



杨洁, 尹伊秀娟, 王丽娟, 李国平, 李裕展, 徐建欣, 高冠群, 詹儒林, 王姝逸. 非寄主植物精油对桔小实蝇的驱避效果研究 [J]. 环境昆虫学报, 2024, 46 (5): 1213 - 1223. YANG Jie, YIN Yi-Xiu-Juan, WANG Li-Juan, LI Guo-Ping, HU Yong-Hua, LI Yu-Zhan, XU Jian-Xin, GAO Guan-Qun, ZHAN Ru-Lin, WANG Shu-Yi. Repellent effect of essential oil from non-host plants against *Bactrocera dorsalis* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2024, 46 (5): 1213 - 1223.

## 非寄主植物精油对桔小实蝇的驱避效果研究

杨洁<sup>1,3\*</sup>, 尹伊秀娟<sup>5\*</sup>, 王丽娟<sup>4</sup>, 李国平<sup>6</sup>, 李裕展<sup>1</sup>,  
徐建欣<sup>3</sup>, 高冠群<sup>3</sup>, 詹儒林<sup>2\*\*</sup>, 王姝逸<sup>7</sup>

(1. 中国热带农业科学院湛江实验站, 广东湛江 524013; 2. 中国热带农业科学院三亚研究院, 海南三亚 572024;  
3. 天津市农业科学院信息研究所, 天津 300192; 4. 天津农学院园艺园林学院, 天津 300384; 5. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱 665099;  
6. 中国热带农业科学院南亚热带作物研究所, 广东湛江 524091; 7. 天津市农业发展服务中心, 天津 300061)

**摘要:** 桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 幼虫期隐蔽性的取食习性降低了化学防治的效果, 而普遍存在的杀虫剂耐药性则加剧了这一问题。利用非寄主植物挥发物驱避害虫是替代化学防治、有效控制虫害的策略之一。为了筛选更有效的植物源产卵驱避剂, 本研究选取 23 种非寄主植物精油作为候选材料, 进行 4 轮试验, 首先采用行为趋向反应试验, 筛选出 8 种驱避率较高且选择反应率和驱避反应率差异极显著 ( $P<0.01$ ) 的非寄主植物精油: 绿花白千层、山鸡椒、广藿香、当归、茶树、茴香、薄荷、艾草; 然后通过产卵驱避活性试验, 筛选出 4 种驱避率高且处理组与对照组的产卵量差异极显著 ( $P<0.01$ ) 的植物精油: 绿花白千层、广藿香、当归、茶树。浓度梯度试验表明, 浓度为 5 000  $\mu\text{g/mL}$  时, 绿花白千层、广藿香、当归驱避率最高, 浓度为 3 000  $\mu\text{g/mL}$  时, 茶树精油驱避率最高; 在最佳浓度下对桔小实蝇产卵驱避持效性分析, 结果表明最佳浓度下 4 种精油处理过的果实, 随着时间延长, 桔小实蝇产卵孔和产卵量逐渐增加, 驱避率逐渐降低, 驱避产卵活性逐渐消失, 前 3 d 降速较快, 然后逐渐放缓。本研究通过行为趋向反应试验、产卵驱避活性试验、浓度梯度试验和驱避活性持效试验, 从 23 种非寄主植物精油中, 筛选到绿花白千层精油对桔小实蝇有较高的产卵驱避活性, 通过剂型改良等措施有望开发成植物源驱避剂。

**关键词:** 桔小实蝇; 精油; 非寄主植物; 产卵驱避; 驱避持效期

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2024) 05-1213-11

## Repellent effect of essential oil from non-host plants against *Bactrocera dorsalis*

YANG Jie<sup>1,3\*</sup>, YIN Yi-Xiu-Juan<sup>5\*</sup>, WANG Li-Juan<sup>4</sup>, LI Guo-Ping<sup>6</sup>, LI Yu-Zhan<sup>1</sup>, XU Jian-Xin<sup>3</sup>, GAO Guan-Qun<sup>3</sup>, ZHAN Ru-Lin<sup>2\*\*</sup>, WANG Shu-Yi<sup>7</sup> (1. Zhanjiang Experimental Station, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524013, Guangdong Province, China; 2. Sanya Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Sanya 572024, Hainan Province, China; 3. Institute of Information Science, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300192, China; 4. College of Horticulture and Landscape Architecture, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384; 5. Tropical Crops College, Yunnan Agricultural University, Pu'er 665099, Yunnan Province, China; 6. South Subtropical Crops Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Zhanjiang 524013, Guangdong Province, China; 7. Tianjin Agricultural Development Service Center, Tianjin 300061, China)

