



王怡铭, 张珂盈, 马明明, 余冠霏, 胡镇杰, 陈根强, 刘欢. 绿花白千层精油对桔小实蝇成虫的引诱作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2026, 48 (2): 599–607. WANG Yi-Ming, ZHANG Ke-Ying, MA Ming-Ming, YU Guan-Fei, HU Zhen-Jie, CHEN Gen-Qiang, LIU Huan. Attractant effect of *Melaleuca quinquenervia* essential oil against adult *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2026, 48 (2): 599–607.

## 绿花白千层精油对桔小实蝇成虫的引诱作用研究

王怡铭<sup>1\*</sup>, 张珂盈<sup>1</sup>, 马明明<sup>1</sup>, 余冠霏<sup>1</sup>, 胡镇杰<sup>1,2</sup>, 陈根强<sup>1,2\*\*</sup>, 刘欢<sup>1,2\*\*</sup>

(1. 河南科技大学, 园艺与植物保护学院, 河南洛阳 471023; 2. 河南省绿色植保工程技术研究中心, 河南洛阳 471023)

**摘要:**【目的】桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 是一种极具危险性的果蔬害虫。诱杀成虫是目前监测和防控桔小实蝇的主要策略。为明确对桔小实蝇具有引诱作用的植物精油。【方法】本研究通过 Y 型嗅觉仪行为选择法和室内诱捕法测试了 12 种精油对桔小实蝇的引诱活性, 并深入研究了精油的引诱规律。【结果】结果表明, 200 mg/mL 的绿花白千层 *Melaleuca quinquenervia* 精油对桔小实蝇的引诱活性最强, 且该精油对 16 日龄的桔小实蝇引诱率最高, 上午的引诱率显著高于中午和傍晚。此外, 绿花白千层精油对已交配的桔小实蝇引诱率高于未交配的桔小实蝇, 饥饿处理和饥渴处理状态下不影响桔小实蝇对绿花白千层精油的趋向性。【结论】该研究结果为桔小实蝇的绿色防控和果蔬安全生产提供了技术支持。

**关键词:** 桔小实蝇; 诱捕法; 引诱效果; 绿花白千层

中图分类号: Q968.1

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2026) 02-0599-09

### Attractant effect of *Melaleuca quinquenervia* essential oil against adult *Bactrocera dorsalis* (Hendel)

WANG Yi-Ming<sup>1\*</sup>, ZHANG Ke-Ying<sup>1</sup>, MA Ming-Ming<sup>1</sup>, YU Guan-Fei<sup>1</sup>, HU Zhen-Jie<sup>1,2</sup>, CHEN Gen-Qiang<sup>1,2\*\*</sup>, LIU Huan<sup>1,2\*\*</sup> (1. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, Henan Province, China; 2. Henan Province Engineering Technology Research Center of Green Plant Protection, Luoyang 471023, Henan Province, China)

**Abstract:** The oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, is among the most harmful pest of fruits and vegetables. Trapping and killing adults is currently the main strategy for monitoring and controlling of *B. dorsalis*.

【Aim】 In order to clarify the plant essential oils (EOs) that have attractant effects on *B. dorsalis*.

【Methods】 This study tested the attractant activity of 12 essential oils against *B. dorsalis* by using a Y-tube olfactometer behavioral choice assay and indoor trapping methods, and further investigated the patterns of attraction. 【Results】 The results showed that *Melaleuca quinquenervia* essential oil (MQEO) at a concentration of 200 mg/mL exhibited the highest attractant activity, and the attractive rate of MQEO was the highest on *B. dorsalis* at 16-day-old; the strongest response was elicited during the morning and decreased at noon and dusk. In addition, MQEO exhibited higher attractiveness to mated *B. dorsalis* than to unmated individuals. Moreover, neither starvation nor dehydration treatment affected the attractiveness of

*B. dorsalis* towards the MQEO. 【Conclusion】 These findings provide technical support for the green

基金项目: 国家自然科学基金 (32372529); 河南省自然科学基金 (252300421152); 河南省高校科技创新人才项目 (24HASTIT054); 中原科技创新青年拔尖人才项目; 河南科技大学青年骨干教师培养计划 (13450011); 河南科技大学大学生创新创业训练计划项目 (2025461)

\*作者简介: 王怡铭, 女, 硕士研究生, 从事农业昆虫与害虫防治研究, E-mail: 2065672124@qq.com

\*\*共同通讯作者 Author for correspondence: 刘欢, 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为昆虫行为生态, E-mail: liuhuan@haust.edu.cn;

陈根强, 男, 博士, 教授, 主要研究方向为农业昆虫与害虫防治, E-mail: 470910979@qq.com

收稿日期 Received: 2024-08-01; 修回日期 Revision received: 2024-10-18; 接受日期 Accepted: 2024-10-21

control of *B. dorsalis* and the safe production of fruits and vegetables.

**Key words:** *Bactrocera dorsalis*; trap method; attractant effect; *Melaleuca quinquenervia*

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 又名柑橘小实蝇、果蛆等, 隶属双翅目实蝇科果蝇属, 是一种重要的国际检疫害虫 (项前等, 2022)。桔小实蝇食性特别杂, 寄主包括了番石榴 *Psidium guajava* Linn.、柑桔 *Citrus reticulata* Blanco.、芒果 *Mangifera indica* L.、杨桃 *Averrhoa carambola* L.、枇杷 *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.、茄子 *Solanum melongena* L. 等 46 科的 250 多种水果和蔬菜, 且生活周期短繁殖力强, 危害多种水果蔬菜且难以防治, 素有“果蔬杀手”之称 (黄洁芳等, 2023)。桔小实蝇雌成虫将卵产于果实中, 孵化后幼虫以果肉为食, 造成果实内部腐烂或未熟脱落, 对果品质量和产量造成严重影响 (李燕等, 2018; 郭腾达等, 2019)。目前生产上防治桔小实蝇主要以化学防治为主 (李燕等, 2018; 金扬秀等, 2022), 然而农药施用已致使桔小实蝇抗性急剧增加, 并导致了严重的食品安全和环境污染等问题 (申建梅等, 2017; 金梦娇等, 2021)。因此, 急需开发桔小实蝇新型、绿色、高效的防控技术。

