

# 二球悬铃木叶片挥发物与悬铃木方翅网蝽的相互作用研究\*

李峰奇<sup>1\*\*</sup> 杨世勇<sup>2</sup> 付宁宁<sup>1</sup> 渠成<sup>1</sup> 刘佳<sup>1</sup>  
王然<sup>1</sup> 许奕华<sup>1\*\*\*</sup> 罗晨<sup>1</sup>

(1. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097; 2. 安徽师范大学生命科学学院, 芜湖 241000)

**摘要** 【目的】 为了理解悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* (Say) 与二球悬铃木间的和昆虫与寄主互作机制, 本实验测定了悬铃木方翅网蝽取食对其寄主植物二球悬铃木的挥发性化合物的影响, 以及该虫对这些化合物的行为反应。【方法】 运用固相微萃取结合气相色谱与质谱联用技术, 测定了不同为害时间段中悬铃木叶片挥发物的变化。通过“Y”形嗅觉仪检测了该虫对不同处理的悬铃木叶片和其挥发物成分的行为反应。【结果】 随着为害时间的增加, 挥发性化合物的种类和数量总体呈上升趋势。悬铃木未处理叶片中的挥发物有 4 种成分, 包括: 顺-3-己烯醇, 1, 8-桉叶素, (E)-4, 8-二甲基-1, 3, 7-壬三烯和反式- $\beta$ -石竹烯。在为害后叶片中, 共检测到 9 种挥发性化合物, 除了上述 4 种成分外, 新增加了  $\alpha$ -侧柏烯, 桉烯, 月桂烯, 顺-3-己烯醇乙酸酯和  $\gamma$ -松油烯。行为学研究发现, 悬铃木叶片能显著地吸引悬铃木方翅网蝽, 其中顺-3-己烯醇, 1, 8-桉叶素对该虫具有吸引作用, 而反式- $\beta$ -石竹烯具有趋避作用。【结论】 悬铃木叶片被悬铃木方翅网蝽危害后会产生多种挥发物, 其中一些挥发物能显著影响该虫的行为, 可能在悬铃木方翅网蝽的寄主定位中起着重要的作用, 另一些化合物可能参与悬铃木对该虫的间接防御反应。

**关键词** 二球悬铃木, 悬铃木方翅网蝽, 挥发性化合物, 行为学

## Volatile profiles of *Platanus acerifolia* leaves and their behavioral effects on *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae)

LI Feng-Qi<sup>1\*\*</sup> YANG Shi-Yong<sup>2</sup> FU Ning-Ning<sup>1</sup> QU Cheng<sup>1</sup>  
LIU Jia<sup>1</sup> WANG Ran<sup>2</sup> XU Yi-Hua<sup>1\*\*\*</sup> LUO Chen<sup>1</sup>

(1. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. School of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China.)

**Abstract** 【Objectives】 The sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*, is a newly found invasive insect in China. We examined the effects of *C. ciliata* feeding behavior on the volatile organic compounds (VOCs) of London plane tree (*Platanus acerifolia*) and the behavioral responses of *C. ciliata* to these VOCs. 【Methods】 We measured VOCs in the headspace of the *P. acerifolia* leaves damaged by *C. ciliata* using SPME/GC-MS. 【Results】 The number and quantity of VOCs generally increased with the duration of feeding by *C. ciliata*. Four chemicals, including cis-3-hexen-1-ol, 1, 8-cineole, (E)-4,8-dimethyl-1, 3, 7-nonatriene and trans- $\beta$ -caryophyllene were detected in undamaged leaves. In addition, another five chemicals, including  $\alpha$ -thujene, sabinene, myrcene, cis-3-hexenyl acetate and  $\gamma$ -terpinene were induced after feeding by *C. ciliata*. The behavioral responses of *C. ciliata* to *P. acerifolia* leaves and their volatile components were assayed in a Y-tube olfactometer. *C. ciliata* was significantly attracted by undamaged *P. acerifolia* leaves compared to a clean air control. Cis-3-hexen-1-ol and 1, 8-cineole significantly attracted *C. ciliata*, whereas trans- $\beta$ -caryophyllene repelled this pest.