**Abstract:** The hidden feeding habits of *Bactrocera dorsalis* in larval stage reduce the efficiency of chemical

基金项目: 海南省自然科学基金 (321QN0941); 三亚市科技创新专项项目 (2022KJXCX20)

\*共同第一作者: 杨洁, 女, 博士, 助理研究员, 主要从事农业害虫生物防治与植物源农药研究与应用方面研究, E-mail: yangjie418529@163.com;

尹伊秀娟, 女, 硕士研究生, 主要从事植物源农药研究与应用方面研究, E-mail: yinyixiujuan427327@163.com

\*\*通讯作者 Author for correspondence: 詹儒林, 男, 博士, 研究员, 主要从事热带作物病虫害绿色防控研究, E-mail: zhanrulin555@163.com

收稿日期 Received: 2023-07-11; 接受日期 Accepted: 2024-04-01

control, which is exacerbated by the widespread insecticide resistance. In order to develop more fertile repellent plant sources, four rounds of experiments were conducted on 23 non-host plant essential oils selected as candidate materials. First, eight non-host essential oils with high repellent rate and significant difference between selection response rate and repellent response rate ( $P < 0.01$ ) were selected by behavioral tactic response experiment, which included *Melaleuca viridiflora*, *Litsea cubeba*, *Pogostemon cablin*, *Angelica sinensis*, *Melaleuca alternifolia*, *Foeniculum vulgare*, *Mentha canadensis*, *Artemisia argyi*. Then, through the oviposition repellent activity experiment, four plant essential oils with high repellent rate and extremely significant difference ( $P < 0.01$ ) between the treatment group and the control group were further screened. Then through the concentration gradient experiment, the repellent rate of *M. viridiflora*, *P. cablin*, *A. sinensis* was the highest when the concentration was 5 000  $\mu\text{g/mL}$ . When the concentration was 3 000  $\mu\text{g/mL}$ , the repellent rate of *M. alternifolia* essential oil was the highest. Finally, the oviposition repellent effect of *B. dorsalis* was analyzed at the optimal concentration. The results showed that the oviposition holes and oviposition amount of *B. dorsalis* were increased gradually, the repellent rate was decreased gradually, and the repellent oviposition activity of *B. dorsalis* was disappeared gradually with the propioning time of the fruits treated with the four essential oils at the optimal concentration. The rate of decline was faster in the first 3 days and then slowed down gradually. On the whole, *M. viridiflora* essential oil shows better performance in all aspects, and have higher oviposition repellent activity against *B. dorsalis*. It is expected to be developed into plant repellent agents in the future through the improvement measures.

**Key words:** *Bactrocera dorsalis*; essential oil; non-host plant; oviposition repellent; duration of repellent holding

桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 属双翅目 Diptera 实蝇科 Trypetidae 果实蝇属 *Bactrocera*。桔小实蝇广泛分布于华南、西南等 9 省区。已有向北扩散的趋势, 目前桔小实蝇在中国的分布已经远超预测, 河南(毛红彦等, 2019)、河北(尹英超等, 2014)、山西(武浩, 2016)、山东(宋来庆等, 2019)、陕西(张南, 2016)、湖北(张振宇等, 2018)、安徽(金思明等, 2013)、北京(王晓梅等, 2016)、上海(陈连根等, 2010)、西藏(王俊伟等, 2010) 等省(市/自治区)已有分布。桔小实蝇寄主范围广, 主要为害柑橘 *Citrus reticulata* Blanco、芒果 *Mangifera indica* L.、杨桃 *Averrhoa carambola* L.、番石榴 *Psidium guajava* Linn.、辣椒 *Capsicum annum* L.、丝瓜 *Luffa aegyptiaca* Miller、枣 *Ziziphus jujuba* Mill.、梨 *Pyrus* spp.、无花果 *Ficus carica* Linn. 等百余种蔬菜和水果(Clark et al., 2005)。其危害方式主要是雌虫产卵于寄主果实内, 孵化后的幼虫蛀食果肉造成果实腐烂, 未熟先落, 严重影响果实产量(方薛交等, 2017)。目前防控桔小实蝇的主要措施有化学喷施、诱杀(赵菊鹏等, 2017)和水果套袋(陈景辉, 2004)等。

