu BY, et al. Feeding preference of carmine spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* on different host plants [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2011, 33 (3): 315–320. [王少丽, 张友军, 徐宝云, 等. 朱砂叶螨对不同蔬菜寄主的取食选择性 [J]. 环境昆虫学报, 2011, 33 (3): 315–320]
- Wu GQ, Xiao LB, Tan LA, et al. Relative preferences of *Apolygus lucorum* adults for six host species and their volatiles [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2012, 49 (3): 641–647. [吴国强, 肖留斌, 谭永安, 等. 绿盲蝽成虫对六种寄主及其挥发物的选择趋势 [J]. 应用昆虫学报, 2012, 49 (3): 83–89]
- Wang YM, Liu H. Compound Asian Citrus Psyllid Trap for Combining Odor Volatiles and Color [P]. China, 203251820 U, 2013–10–30. [王永模, 刘慧. 一种气味挥发物和颜色相结合的复合型柑橘木虱诱捕器 [P]. 中国, 203251820 U, 2013–10–30]
- Xue D, Ai JG, Gao Y, et al. Composition and diurnal variation analysis of volatile organic compounds in *Gardenia jasminoides* form grandiflora [J]. *Guihaia*, 2012, 32 (4): 551–556. [薛丹, 袁建国, 高岩, 等. 大花栀子植物挥发物成分测定及其日变化分析 [J]. 广西植物, 2012, 32 (4): 551–556]
- Xu X, Xiao ZJ, Cen YJ. Feeding and mating behavior of *Diaphorina citri* Kuwayama on *Murraya exotica* L [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2018, 55 (4): 615–621. [许鑫, 肖庄婷, 岑伊静. 亚洲柑橘木虱成虫在九里香上的取食与交尾行为观察 [J]. 应用昆虫学报, 2018, 55 (4): 615–621]
- Yao TS, Zhou Y, Zhou CY. Advances in researches on the occurrence and control of Asian citrus psyllid [J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35 (11): 1413–1421. [姚廷山, 周彦, 周常勇. 亚洲柑橘木虱的发生与防治研究进展 [J]. 果树学报, 2018, 35 (11): 107–115]
- Zhao Z, Xia CX, Yao ZC, et al. The effects of different colors and different hanging modes for trapping Asian citrus psyllid [J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35 (5): 596–601. [赵政, 夏长秀, 姚志超, 等. 不同色板和悬挂方式对柑橘木虱的诱集效果 [J]. 果树学报, 2018, 35 (5): 596–601]