\*资助项目 Supported projects 北京市科技计划课题( Z151100001115002 ) 北京市农林科学院科技创新能力建设专项( KJCX20170709 )

\*\*第一作者 First author, E-mail: pandit@163.com

\*\*\*通讯作者 Corresponding author, E-mail: Xuyihua@baafs.net.cn

收稿日期 Received: 2016-03-31, 接受日期 Accepted: 2016-12-26

**[Conclusion]** A blend of VOCs was detected after *P. acerifolia* leaves were damaged by *C. ciliata* and three compounds among these affected the behavior of this pest. These compounds may play an important role in host location by *C. ciliata* and in the indirect defensive response of *P. acerifolia* to *C. ciliata*.

**Key words** London plane tree (*Platanus acerifolia*), *Corythucha ciliata*, plant volatiles, behaviors

悬铃木是一种乔木类木本园林植物,具有冠大荫浓、生长迅速、耐修剪等优点,在我国各地区广泛种植。悬铃木方翅网蝽 *Corythucha ciliata* (Say) 属于半翅目 (Hemiptera)、网蝽科 (Tingidae) 方翅网蝽属 (*Corythucha*), 原分布于北美中东部,随后相继传入了欧洲和亚洲,具有较强的扩散能力,是中国新发现的一种外来入侵昆虫(李传仁等, 2007; 王福莲等, 2008)。其主要为害悬铃木属 *Platanus* 植物,包括一球悬铃木 *P. occidentalis*、二球悬铃木 *P. acerifolia* 和三球悬铃木 *P. orientalis*。目前,悬铃木方翅网蝽在我国湖南、湖北、上海、浙江、江苏、山东、河南、重庆、贵州和北京等地均有危害。该虫已被列入我国林业危险性有害生物名单,2007 年国家林业局将其划入中度危险性林业有害生物。悬铃木方翅网蝽通过传播悬铃木叶枯病菌 *Gnomonia platani* 和甘薯长喙壳菌 *Geratocystis fimbriata* 造成协同危害,使树木提前落叶、向上生长中断、树势衰弱乃至死亡 (Battisti *et al.*, 1985; Halbert and Meeker, 1998; Maceljski and Balarin, 1972)。近年研究发现,悬铃木方翅网蝽可吸食人的血液,对人类健康造成威胁 (Arezki *et al.*, 2015)。目前,对悬铃木方翅网蝽的防治主要依赖于杀虫剂,而悬铃木是我国许多城市的行道树,杀虫剂的滥用不仅会造成环境污染而且对人类健康造成危害。因此,开发可持续、环境友好的防治技术成为当务之急。

当受到威胁时,由于植物固定在陆地上,相对于动物而言行为选择性更少,于是在植物和植食性昆虫的协同进化过程中形成了多种防御策略,其中植物挥发物调控的间接防御反应日益引起人们的关注。植物在受到害虫危害后,会释放出一系列的挥发性物质,如萜烯类化合物,来趋避害虫、吸引天敌,从而达到保护自己的目的。1990 年这种现象首次被报道 (Dicke *et al.*, 1990;

Turlings *et al.*, 1990), 该研究认为植物挥发物能减轻害虫危害,从而提高植物的抗虫性。

本文采用固相微萃取结合气相色谱与质谱连用技术收集了悬铃木未处理和受悬铃木方翅网蝽危害后叶片挥发物的种类和含量变化。并通过“Y”形嗅觉仪技术明确了悬铃木方翅网蝽对悬铃木叶片和其挥发物不同成分的行为反应。本研究用悬铃木方翅网蝽对悬铃木叶片进行了诱导,研究了其产生挥发物的种类和数量变化规律,评估了悬铃木叶片和其挥发物各成分对悬铃木方翅网蝽的行为影响,为研发悬铃木方翅网蝽的行为调控物质提供了依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

悬铃木方翅网蝽虫源采自北京市海淀区北京林业大学校内悬铃木植株上,在室内用新鲜的二球悬铃木叶片饲养,饲养条件为温度 ( $25 \pm 2$ ), 湿度 50%~70%, 光周期 (L:D=16:8)。供试二球悬铃木叶片采自北京市海淀区中国农业科学院植物保护研究所院内,挑选健康枝叶,用无菌的手术刀将叶片从叶柄基部分离后,插入装有 10 mL 无菌水的玻璃指型管。管口用脱脂棉密封后放入 2 L 玻璃烧杯中,每一叶片接入 20 头初羽化的悬铃木方翅网蝽成虫进行危害诱导,实验在人工气候箱中开展(实验条件与上述昆虫饲养条件相同)。用毛笔去除未处理 24 h 对照叶片、未处理 48 h 对照叶片、诱导处理 24 h 叶片和诱导处理 48 h 的叶片上的昆虫和蜕壳后,进行叶片的挥发物分析,每个处理重复 3 次。