实蝇幼虫隐蔽性的取食习性降低了化学防治的效率, 而普遍存在的杀虫剂耐药性则加剧了这一

问题(金梦娇等, 2021)。桔小实蝇行为调控技术中, 引诱剂的研究和应用较为广泛, 其中甲基丁香酚的诱集效果较好, 但只能诱集雄虫, 而且引诱剂会把原本不属于本作物的害虫引诱过来造成危害, 所以将来的发展方向应该是引诱剂与驱避剂结合使用, 达到控制虫口密度的目的, 即“推—拉”策略。截至目前尚未有商品化的桔小实蝇驱避剂, 因此研发新型、绿色昆虫行为调控剂势在必行。

植物与昆虫在长期协同进化过程中, 植物释放的化学物质对昆虫产生化学效应, 植物精油对某些昆虫有驱避作用, 同时还有抑制微生物和杀菌的作用(徐汉虹, 2001)。闻名于世的驱虫植物有除虫菊 *Tanacetum cinerariifolium*、印楝 *Azadirachta indica*、鱼藤 *Derris trifoliata*、苦皮藤 *Celastrus angulatus*、雷公藤 *Tripterygium wilfordii*、曼陀罗 *Dature Stramonium*、巴豆 *Croton tiglium*、蛇床 *Cnidium monnieri* 等(吴文君等, 2021)。印楝有很强的驱避活性, 在浓度 4% 时, 对桔小实蝇产卵驱避效果显著, 达到了 96.7% (Chen et al., 1996)。多项研究表明植物精油对烟草甲 *Lasioderma serricorne* (王秀芳等, 2011)、绿豆象 *Callosobruchus chinensis* (袁海滨等, 2017)、蓝莓果蝇 *Drosophila melanogaster* (陈哲等, 2016)、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (赵娜

娜等, 2019) 等害虫有触杀和驱避作用。郭峰等 (2021) 采用超声提取法制备了紫茎泽兰 *Ageratina adenophora*、臭椿 *Ailanthus altissima*、菖蒲 *Acorus calamus*、青蒿 *Acorus calamus*、臭牡丹 *Clerodendrum bungei*、樟树 *Cinnamomum camphora* 等 6 种植物乙醇提取物, 并测定提取物对桔小实蝇成虫的毒杀和产卵驱避活性, 发现紫茎泽兰、青蒿、臭椿和菖蒲的乙醇提取物均对桔小实蝇成虫有较强的毒杀作用。

目前, 植物精油或者植物提取物对桔小实蝇的驱避、触杀作用已有研究 (欧剑峰等, 2005; 林海清等, 2008; 欧阳革成等, 2008; 王玉赞等, 2010; 袁伊旻和张宏宇, 2011; 胡黎明等, 2012; 李智伟等, 2017; Jaleel *et al.*, 2020; 郭峰等, 2020), 但市面上没有成熟的桔小实蝇驱避剂产品, 因此, 还需继续发掘更为有效的驱避植物及其组分。本研究选取不同科、属的 23 种非寄主植物精油, 采用三臂嗅觉仪进行桔小实蝇行为趋向反应, 采用喷雾法进行产卵驱避活性分析, 并设置浓度梯度, 探讨植物精油的剂量效应, 最后在植物精油的最佳浓度下开展持效性研究, 以期筛选出能够驱避桔小实蝇的植物精油, 为研发植物源驱避剂奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试成虫

从中国热带农业科学院亚热带作物研究所植物园采集受害芒果 (品种为‘热农 6 号’) 落果, 带回试验室, 放置于装有消毒的湿润沙土的保鲜盒中让老熟的幼虫跳出化蛹 (沙土的湿度保持在 75% 左右, 即用手捏无水滴渗出, 成团松开后能分散落下为宜)。羽化后的成虫要隔离饲养, 相近日龄的雌雄成虫可共同饲养, 增加交配率。然后取 20 日龄以上成熟成虫开展试验。

#### 1.1.2 仪器设备与试剂

HFM3-150 昆虫嗅觉仪又称三臂嗅觉仪, 上海贺帆仪器有限公司; 6 W 的 LED 灯, 奥其斯科技股份有限公司; 万分之一天平 (BS210S), 德国 Syntech; 抽滤真空泵 (RS-1), 上海贺帆仪器有限公司; 超声波清洗机; 小型喷雾器; 滤纸; 烧杯; 三角瓶等。