在植物与昆虫的协同进化过程中, 植物释放的化学物质对桔小实蝇寻找寄主起到关键性的作用 (Wu *et al.*, 2007), 这些物质可以吸引桔小实蝇觅食、产卵和交配 (Barud *et al.*, 2014)。植物挥发物指植物次生代谢产物中具有挥发性的化学物质, 植物可利用次生代谢物质来抵御外来生物的危害, 这是植物长期进化过程中协同进化的结果 (席涵等, 2019)。植物精油是一类从植物中提取的次生代谢物质, 可随植物体内水分蒸腾而挥发出的一种油状液体, 由多种化学成分组合而成 (杨念婉和李艾莲, 2007; 梁帆等, 2014; 李红莉等, 2019)。研究发现, 植物精油对昆虫具有驱避、引诱、拒食、触杀、熏蒸和产卵驱避等生物活性 (袁海滨等, 2017; Royer *et al.*, 2019; 涂华龙等, 2024)。如高扬等 (2021) 研究发现, 低浓度的  $\beta$ -石竹烯对桔小实蝇雌成虫具有引诱作用。王兰英等 (2011) 研究结果表明, 番石榴果精油、黄皮果皮精油、莲雾叶精油对桔小实蝇雌性成虫有明显的引诱效果; 香蕉叶精油、大叶桃花心木精油、番石榴叶精油对桔小实蝇雌性成虫有明显的驱避效果。郭峰等 (2020) 研究表明, 香茅精油对桔小实蝇有较好的触杀和产卵驱避效果; 杨雪

等 (2021) 证明高浓度的青蒿精油对黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* 具有驱避作用。与化学农药相比, 植物精油具有对人畜无害且对天敌昆虫安全, 在环境中易被降解且不易产生残留等优点, 在农业害虫、储粮害虫、卫生害虫防控等领域展现出广阔的应用潜力。然而, 还有很多对桔小实蝇具有引诱活性的植物精油尚未应用到桔小实蝇防治方面, 因此筛选并开发新颖、高效的植物源引诱剂, 对打破当前桔小实蝇防控困局具有重要的意义。

当前, 国家大力推行农药减量增效控害策略, 昆虫诱杀技术在害虫绿色防控中起着不可替代的作用。为了筛选对桔小实蝇具有引诱效果的植物精油, 本研究随机测定了 12 种植物精油对桔小实蝇的引诱活性, 旨在筛选对桔小实蝇具有高效活性的植物精油引诱剂, 为高效开发对非靶标生物安全的植物源引诱剂奠定基础, 为绿色防控桔小实蝇提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 供试虫源及饲养条件

桔小实蝇在河南科技大学室内采用人工饲料来进行喂养, 选取生长良好、发育情况一致的桔小实蝇成虫作为供试昆虫。饲养条件为: 温度 25~27°C, 光周期 12 L : 12 D, 相对湿度为 50%~70%。

#### 1.1.2 供试植物精油

黄芩精油、柠檬薄荷精油、岩兰草精油、田七精油、柠檬香桃木精油、佛手柑精油、红桔精油, 均购自花无边生物科技有限公司。橙花精油、香蜂草精油、金银花精油购自江西华隆香料油有限公司。快乐鼠尾草精油、绿花白千层精油购自深圳市去野外天然护肤品有限公司。

#### 1.1.3 供试试剂和仪器

吐温 80 (生工生物工程股份有限公司)、Y 型嗅觉仪 (北京中惠天诚科技有限公司)。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 Y 型嗅觉仪测试桔小实蝇对不同植物精油的趋性行为

采用 Y 型嗅觉仪测试 12 种精油对桔小实蝇的

引诱活性, 根据高扬等 (2021) 的试验方法稍作修改。Y型嗅觉仪由Y型无色透明玻璃管制成, 直径长3 cm, 基部管长8 cm, 两个侧臂各长15 cm, 两臂夹角75°。Y型嗅觉仪由Y型玻璃管、味源瓶、蒸馏水加湿瓶、空气流量计和活性炭过滤瓶, 各部分之间以硅胶管相连接。测试前, 分别用5%吐温80将12种精油稀释为浓度200 mg/mL的溶液, 用移液枪吸取10  $\mu$ L溶液均匀的滴在脱脂棉上, 吸取等量的5%吐温80滴于脱脂棉球上作为对照。将处理和对照的脱脂棉球分别放入相应的嗅觉测试臂中。嗅觉仪空气流速设置为200 mL/min。从Y型嗅觉仪的直管末端引入14~20 d雌、雄桔小实蝇各10头, 10 min后观察并记录成虫的行为反应。为了避免外界光源对桔小实蝇的行为选择试验的影响, Y型玻璃管部分盖上不透光黑色遮光布, 让成虫在黑暗环境中进行选择。选择标准为10 min内试虫沿着柄端爬行到两臂交接处, 选择一臂进入超过1/3处, 并停留30 s即确定为做出选择; 如果停留在交接处超10 min没有选择则确定为无反应, 独立重复5次。每次测试后调换味源物的位置以消除几何位置对桔小实蝇的行为影响。试验完成后使用95%乙醇清洗整个装置, 风干后才可进行下一次试验。所有测试均在空间封闭且空气洁净的专用测试室进行。选择率计算公式如下:

选择率 (%) = 处理臂中虫数或对照臂中虫数 / 供试虫数  $\times$  100

### 1.2.2 室内诱捕法测定12种植物精油对桔小实蝇成虫的引诱活性

#### (1) 非选择性诱捕行为测试法

参考杨晴阳 (2016) 的引诱方法稍作修改, 以5%吐温80为乳化助溶剂, 将12种植物精油配制成200 mg/mL的试验溶液。然后, 随机选择40头羽化14~20 d的性成熟成虫 (雌雄比例为1:1), 供试昆虫性成熟后正常交配, 放于30 cm  $\times$  30 cm  $\times$  30 cm的养虫笼中, 适应30 min后, 分别将含有100  $\mu$ L植物精油溶液的诱捕器放于笼中央, 对照组放置仅含等量5%吐温80的诱捕器, 对照诱捕器和处理组诱捕器分别放置不同的笼子内。处理时间为9:00-19:00, 试验结束后统计处理组和对照组诱捕器中桔小实蝇雌、雄成虫的数量, 比较不同植物精油对桔小实蝇的引诱活性。每个处理独立5次生物学重复。计算公式如下:

引诱率 (%) = 精油引诱虫数 / 供试虫数  $\times$  100

#### (2) 选择性诱捕行为测试法

参考王波等 (2010) 的室内生物选择性诱捕行为测试法, 其方法与非选择性诱捕行为测试法参数相同, 区别在于处理组和对照组的诱捕器放在同一个笼子 (30 cm  $\times$  30 cm  $\times$  30 cm)。供试昆虫性成熟后正常交配, 试验处理时间为9:00-19:00, 统计最终诱捕器中桔小实蝇雌、雄成虫的数量。每个处理独立5次生物学重复。选择引诱率计算公式如下:

选择引诱率 (%) = (精油处理组引诱虫数 - 对照引诱虫数) / 供试虫数  $\times$  100

### 1.2.3 绿花白千层精油最佳引诱浓度筛选测定

以5%吐温80为乳化助溶剂, 将绿花白千层精油配制为不同的浓度 (6.25、12.5、25、50、100、200、400 mg/mL), 采用室内非选择诱捕行为测试法测试不同浓度的绿花白千层精油对桔小实蝇的引诱活性, 明确最佳引诱浓度。处理时间为9:00-19:00, 统计最终诱捕器内桔小实蝇的数量。控制试验光照强度为100 lux, 温度 (27  $\pm$  1)  $^{\circ}$ C, RH (75  $\pm$  1) %, 每个处理重复5次。

### 1.2.4 桔小实蝇成虫不同羽化日龄对绿花白千层精油的趋性差异测定

随机选择正常条件下饲养的不同羽化日龄 (2、4、6、12、16、20、24、28、32 d) 的桔小实蝇雌、雄成虫各20头, 不人工干预桔小实蝇交配, 分别放于30 cm  $\times$  30 cm  $\times$  30 cm的养虫笼中, 适应30 min后, 分别将含有100  $\mu$ L绿花白千层精油溶液 (200 mg/mL) 的诱捕器放于笼中央, 对照组放置仅含等量5%吐温80的诱捕器。处理时间为9:00-19:00, 统计最终诱捕器内桔小实蝇的数量, 分析比较羽化日龄对桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油的影响。控制试验光照强度为100 lux, 温度 (27  $\pm$  1)  $^{\circ}$ C, RH (75  $\pm$  1) %, 每处理独立5次生物学重复。

### 1.2.5 交配状态影响桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油的测定

将刚羽化2~3 d未进行交配的雌、雄桔小实蝇成虫分别放入两个不同的笼子中饲养, 确保桔小实蝇在试验时未交配, 对照组雌、雄桔小实蝇饲养在同一笼中, 不干预雌、雄桔小实蝇进行交配。采用上述室内非选择诱捕行为测试法分别检测绿花白千层精油 (200 mg/mL) 对性成熟已交配成虫和性成熟未交配成虫的引诱活性, 处理时间为9:00-19:00。控制试验光照强度为100 lux, 温度 (27  $\pm$  1)  $^{\circ}$ C, RH (75  $\pm$  1) %, 每处理独立5次生物学重复。

### 1.2.6 日节律的变化对桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油溶液影响的测定

为了探究日节律对桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油 (200 mg/mL) 的影响, 采用上述室内非选择诱捕行为测试法分别在9:00–11:00、13:00–15:00和17:00–19:00三个时间段检测性成熟 (14~20 d) 雌雄性桔小实蝇对绿花白千层精油的趋性反应。每个处理独立5次生物学重复。

### 1.2.7 饥饿和饥渴状态影响桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油的测定

将性成熟的桔小实蝇进行12 h的饥饿和饥渴处理, 试验前一天21:00开始饥饿处理的桔小实蝇只提供水, 而饥渴处理的桔小实蝇只提供饲料, 而对照组桔小实蝇则正常饲养。然后, 采用上述室内非选择诱捕行为测试法分别检测绿花白千层精油 (200 mg/mL) 对饥饿和饥渴生理状态下成虫的引诱活性, 处理时间为9:00–19:00。控制试验光照强度为100 lux, 温度 (27 ± 1) °C, RH (75 ± 1) %, 每处理独立5次生物学重复。

### 1.3 数据处理与分析

所有试验数据均采用Excel进行统计与处理,

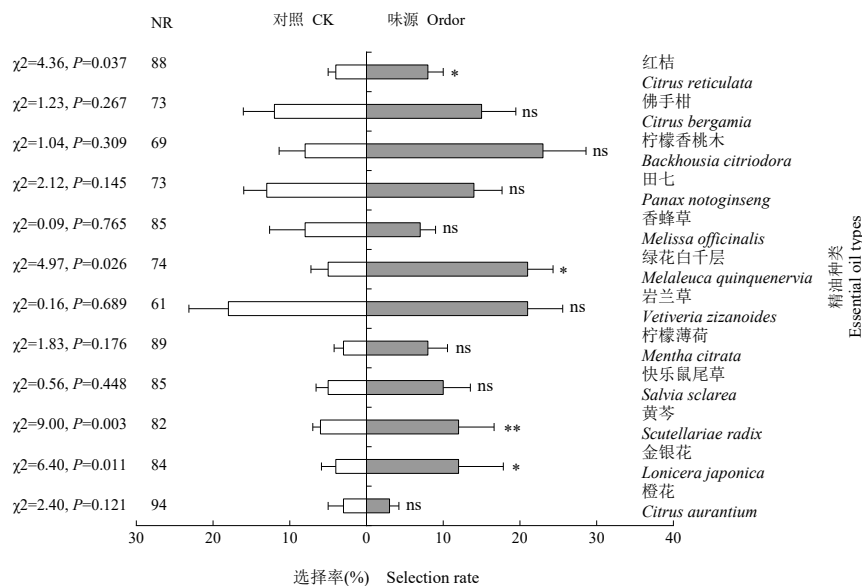


图1 桔小实蝇成虫在Y型嗅觉仪中对12种精油的选择性反应

Fig. 1 Selective response of *Bactrocera dorsalis* adults to 12 essential oils in Y-tube olfactometer