### 1.2 挥发物收集和鉴定

将悬铃木叶片放入带顶空瓶中 (45 mL, cleman), 加入 10  $\mu$ L 癸酸乙酯 (5 ng/ $\mu$ L) 作为内标,密封后于 25 条件下萃取 1 h (萃取头型

号为 50/30  $\mu\text{m}$ , 涂层二乙烯基苯/碳分子筛/聚二甲基硅氧烷 (DVB/CAR/PDMS), 美国 Supelco 公司)。萃取后使用气相色谱与质谱联用技术 (GC-MS) 鉴定悬铃木叶片的挥发性物质[气相色谱与质谱联用仪 Pegasus (4D GC $\times$ GC-TOF-MS), 美国 LECO 公司; 采用 DB-5MS 石英毛细管柱 (30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25  $\mu\text{m}$ , 安捷伦)]。载气为高纯氦气, 流速为 1 mL/min, 温度为 220 $^{\circ}\text{C}$ 。升温程序设置为 50 $^{\circ}\text{C}$  起始, 5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升到 60 $^{\circ}\text{C}$ , 保持 5 min, 然后 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$  升温, 直至 250 $^{\circ}\text{C}$ , 保持 5 min。质谱采用 EI 源, 扫描范围为 50~650  $m/z$ , 离子源和检测器温度分别为 250 $^{\circ}\text{C}$  和 150 $^{\circ}\text{C}$ , 扫描频率为 5/s。化合物的结构和名称通过 NIST (National Institute of Standards and Technology) 和 Wiley 两个数据库共同决定。由于数据库中没有 (*E*)-4, 8-二甲基-1, 3, 7-壬三烯 (DMNT), 对于 DMNT 的鉴定通过其标样来判断。化合物的定量通过内标法来计算。

### 1.3 “Y”形嗅觉仪生物测定

用“Y”形嗅觉仪来判断悬铃木方翅网蝽对于未处理过的悬铃木叶片和危害 48 h 后叶片的行为选择。“Y”形嗅觉仪的两臂及直管长度均为 10 cm, 直径为 1.5 cm。气流流量通过流量计控制在 250 mL/min。选用初羽化的悬铃木方翅网蝽成虫用于实验。每次实验从管口处接入一头虫, 观察 10 min。若该虫没有做出选择, 则记录为无反应; 若做出选择, 则如实记录数据。每做 10 头虫, 颠倒调换“Y”形管左右方向, 以排除环境对实验结果的影响。每测试 20 头虫后, 先用丙酮将“Y”形管清洗一遍, 再用泡过乙醇的脱脂棉擦拭嗅觉仪内壁, 最后用蒸馏水冲洗后, 在烘箱中烘干。整个实验过程在行为箱中开展, 温度控制在 26 $^{\circ}\text{C}$ 。实验重复 5~7 次, 每次 10 头虫。悬铃木方翅网蝽对悬铃木叶片挥发物的行为反应也通过“Y”形嗅觉仪开展, 方法同上。顺-3-己烯醇, 1, 8-桉叶素和反式- $\beta$ -石竹烯化合物标准品购买自 Sigma-Aldrich 公司, DMNT 标样购买自百灵威公司。标样用液体石蜡稀释成 0.001, 0.01, 0.1、1  $\mu\text{g}/\mu\text{L}$  4 种不同的浓度梯度。

用移液器每次取 10  $\mu\text{L}$  加到滤纸片上, 以液体石蜡做对照, 放在“Y”型嗅觉仪两端, 进行悬铃木方翅网蝽对化合物标准品的行为反应测试。

### 1.4 数据处理

GC-MS 数据用 LECO ChromaTOF (4.21 版) 软件处理后进行方差分析和 LSD 多重比较。“Y”型嗅觉仪结果用卡方检验方法处理。所有数据均使用 IBM SPSS Statistics 22 分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 悬铃木叶片受悬铃木方翅网蝽为害前后的挥发物分析

从 GC-MS 鉴定结果, 可以看出在未处理的悬铃木叶片 (24 h 和 48 h) 中可以检测到 4 种挥发性化合物, 包括: 顺-3-己烯醇, 1, 8-桉叶素, DMNT 和反式- $\beta$ -石竹烯。其中, DMNT 的含量最高, 1, 8-桉叶素的含量次之 (表 1)。