使用的香茅 *Mosla chinensis*、尤加利 *Eucalyptus globulus*、薄荷 *Mentha haplocalyx*、山鸡椒 *Litsea cubeba*、柠檬马鞭草 *Aloysia citriodora*、玫瑰木 *Rhodamnia dumetorum*、快乐鼠尾草 *Salvia sclarea*、佛手柑 *Citrus medica*、姜 *Zingiber officinale*、广藿香 *Pogostemon cablin*、茶树 *Melaleuca alternifolia*、黑胡椒 *Piper Nigrum*、罗勒 *Ocimum basilicum*、岩兰草 *Vetiveria zizanioides*、绿花白千层 *Melaleuca viridiflora*、天竺葵 *Pelargonium hortorum*、茴香 *Foeniculum vulgare*、艾草 *Artemisia argyi*、当归 *Angelica sinensis*、柠檬草 *Cymbopogon citratus*、丁香 *Syzygium aromaticum*、肉桂 *Cinnamomum cassia* 和透骨草 *Phryma leptostachya* 23 种植物精油均采购于广州恒芳生物科技有限公司; 丙酮 (分析纯) 为市售。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 桔小实蝇对非寄主植物精油的行为趋向反应

进行趋向反应试验, 三臂嗅觉仪由 1 个抽气泵, 1 个昆虫活动室 (三臂), 3 个味源瓶 (梨形玻璃瓶), 3 个加湿瓶, 1 个玻璃转子流量计, 3 个干燥塔 (活性炭) 这 6 个部分组成。各部件间用医用硅胶管连接。昆虫活动室内有 3 个基臂, 每个臂长 23 cm, 两臂夹角 45°。每次试验放入 10 头桔小实蝇成虫, 每个处理进行 3 次重复。在味源瓶 1 内加入稀释精油 (5 000 μg/mL) 与 1 号臂相连, 味源瓶 2 内加入对照稀释剂 (丙酮) 与 2 号臂相连, 味源瓶 3 与 3 号臂相连为空白对照。检查仪器畅通后打开抽气泵, 仪器内空气流速控制在 0.2 L/min。5 min 后关闭抽气泵并观察记录桔小实蝇驱避情况。桔小实蝇停留在 3 号臂视为无反应, 停留在 2 号臂为驱避反应, 停留在 1 号臂为选择性反应。试验时间选择在 14:00-18:00 的昆虫日活跃期。试验温度 25°C±3°C, 室内空气湿度为 75%±15%。试验时放置稳定光源于仪器上方以排除桔小实蝇趋光性的影响。每次试验后用 75% 乙醇冲洗昆虫活动室并用吹风机吹干以排除气味残留对下一次试验的影响。

桔小实蝇成虫对不同供试精油的选择反应率和驱避反应率的计算公式 (丁红建等, 1996) 如下:

$$\text{反应率 (\%)} = \frac{\text{味源管中虫数} + \text{对照管中虫数}}{\text{测试虫总数}} \times 100$$

$$\text{选择反应率 (\%)} = \frac{\text{味源管中虫数}}{\text{测试虫总量}} \times 100$$

$$\text{驱避反应率 (\%)} = \frac{\text{对照管中虫数}}{\text{测试虫总量}} \times 100$$

### 1.2.2 非寄主植物精油对桔小实蝇的产卵驱避效应

采用果实喷雾法筛选对桔小实蝇产卵具有驱避作用的植物精油。本研究以芒果作为产卵对象,丙酮作为溶剂(空白对照 CK 就是相应浓度的丙酮溶液),稀释成不同浓度(1 000  $\mu\text{g/mL}$ 、3 000  $\mu\text{g/mL}$ 、5 000  $\mu\text{g/mL}$ )溶液喷施于果实表面,晾干,然后悬挂于养虫笼对角线,同时放入性成熟的成虫 10 对,24 h 后取出芒果果实,统计产卵量。每个处理设置 3 个重复。

### 1.2.3 非寄主植物精油驱避桔小实蝇在果实上产卵持效性

通过上述浓度梯度筛选,将最佳浓度喷施于芒果果实表面,晾干,放入收纳盒(注意不盖盖子),与空气完全接触,模拟自然环境。接下来的第 1、2、3、4、5、6、7 天分别取出芒果果实,将处理组和对照组分别放入养虫笼,24 h 后统计产卵量,每个处理设置 3 个重复。