注: 空白对照为5%吐温80, NR代表每一组无反应的试虫数量, \*表示在0.05水平差异性显著, \*\*表示在0.01水平差异性显著。Note: The blank control was 5% Tween 80, NR stood for the number of non-responsive insects in each group, \* meant significant difference at 0.05 level, \*\* meant significant difference at 0.01 level.

并采用SPSS 23.0软件进行分析。用卡方检验 ( $P < 0.05$ ) 分析Y型嗅觉仪中处理和对照之间的差异, 单因素方差分析和独立样本t检验评估不同精油, 浓度、日龄和不同生理状态下成虫的引诱率之间的差异。使用Origin 2021软件制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 桔小实蝇成虫对12种精油的选择行为结果

Y型嗅觉仪选择行为试验结果如图1所示。结果表明, 桔小实蝇成虫对金银花、绿花白千层、红桔和黄芩精油的选择率分别为 (12.00 ± 5.83) % ( $\chi^2 = 6.40$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.011$ )、(21.00 ± 3.32) % ( $\chi^2 = 4.97$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.026$ )、(8.00 ± 2.00) % ( $\chi^2 = 4.36$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.037$ ) 和 (12.00 ± 4.64) % ( $\chi^2 = 9.00$ ,  $df = 1$ ,  $P = 0.003$ ), 显著高于对照组 (图1)。此外, 桔小实蝇成虫对橙花、快乐鼠尾草等8种精油和对照5%吐温80选择反应率差异性不显著, 表明橙花、快乐鼠尾草等8种精油对桔小实蝇成虫没有明显引诱活性。

### 2.2 12种植物精油对桔小实蝇成虫的引诱活性 诱捕行为选择测试法测试12种精油对桔小实

蝇的引诱效果 (图2-A), 结果显示绿花白千层精油相比于其他精油的引诱效果极为显著 ( $F =$

40.859,  $df = 11$ ,  $P < 0.001$ ), 引诱率高达94%。

使用诱捕行为测试法(非选择)测试12种精油引诱活性结果显示(图2-B), 绿花白千层精油引诱率最高(76.50% ± 4.30%), 与其他11种精油

相比显著高于其他精油的引诱活性( $F = 31.88$ ,  $df = 12$ ,  $P < 0.001$ )。结果证明绿花白千层精油对桔小实蝇存在较高的引诱活性。

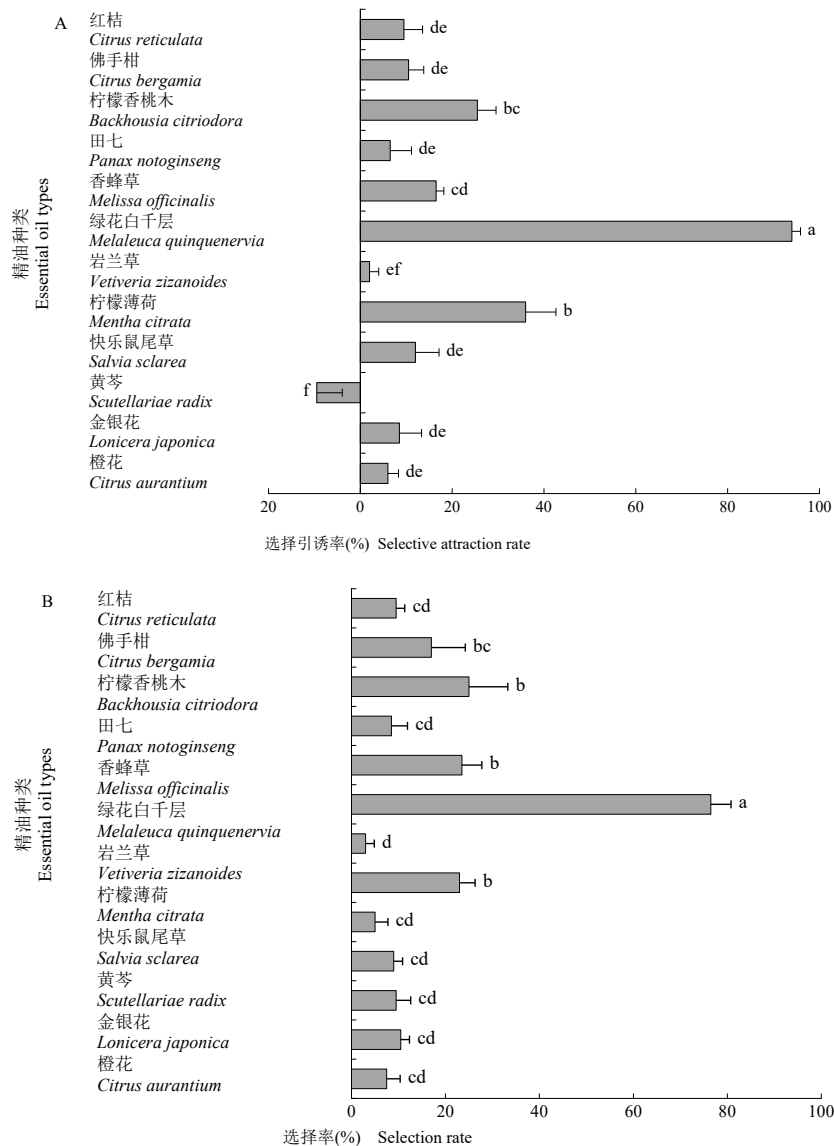


图2 诱捕法测定桔小实蝇性成熟成虫对不同植物精油的趋性

Fig. 2 Attractant of sexually mature *Bactrocera dorsalis* adults to different plant essential oils by a trapping method

注: A, 选择诱捕行为测试法测试12种精油引诱活性; B, 非选择诱捕行为测试法测试12种精油引诱活性。图中数据为平均值±标准误, 柱上不同字母表示经Duncan氏新复极差法检验在0.05水平差异显著。Note: A, Attractant activity of 12 essential oils was tested by a selective trapping behavior test; B, Attractant activity of 12 essential oils was tested by a non-selective trapping behavior test. Data in the figure were mean ± standard error, and different letters on the bars indicated significant differences at the 0.05 level tested by Duncan's new multiple range method.