悬铃木叶片在被悬铃木方翅网蝽为害 24 h 后与对照 (24 h 和 48 h) 相比, 挥发物的种类并没有发生变化, 只是在化合物的含量方面发生了变化。但是在其被为害 48 h 后, 其化合物的种类和数量均发生了明显的变化, 在被危害 48 h 后, 共检测到 9 种挥发物包含顺-3-己烯醇,  $\alpha$ -侧柏烯, 桉烯, 月桂烯, 顺-3-己烯醇乙酸酯, 1, 8-桉叶素,  $\gamma$ -松油烯, (*E*)-4, 8-二甲基-1, 3, 7-壬三烯和反式- $\beta$ -石竹烯 (表 1), 总体上这些化合物的种类和含量随着为害时间的增加总体呈上升趋势。

经方差分析, 9 种挥发物在悬铃木 24 h 未处理对照叶片、48 h 未处理对照叶片、为害 24 h 的叶片和为害 48 h 的叶片四组间均存在显著的差异 ( $P<0.05$ )。经 LSD 多重比较, 顺-3-己烯醇、1, 8-桉叶素和 DMNT 3 种化合物在为害 24 h 的叶片、为害 48 h 的叶片与未处理对照叶片 (24 h 和 48 h) 间存在显著的差异。反式- $\beta$ -石竹烯的含量在 24 h 未处理对照叶片、48 h 未处理对照叶片与为害 24 h 的叶片间没有显著差异, 但是该物质的含量在为害 48 h 的叶片中与其他 3 组比起来具有显著差异 (表 1)。

表 1 悬铃木叶片受悬铃木方翅网蝽为害前后挥发物的组分和含量

Table 1 The composition and contents of VOCs from healthy and *Corythucha ciliata* damaged *Platanus acerifolia* leaves

| 挥发物名称<br>Name of volatiles                                              | 24 h 未处理对照<br>Undamaged 24 h controls | 48 h 未处理对照<br>Undamaged 48 h controls | 为害 24 h<br>Damaged 24 h | 为害 48 h<br>Damaged 48 h |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 顺-3-己烯醇 Cis-3-hexen-1-ol                                                | 0.09±0.02a                            | 0.17±0.06a                            | 0.92±0.11b              | 13.38±1.98c             |
| $\alpha$ -侧柏烯 $\alpha$ -thujene                                         |                                       |                                       |                         | 0.49±0.16               |
| 桉烯 Sabinene                                                             |                                       |                                       |                         | 0.20±0.02               |
| 月桂烯 Myrcene                                                             |                                       |                                       |                         | 1.52±0.72               |
| 顺-3-己烯醇乙酸酯 Cis-3-hexenyl acetate                                        |                                       |                                       |                         | 7.65±2.53               |
| 1, 8-桉叶素 1,8-cineole                                                    | 1.74±0.49a                            | 1.80±0.36a                            | 5.57±0.78b              | 21.14±0.64c             |
| $\gamma$ -松油烯 $\gamma$ -terpinene                                       |                                       |                                       |                         | 0.52±0.13               |
| (E)-4, 8-二甲基-1, 3, 7-壬三烯<br>(E)-4, 8-dimethyl-1, 3, 7-nonatriene (DMNT) | 2.01±0.59a                            | 2.05±0.42a                            | 5.99±2.72b              | 59.55±26.16c            |
| 反式- $\beta$ -石竹烯 Trans- $\beta$ -caryophyllene                          | 0.10±0.03a                            | 0.12±0.01a                            | 0.09±0.01a              | 15.88±4.42b             |

数据后标有不同字母表示在 0.05 水平有显著差异 (LSD 多重比较分析)。

Data followed by the different letters indicate the significant difference ( $P < 0.05$ ) according to LSD multiple comparison analysis.

## 2.2 悬铃木方翅网蝽对不同处理悬铃木叶片行为选择

用“Y”形嗅觉仪检测了悬铃木方翅网蝽对不同处理叶片的嗅觉行为反应,经卡方检验结果显示,悬铃木方翅网蝽在悬铃木受害 24 h 的叶片和 24 h 未处理对照叶片间在行为选择上并没

有显著差异 ( $\chi^2 = 0.143$ ,  $P > 0.05$ ), 在受害 48 h 的叶片和 48 h 未处理对照叶片间也没有显著差异 ( $\chi^2 = 0.191$ ,  $P > 0.05$ ), 但是, 在 24 h 未处理对照叶片与空气间具有显著差异 ( $\chi^2 = 19.882$ ,  $P < 0.01$ ), 在 48 h 未处理对照叶片与空气间也具有显著差异 ( $\chi^2 = 24.381$ ,  $P < 0.01$ ) (图 1)。

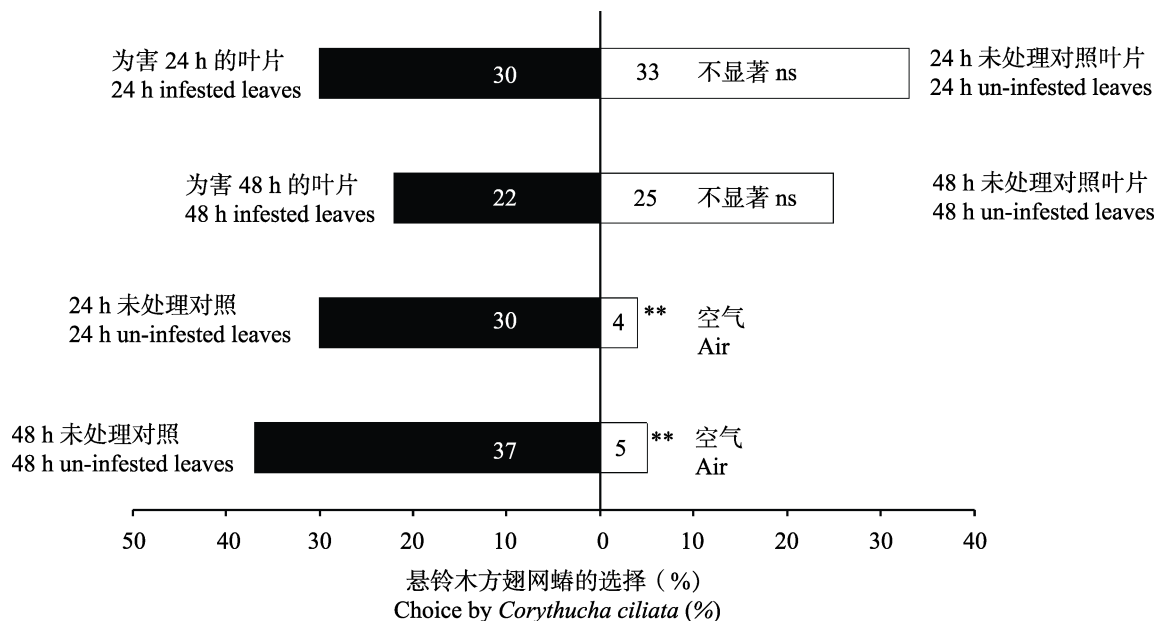


图 1 悬铃木方翅网蝽对不同处理叶片的行为选择

Fig. 1 Responses of *Corythucha ciliata* to the different treated *Platanus acerifolia* leaves

\*\*: significant difference; ns: no significant difference. 下图同。The same below.

### 2.3 悬铃木方翅网蝽对悬铃木叶片挥发物成分的行为反应

结合 GC-MS 和 Y 形嗅觉仪结果, 在未处理叶片中检测到的顺-3-己烯醇, 1, 8-桉叶素, DMNT 和反式- $\beta$ -石竹烯可能影响着该虫的寄主选择行为。对这 4 种气味的标准品, 进一步开展 Y 形管研究, 发现 DMNT (0.01~10  $\mu\text{g}$ ) 不影响该虫的行为; 顺-3-己烯醇 (0.1 和 1.0  $\mu\text{g}$ ) 和 1, 8-桉叶素 (0.1, 1.0, 10  $\mu\text{g}$ ) 对悬铃木方翅网蝽具有显著的吸引作用; 反式- $\beta$ -石竹烯 (0.1, 1.0, 10  $\mu\text{g}$ ) 该虫具有显著的趋避作用 (图 2)。

## 3 讨论

植物挥发性物质在昆虫的寄主定位、取食和产卵等行为反应中起着重要的作用 (Bruce and Pickett, 2011)。在该研究中, 我们通过固相微萃取结合 GC-MS 技术, 在未处理的悬铃木叶片中鉴定到了 4 种挥发性化合物, 在受危害 48 h