### 2.3 不同浓度绿花白千层精油对桔小实蝇成虫的引诱活性

不同浓度的绿花白千层精油对桔小实蝇性成熟成虫均有一定的引诱作用(图3)。绿花白千层

精油在低浓度(6.25~50 mg/mL)时的引诱率较低。在100~400 mg/mL浓度范围内, 绿花白千层精油对成虫的引诱作用随着浓度的增加而明显增强, 200 mg/mL和400 mg/mL之间没有差异性, 但

200 mg/mL 绿花白千层精油相比于其他浓度对成虫的诱捕率最高 ( $84.00 \pm 3.02$ )%，200 mg/mL 与其他浓度的诱捕率相比差异性显著 ( $F = 188.426$ ,  $df = 6$ ,  $P < 0.001$ )。

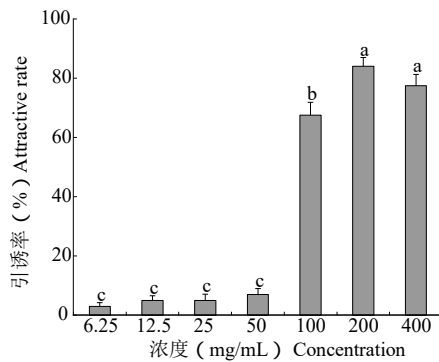


图3 不同浓度的绿花白千层精油对桔小实蝇的引诱效果  
Fig. 3 Attractant effect of *Melaleuca quinquenervia* essential oil at different concentrations on *Bactrocera dorsalis*

注：柱上字母不同者表示在0.05水平差异性显著 (Duncan氏新复极差法,  $P < 0.05$ )。图中数据为平均值±标准误。表4、表6同。Note: Different letters above the bars indicated significant differences at the 0.05 level (Duncan's new multiple range method,  $P < 0.05$ ). Data in the figure were mean ± standard error. Same to Fig. 4 and Fig. 6.

#### 2.4 桔小实蝇成虫不同日龄趋向绿花白千层精油的行为差异

绿花白千层精油对不同日龄桔小实蝇的引诱结果如图4所示, 在羽化2~16 d范围内, 随着成虫日龄的增加, 其对绿花白千层精油的趋性也逐渐增强。其中, 16 d成虫对200 mg/mL绿花白千层精油的趋性率最高, 高达 ( $91.50 \pm 1.70$ )%，与其他日龄成虫对绿花白千层精油的趋性相比差异性显著 ( $F = 8.213$ ,  $df = 9$ ,  $P < 0.001$ )。此外, 28 d和32 d的成虫对绿花白千层精油仍有较高的趋性, 分别为 ( $50.50 \pm 9.13$ )%和 ( $41.00 \pm 4.51$ )%。桔小实蝇日节律引诱率呈先上升后下降的趋势, 对16 d桔小实蝇引诱力最强。

#### 2.5 交配状态对桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油行为的影响

绿花白千层精油对已交配和未交配的桔小实蝇成虫引诱效果如图5所示, 结果表明, 交配后的桔小实蝇对绿花白千层精油的趋性显著高于未交配的桔小实蝇, 两者相比差异性极显著 ( $t = 7.826$ ,  $df = 1$ ,  $P < 0.001$ ), 表明绿花白千层精油对交配后的桔小实蝇更具引诱效果。

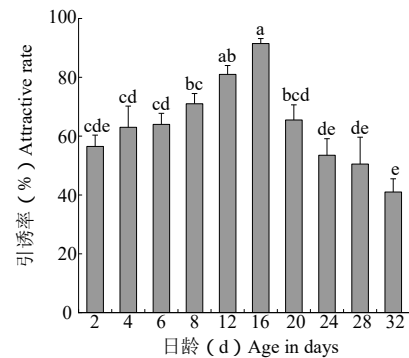


图4 绿花白千层精油对不同日龄的桔小实蝇引诱效果  
Fig. 4 Attractant effect of *Melaleuca quinquenervia* essential oil on *Bactrocera dorsalis* of different ages

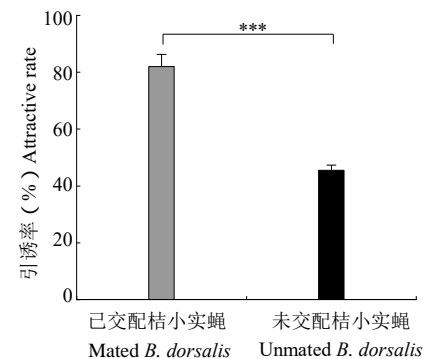


图5 绿花白千层精油对已交配和未交配的桔小实蝇引诱效果

Fig. 5 Attractant effect of *Melaleuca quinquenervia* essential oil on mated and unmated *Bactrocera dorsalis*

注：图中\*\*\*表示两组数据相比差异性极显著 ( $P < 0.001$ )。图中数据为平均值±标准误。Note: \*\*\* in the figure indicated highly significant difference between the two groups ( $P < 0.001$ ). Data in the figure were mean ± standard error.