后的悬铃木叶片中鉴定到了 9 种挥发性化合物。经悬铃木方翅网蝽诱导后, 这 9 种悬铃木挥发物从种类和数量上均发生了显著的变化。植物在受到害虫为害后会释放出大量的以萜烯类挥发物为主的化合物, 该现象与前人的报道相一致 (Dudareva *et al.*, 2013)。

通过“Y”形嗅觉仪研究, 发现悬铃木方翅网蝽相比空气而言, 显著地选择悬铃木叶片, 这说明在该虫的寄主植物定位中, 嗅觉系统起着主要的作用。这一结果, 与其他昆虫中寄主识别机制的研究相一致 (Knolhoff and Heckel, 2014)。此外, “Y”形嗅觉仪结果显示, 顺-3-己烯醇和 1, 8-桉叶素能显著地吸引该虫, 反式- $\beta$ -石竹烯能显著地趋避该虫。在这 3 种化合物中, 顺-3-己烯醇是常见的植物挥发物成分, Arey 等 (1991) 29 种农业和自然生长的植物进行了挥发物分析, 在所有供试物种中均检测到了顺-3-己烯醇和顺-3-己烯醇乙酸酯。König 等 (1995) 对多种

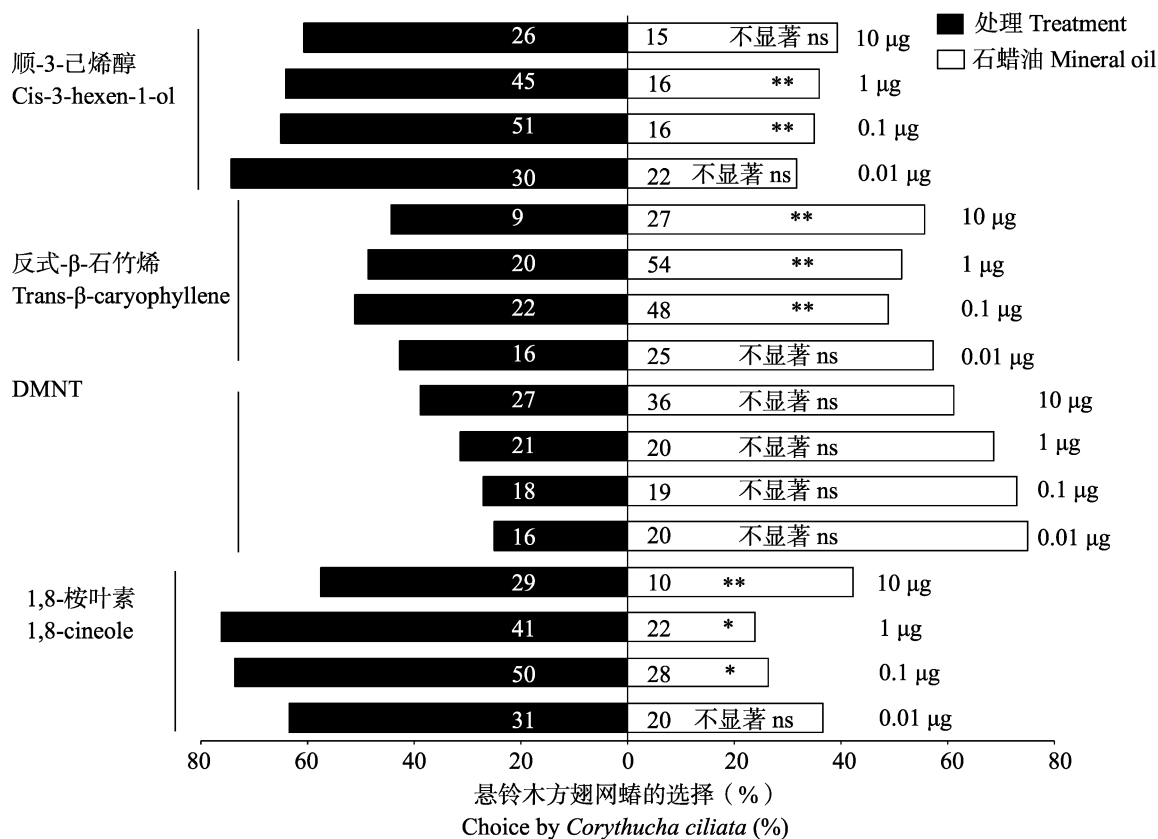


图 2 悬铃木方翅网蝽对悬铃木叶片挥发物成分的行为反应  
Fig. 2 Responses of *Corythucha ciliata* to VOCs emitted from *Platanus acerifolia* leaves