#### 2.6 日节律对桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油的行为影响

桔小实蝇对精油的趋性所表现的日节律行为如图6所示, 结果表明, 桔小实蝇成虫在早上活动期 (9:00-11:00) 对绿花白千层精油的趋性最强 ( $51.50\% \pm 5.79\%$ ), 而在下午活动期 (13:00-15:00) 对绿花白千层精油的趋性最弱 ( $14.5\% \pm 2.78\%$ ) ( $F = 32.257$ ,  $df = 2$ ,  $P < 0.001$ )。

#### 2.7 饥饿和饥渴处理对桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油的行为影响

不同生理状态 (饥饿和饥渴) 对桔小实蝇性成熟成虫对绿花白千层精油的趋性影响如图7所示, 饥饿处理12h对桔小实蝇成虫趋向绿花白千层精油无显著影响 ( $t = 0.258$ ,  $df = 1$ ,  $P > 0.05$ ), 饥

渴处理与对照相比趋向绿花白千层精油也无显著影响 ( $t = 1.804$ ,  $df = 1$ ,  $P > 0.05$ )。

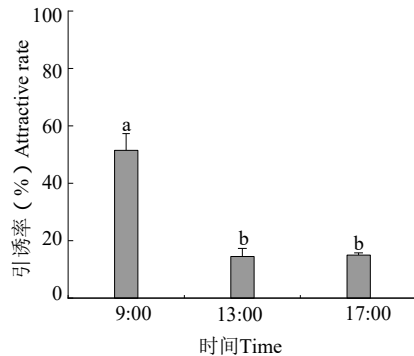


图6 桔小实蝇性成熟成虫对绿花白千层精油趋性的日节律行为差异

Fig. 6 Diurnal rhythm of the behavioral response of sexually mature *Bactrocera dorsalis* adult to *Melaleuca quinquenervia* essential oil

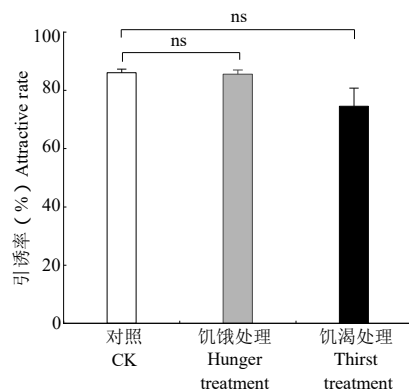


图7 绿花白千层精油对不同生理状况性成熟的桔小实蝇的引诱效果

Fig. 7 Attractant effect of *Melaleuca quinquenervia* essential oil on sexually mature *Bactrocera dorsalis* in different physiological conditions

注: CK为正常饲养条件下的桔小实蝇, 图中ns表示对照与处理数据之间无显著性差异 ( $P > 0.05$ )。图中数据为平均值 $\pm$ 标准误。Note: CK was *B. dorsalis* under normal feeding conditions, ns indicated no significant difference between control and treatment data ( $P > 0.05$ ). Data in the figure were mean  $\pm$  standard error.

### 3 结论与讨论

桔小实蝇是一种全球性的经济破坏性害虫, 危害多种瓜果蔬菜, 目前诱杀技术是防控桔小实蝇常用的策略 (杨永利, 2024)。昆虫识别环境中

的气味分子来做出相应的行为反应, 这些气味分子主要包括寄主植物、非寄主植物产生的挥发物, 以及昆虫本身的信息素 (郭腾达等, 2023)。其中, 植物挥发性化合物在害虫搜寻寄主、产卵的过程中起着举足轻重的作用 (Webster & Carde, 2017)。植物精油是一类重要的害虫绿色防控手段, 对环境友好且对害虫存在毒杀、引诱、驱避、胃毒和产卵驱避等有效活性。目前, 植物精油广泛用于生态调控剂和昆虫行为调节剂 (王玉赞等, 2010)。本研究表明, 200 mg/mL绿花白千层精油对桔小实蝇成虫具有强烈的引诱作用, 且对16 d性成熟的桔小实蝇引诱率最高。而昆虫的嗅觉行为会受刺激物质的浓度或计量而改变, 最适浓度下引诱效果最强, 这与刘美竹 (2023) 的研究结果一致。桔小实蝇成虫大约在羽化后10 d时性成熟 (Liu *et al.*, 2017; Deng *et al.*, 2021), 不同日龄的桔小实蝇对精油的引诱率呈先上升后下降的趋势, 16 d性成熟桔小实蝇引诱效果较强, 说明此日龄桔小实蝇感知外界物质最为敏感, 该结果与Liu *et al.* (2022) 的研究报道相同。未成熟的桔小实蝇大部分时间都在寻找蛋白质和糖来补充营养需求, 而性成熟的实蝇对性信息素具有较强的趋性 (Pagadala *et al.*, 2014)。在一天之中不同时段引诱桔小实蝇, 其中上午的引诱率明显高于下午和傍晚, 与Hu *et al.* (2022) 等研究结论一致, 性成熟实蝇在傍晚寻找异性交配, 在求偶交配时可能会暂停对引诱剂做反应, 而对性信息素做出反应 (Malacrida *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2018)。研究结果显示, 交配与未交配实蝇之间存在极显著差异, 饥饿和饥渴处理与对照相比并无显著性, 而昆虫对挥发性化学物的吸引力不仅取决于化学性质, 也随昆虫生理状态的变化而变化 (Liu *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2022)。此研究结果为桔小实蝇绿色防治提供了理论依据, 为加速研制桔小实蝇新型绿色引诱剂奠定了理论基础, 对植物源引诱剂的趋向规律和防控起着至关重要的作用。

在可持续发展的大环境趋势下, 研究无公害的植物源引诱剂, 并逐步取代化学农药是社会发展的必然结果, 开发对桔小实蝇具有引诱作用的化学物质对开发新型引诱剂具有重要的实践意义。植物源农药对环境友好且无污染, 且对实蝇天敌昆虫无毒杀效果, 不产生抗药性等问题, 符合可持续发展的理念。研究对桔小实蝇具有高效引诱

活性的植物精油可为该虫开发引诱剂提供参考。本研究发现绿花白千层精油对桔小实蝇具有强烈的引诱效果,同时明确了不同浓度、日龄、日节律、饥饿和饥渴以及不同生理状态下对桔小实蝇的引诱规律,对桔小实蝇防控具有一定的指导意义。目前,对桔小实蝇的防控还是以化学药剂防治和诱杀为主,应重视植物挥发物的开发和利用,研究出对桔小实蝇成虫具有引诱效果的高效引诱剂,为绿色高效防控实蝇奠定资源和技术基础。

### 参考文献 (References)

- Barud FJ, López S, Tapia A, *et al.* Attractant, sexual competitiveness enhancing and toxic activities of the essential oils from *Baccharis spartioides* and *Schinus polygama* on *Ceratitis capitata* Wiedemann [J]. *Industrial Crops and Products*, 2014, 62: 299–304.
- Deng SZ, Li XY, Wang ZM, *et al.* Assessment of 2-allyl-4, 5-dimethoxyphenol safety and attractiveness to mature males of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 223: 112567.
- Gao Y, Li HJ, Lu YY, *et al.* Behavioral responses of adult female *Bactrocera dorsalis* to the host volatile  $\beta$ -stigma-sterene [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2021, 43 (1): 253–259. [高扬, 李慧静, 陆永跃, 等. 桔小实蝇雌成虫对寄主挥发物 $\beta$ -石竹烯的行为反应 [J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (1): 253–259]
- Guo F, Zhao RN, Li TM, *et al.* Toxicidal and oviposition repellent effects of 10 plant essential oils on adult *Bactrocera dorsalis* [J]. *Journal of Mountain Agricultural Biology*, 2020, 39 (6): 63–66, 73. [郭峰, 赵如娜, 李太美, 等. 10种植物精油对桔小实蝇成虫的毒杀和产卵驱避作用研究 [J]. 山地农业生物学报, 2020, 39 (6): 63–66, 73]
- Guo TD, Gong QT, Ye BH, *et al.* Progress of domestic research on *Bactrocera dorsalis* [J]. *Deciduous Fruit Trees*, 2019, 51 (1): 43–46. [郭腾达, 宫庆涛, 叶保华, 等. 桔小实蝇的国内研究进展 [J]. 落叶果树, 2019, 51 (1): 43–46]
- Guo TD, Qin YJ, Li ZH. Progress in the selection and response of the solid fly family to host plants [J]. *Plant Protection*, 2023, 49 (5): 196–206. [郭腾达, 秦誉嘉, 李志红. 实蝇科昆虫对寄主植物的选择和响应研究进展 [J]. 植物保护, 2023, 49 (5): 196–206]
- Hu ZJ, Yang JW, Chen ZH, *et al.* Exploration of clove bud (*Syzygium aromaticum*) essential oil as a novel attractant against *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and its safety evaluation [J]. *Insects*, 2022, 13 (10): 918.
- Huang JF, Zhang YJ. Progress in the study of the *Bactrocera dorsalis* [J]. *Deciduous Fruit Trees*, 2023, 55 (1): 68–71, 3. [黄洁芳, 张永江. 桔小实蝇研究进展 [J]. 落叶果树, 2023, 55 (1): 68–71, 3]
- Jin MJ, Fan YJ, Teng ZW, *et al.* Chemical control measures and resistance management of *Bactrocera dorsalis* [J]. *Pesticide*, 2021, 60 (1): 1–5, 13. [金梦娇, 范银君, 滕子文, 等. 桔小实蝇的化学防治措施及抗性治理 [J]. 农药, 2021, 60 (1): 1–5, 13]
- Jin YX, Zhang DM, Xie CF, *et al.* Research progress on green control technology of *Bactrocera dorsalis* [J]. *Plant Quarantine*, 2022, 36 (3): 1–6. [金扬秀, 张德满, 谢传峰, 等. 桔小实蝇绿色防控技术研究进展 [J]. 植物检疫, 2022, 36 (3): 1–6]
- Li HL, Cui HC, Huang HT, *et al.* Studies on the touch and repellent effects of 11 plant essential oils on *Acaphylla theae* (Watt) [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (5): 247–251. [李红莉, 崔宏春, 黄海涛, 等. 11种植物精油对茶橙瘿螨的触杀和驱避作用研究 [J]. 植物保护, 2019, 45 (5): 247–251]
- Li Y, Jiang QG, Zhu JT, *et al.* Occurrence pattern of *Bactrocera dorsalis* on fruits and vegetables and its control methods [J]. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 2018, 1: 104–105, 112. [李燕, 蒋巧根, 朱江涛, 等. 桔小实蝇在果蔬上的发生规律及其防治方法 [J]. 上海农业科技, 2018, 1: 104–105, 112]
- Liang F, Liang GQ, Zhao JP, *et al.* An overview of the research on real fly attractants [J]. *Biohazard Science*, 2014, 37 (3): 204–210. [梁帆, 梁广勤, 赵菊鹏, 等. 实蝇引诱物的研究概况 [J]. 生物灾害科学, 2014, 37 (3): 204–210]
- Liu H, Chen ZS, Zhang DJ, *et al.* BdorOR88a modulates the responsiveness to methyl eugenol in mature males of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9: 368987.
- Liu H, Wang DD, Wan L, *et al.* Assessment of attractancy and safeness of (*E*)-coniferyl alcohol for management of female adults of Oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Pest Management Science*, 2022, 78 (3): 1018–1028.
- Liu H, Zhao XF, Fu L, *et al.* BdorOBP2 plays an indispensable role in the perception of methyl eugenol by mature males of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7 (1): 15894.
- Liu MZ. Trapping Effect of Volatiles from Nine Host Plants on *Bactrocera dorsalis* Females [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University Master's Thesis, 2023. [刘美竹. 九种寄主植物挥发物对橘小实蝇雌虫的诱集作用 [D]. 昆明: 云南农业大学硕士学位论文, 2023]
- Malacrida AR, Gomulski LM, Bonizzoni M, *et al.* Globalization and fruitfly invasion and expansion: the medfly paradigm [J]. *Genetica*, 2007, 131: 1–9.
- Pagadala Damodaram KJ, Kempraj V, Aurade RM, *et al.* Oviposition site-selection by *Bactrocera dorsalis* is mediated through an innate recognition template tuned to  $\gamma$ -octalactone [J]. *PLoS ONE*, 2014, 9 (1): e85764.
- Royer JE, Mille C, Cazerres S, *et al.* Isoeugenol, a more attractive male lure for the cue-lure-responsive pest fruit fly *Bactrocera curvipennis* (Diptera: Tephritidae: Dacinae), and new records of species responding to zingerone in New Caledonia [J]. *Journal of Economic Entomology*, 2019, 112 (3): 1502–1507.
- Shen JM, Ling ZQ, Lu YY, *et al.* Attraction of grapefruit mature fruit odor to *Bactrocera dorsalis* females and its chemical composition [J]. *Southern China Fruit Tree*, 2017, 46 (6): 34–36. [申建梅, 凌志强, 陆永跃, 等. 葡萄柚成熟果实气味对桔小实蝇雌虫的引诱及其化学成分 [J]. 中国南方果树, 2017, 46 (6): 34–36]