农作物和林业树种包括云杉、落叶松、山毛榉、栎树和桦树等的挥发物开展了研究,在这些物种中均检测到了顺-3-己烯醇、顺-3-己烯醇乙酸酯和己醛,且顺-3-己烯醇是多种林业树种的主要挥发物成分之一。1,8-桉叶素是桉属植物挥发物的主要成分,该化合物与甲虫 *Anoplognathus* sp. (Coleoptera: Scarabaeidae) 的寄主选择行为密切相关 (Matsuki *et al.*, 2011)。在蔬菜中,1,8-桉叶素也是常见的挥发性物质,能影响 B 型烟粉虱的行为 (曹凤勤等, 2008)。反式- $\beta$ -石竹烯在水稻、玉米和棉花等多种农作物中均有报道,其在寄主、害虫和天敌的三者互作中起着重要的作用 (Flint *et al.*, 1979; Cheng *et al.*, 2007; Köllner *et al.*, 2008)。

本研究中检测到的其他化合物,包括 DMNT、 $\alpha$ -侧柏烯、桉烯、月桂烯顺-3-己烯醇乙酸酯和  $\gamma$ -松油烯很可能参与悬铃木对于悬铃木方翅网蝽的间接防御机制,包括趋避悬铃木方翅网蝽或吸引悬铃木方翅网蝽的天敌,也有可能在对邻近植物的预警中起着重要作用。其中,DMNT 是一种常见的植物萜烯同系物,该化合物能吸引多种寄生蜂和捕食螨,在植物抗虫性方面起着重要的作用 (Tholl *et al.*, 2011)。有研究表明 (Frost *et al.*, 2008),在杨树受到机械损伤和害虫诱导后可产生顺-3-己烯醇乙酸酯,该化合物能作为信号分子来激活邻居杨树植株抗虫基因的提前表达,从而起到预警的作用。

我们发现不同浓度的顺-3-己烯醇,1,8-桉叶素和反式- $\beta$ -石竹烯对悬铃木方翅网蝽的影响也有所不同。植食性昆虫对寄主植物的寻找,通常是通过其敏锐的嗅觉系统来实现的,而寄主植物所释放的各种化合物其在空气中的浓度也有所不同,这说明,寄主挥发物的浓度和比例在昆虫的寄主识别过程中起着重要的作用。

当前研究中,我们虽然鉴定到了能影响悬铃木方翅网蝽行为的挥发物,考虑到在实际生态系统中,不同的挥发物成分之间可能存在着协同效应或拮抗效应,这些挥发物成分对该虫的行为影响可能存在整体性效果 (Bruce and Pickett, 2011)。因此,在未来的研究中,我们将开展这些化合物

的不同浓度组合在自然系统中对该虫的引诱或趋避效果,该研究鉴定到的这些挥发物可用于悬铃木方翅网蝽的行为调控措施的研发,包括开发诱芯或通过“推-拉”系统来防控该虫的危害。

## 参考文献 (References)

- Arey J, Winer AM, Atkinson R, Aschmann SM, Long WD, Morrison CL, 1991. The emission of (Z)-3-hexen-1-ol, (Z)-3-hexenylacetate and other oxygenated hydrocarbons from agricultural plant species. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, 25(5): 1063–1075.
- Arezki I, Valérie A, Olivier C, Rémy D, 2015. Dermatitis caused by blood-sucking *Corythucha ciliata*. *JAMA Dermatol*, 151(8): 909–910.
- Battisti R, Forti A, Zangheri S, 1985. Research on biology of sycamore lace bug *Corythucha ciliata* (Say) (Rhynchota Tingidae) in the Veneto region. *Frustula Entomologica*, 7(8): 125–141.
- Bruce TJ, Pickett JA, 2011. Perception of plant volatile blends by herbivorous insects—finding the right mix. *Phytochemistry*, 72(13): 1605–1611.
- Cao FQ, Liu WX, Fan ZN, Wan FH, Cheng LS, 2008. Behavioural responses of *Bemisia tabaci* B-biotype to three host plants and their volatiles. *Acta Entomologica Sinica*, 51(8): 830–838. [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.]
- Cheng AX, Xiang CY, Li JX, Yang CQ, Hu WL, Wang LJ, Lou YG, Chen XY, 2007. The rice (*E*)- $\beta$ -caryophyllene synthase (OsTPS3) accounts for the major inducible volatile sesquiterpenes. *Phytochemistry*, 68(12): 1632–1641.
- Dicke M, Sabelis MW, Takabayashi J, Bruin J, Posthumus MA, 1990. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. *Journal of Chemical Ecology*, 16(11): 3091–3118.
- Dudareva N, Klemptner A, Muhlemann JK, Kaplan I, 2013. Biosynthesis, function and metabolic engineering of plant volatile organic compounds. *New Phytologist*, 198(1): 16–32.
- Flint H, Salter S, Walters S, 1979. Caryophyllene: an attractant for the green lacewing. *Environmental Entomology*, 8(6): 1123–1125.
- Frost CJ, Mescher MC, Dervinis C, Davis JM, Carlson JE, De Moraes CM, 2008. Priming defense genes and metabolites in hybrid poplar by the green leaf volatile cis-3-hexenyl acetate. *New Phytologist*, 180(3): 722–734.
- Halbert SE, Meeker JR, 1998. The sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say): (Hemiptera: Tingidae). Fla. Department Agric. &