- Tao Y. Screening of Olfactory Receptors for the Sensory Spawning Elicitor  $\beta$ -stilbene in *Bactrocera dorsalis* [D]. Chongqing: Master's Thesis, Southwest University, 2023. [陶勇. 桔小实蝇感受产卵引诱物质 $\beta$ -石竹烯的嗅觉受体筛选[D]. 重庆: 西南大学硕士论文, 2023]
- Tu HL, Gao XB, Yu YB, et al. Poisoning and repellent effects of four plant essential oils on *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Plant Protection*, 2024, 50 (1): 177-182, 194. [涂华龙, 高旭渊, 于永浩, 等. 4种植物精油对瓜实蝇毒杀及驱避作用[J]. 植物保护, 2024, 50 (1): 177-182, 194]
- Wang B, Ji QE, Yang JQ, et al. Bioassay of protein bait for the *Bactrocera dorsalis* [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University* (Natural Science Edition), 2010, 25 (4): 483-486, 505. [王波, 季清娥, 杨建全, 等. 橘小实蝇蛋白饵剂的生物测定[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2010, 25 (4): 483-486, 505]
- Wang LY, Luo YP, Lu YQ, et al. Studies on the behavioral response of 23 plant essential oils to *Bactrocera dorsalis* [J]. *Journal of Tropical Crops*, 2011, 32 (12): 2336-2339. [王兰英, 骆焱平, 卢远倩, 等. 23种植物精油对橘小实蝇的行为反应研究[J]. 热带作物学报, 2011, 32 (12): 2336-2339]
- Wang YZ, Ling B, Lu YY, et al. Oviposition avoidance of *Bactrocera dorsalis* by several plant essential oils [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2010, 31 (2): 22-27. [王玉赞, 凌冰, 陆永跃, 等. 几种植物精油对桔小实蝇的产卵忌避作用[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31 (2): 22-27]
- Webster B, Carde RT. Use of habitat odour by host-seeking insects [J]. *Biol. Rev.*, 2017, 92 (2): 1241-1249.
- Wu WY, Chen YP, Yang EC. Chromatic cues to trap the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* [J]. *Journal of Insect Physiology*, 2007, 53 (5): 509-516.
- Xi H, Liu X, Shu HJ, et al. Progress of push-pull strategy in the control of *Bactrocera dorsalis* [J]. *Pesticide*, 2019, 58 (4): 245-249. [席涵, 刘秀, 舒海娟, 等. 推拉策略在桔小实蝇防治中的研究进展[J]. 农药, 2019, 58 (4): 245-249]
- Xiang Q, Yang WP, Yu JX, et al. Studies on the oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* to pomegranate [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2022, 44 (5): 1308-1318. [项前, 杨卫平, 于金鑫, 等. 桔小实蝇对石榴的产卵偏好性研究[J]. 环境昆虫学报, 2022, 44 (5): 1308-1318]
- Yang NW, Li AL. Progress in the application of plant essential oils for pest control [J]. *Plant Protection*, 2007, 34 (6): 16-21. [杨念婉, 李艾莲. 植物精油应用于害虫防治研究进展[J]. 植物保护, 2007, 34 (6): 16-21]
- Yang QY. Studies On The Behavioral Response of *Bactrocera dorsalis* to Volatile Components of Protein Baits [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, Master's Thesis, 2016. [杨晴阳. 橘小实蝇对蛋白饵剂挥发性成分的行为反应研究[D]. 福州: 福建农林大学硕士论文, 2016]
- Yang X, Wang ZG, Yu S, et al. Repellent/attractant activity of seven plant essential oils against *Drosophila melanogaster* and their chemical composition analysis [J]. *Plant Protection*, 2021, 47 (6): 190-195, 212. [杨雪, 王照国, 余帅, 等. 7种植物精油对黑腹果蝇驱避/引诱活性及其化学成分分析[J]. 植物保护, 2021, 47 (6): 190-195, 212]
- Yang YL, Li GZ, Zhu LY, et al. Comparison of the trapping effect of eight solid fly attractant products on adult *Bactrocera dorsalis* in mango orchards [J]. *Sichuan Agricultural Science and Technology*, 2024, 2: 53-56. [杨永利, 李桂珍, 朱俐遐, 等. 8种实蝇诱剂产品对芒果园桔小实蝇成虫诱杀效果比较[J]. 四川农业科技, 2024, 2: 53-56]
- Yuan HB, Li YS, Zhao XY, et al. Fumigation and repellent activity of three essential oils against adult *Callosobruchus chinensis* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2017, 39 (1): 28-31. [袁海滨, 李玉双, 赵欣阳, 等. 3种植物精油对绿豆象成虫的熏蒸及驱避活性[J]. 吉林农业大学学报, 2017, 39 (1): 28-31]