- Consumer Services, Division of Plant Industry.
- Knolhoff LM, Heckel DG, 2014. Behavioral assays for studies of host plant choice and adaptation in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology*, 59: 263–278.
- Köllner TG, Held M, Lenk C, Hiltbold I, Turlings TC, Gershenzon J, Degenhardt J, 2008. A maize (*E*)- $\beta$ -caryophyllene synthase implicated in indirect defense responses against herbivores is not expressed in most American maize varieties. *The Plant Cell*, 20(2): 482–494.
- König G, Brunda M, Puxbaum H, Hewitt CN, Duckham SC, Rudolph J, 1995. Relative contribution of oxygenated hydrocarbons to the total biogenic VOC emissions of selected mid-European agricultural and natural plant species. *Atmospheric Environment*, 29(8): 861–874.
- Li CR, Xia WS, Wang FL, 2007. First record of *corythucha ciliata* (Say)(Hemiptera; Tingidae), in China. *Acta Zootax. Sin.*, 32 (4): 944–946. [李传仁, 夏文胜, 王福莲, 2007. 悬铃木方翅网蝽在中国的首次发现. 动物分类学报, 32(4): 944–946.]
- Maceljski M, Balarin I, 1972. Preliminary note on the appearance of a new species of insect pest in Yugoslavia-the bug *Corythucha ciliata* (Say) (Tingidae, Heteroptera). *Acta Entomologica Jugoslavica*, 8(1/2): 105–106.
- Matsuki M, Foley WJ, Floyd RB, 2011. Role of volatile and non-volatile plant secondary metabolites in host tree selection by Christmas beetles. *Journal of Chemical Ecology*, 37(3): 286–300.
- Tholl D, Sohrabi R, Huh JH, Lee S, 2011. The biochemistry of homoterpenes—common constituents of floral and herbivore-induced plant volatile bouquets. *Phytochemistry*, 72(13): 1635–1646.
- Turlings TC, Tumlinson JH, Lewis WJ, 1990. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. *Science*, 250(4985): 1251–1253.
- Wang FL, Li CR, Liu WX, Wan FH, 2008. Advance in biological characteristics and control techniques of the new invasive sycamore lacebug (*Corythucha ciliata*). *Scientia Silvae Sinicae*, 44(6): 137–142. [王福莲, 李传仁, 刘万学, 万方浩, 2008. 新入侵物种悬铃木方翅网蝽的生物学特性与防治技术研究进展. 林业科学, 44(6): 137–142.]

\*\*\*\*\*



## 马力筋红天牛 *Tetraopes femoratus* LeConte

马力筋红天牛为鞘翅目 Coleoptera 天牛科 Cerambycidae 昆虫, 主要分布在北美洲, 美国中西部及墨西哥中部常见, 取食各种马利筋属 *Asclepias* 植物, 如乳草 *A. fascicularis*, 沼泽乳草 *A. incarnata* 等。成虫 3 cm 左右, 体色鲜红, 触角黑色节间白色, 前胸背板中部及两侧有大的突起, 鞘翅红色, 有 1~2 对小的黑色斑点。封面照片 2015 年 9 月 14 日拍摄于美国亚利桑那州图森市 (Tucson, Arizona) 的一个峡谷 Madera Canyon。

(姜春燕, 中国科学院动物研究所)