产卵驱避率(%) (选择性试验) = [(对照组产卵量 - 处理组产卵量) / (对照组产卵量 + 处理组产卵量)]  $\times 100$

综上所述数据在软件 SPSS 20.0 和 Microsoft Excel 2010 中计算完成,不同植物精油对成虫的选择和驱避作用之间差异的显著性用 *t* 检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 23 种非寄主植物精油对桔小实蝇的行为趋向反应

23 种非寄主植物精油对桔小实蝇的行为趋向反应结果如表 1 所示,供试植物精油对桔小实蝇均有驱避作用,且行为反应差别较大。*t* 检验结果表明,桔小实蝇对绿花白千层、茶树、广藿香、薄荷、山鸡椒、姜、茴香、艾草、当归、丁香、肉桂 11 种植物精油的选择反应率和驱避反应率之间存在极显著差异 ( $P < 0.01$ );对香茅、快乐鼠尾草、柠檬马鞭草、玫瑰木、罗勒、佛手柑、尤加利、岩兰草、

柠檬草、天竺葵、透骨草 11 种植物精油的选择反应率和驱避反应率之间存在显著差异 ( $0.01 < P < 0.05$ );对黑胡椒精油差异不显著 ( $P > 0.05$ )。驱避效果最好的是绿花白千层精油,驱避率为 96.67%,其后依次是山鸡椒、广藿香、当归、茶树、茴香、艾草、薄荷、岩兰草、柠檬马鞭草、佛手柑、罗勒,驱避率分别是 92.67%、90.9%、90.9%、87.5%、83.33%、83.33%、80%、80%、77.8%、76.67%、75%,驱避率最低的是柠檬草和透骨草,仅为 43.33%。然后选择驱避率 75% 以上且选择反应率和驱避反应率之间存在极显著差异的 8 种植物精油继续做产卵驱避试验,即绿花白千层、山鸡椒、广藿香、当归、茶树、茴香、薄荷、艾草精油。

### 2.2 8 种非寄主植物精油对桔小实蝇的产卵驱避活性分析

通过 2.1 行为趋向反应试验,从 23 种非寄主植物精油中筛选了 8 种驱避效果较好的做产卵驱避试验,经喷雾法处理 24 h 后,统计产卵量,结果详见表 2。处理组的产卵孔与产卵量均低于对照组,这说明这 8 种非寄主植物精油对桔小实蝇均具有驱避活性,其中绿花白千层、广藿香、薄荷、茶树、艾草、当归、山鸡椒这 7 种植物精油的处理组与对照组的产卵量差异极显著 ( $P < 0.01$ ),茴香精油差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ )。产卵驱避率最高的是绿花白千层精油,为 63.42%,其后依次是茶树精油、广藿香精油、当归精油,分别为 44.04%、43.77%、42.28%。

### 2.3 不同浓度的 4 种非寄主植物精油对桔小实蝇产卵驱避活性分析

基于 2.2 产卵驱避试验结果,驱避率较高且处理组与对照组的产卵量差异极显著 ( $P < 0.01$ ) 的是绿花白千层、茶树、广藿香、当归这 4 种非寄主植物精油。为了摸索这 4 种植物精油的剂量效应,利用选择性试验进行生物测定,结果如表 3 所示,绿花白千层、广藿香、当归存在剂量效应,即浓度越高驱避率越高,均是浓度为 5 000  $\mu\text{g/mL}$  时,驱避率最高,分别为 75.21%、54.24%、54.16%,茶树精油在浓度为 3 000  $\mu\text{g/mL}$  时,驱避率最高,为 53.66%。处理组与对照组的产卵量除了 3 000  $\mu\text{g/mL}$  浓度的茶树精油是显著差异 ( $0.01 < P < 0.05$ ),其余均是极显著差异 ( $P < 0.01$ )。

表 1 桔小实蝇对 23 种非寄主植物精油的趋向反应  
Table 1 Behavioral responses of *Bactrocera dorsalis* to 23 non-host plant essential oils

序号 Number	植物精油 Essential oil	反应率 (%) Reaction rate	选择反应率 (%) Selective response rate	驱避反应率 (%) Repellency	差异显著性 Significance of difference
1	香茅 <i>Mosla chinensis</i>	72.24	16.67	55.57	*
2	快乐鼠尾草 <i>Salvia sclarea</i>	90.00	20.00	70.00	*
3	柠檬马鞭草 <i>Aloysia citriodora</i>	100.00	22.20	77.80	*
4	玫瑰木 <i>Rhodamnia dumetorum</i>	90.00	20.00	70.00	*
5	绿花白千层 <i>Melaleuca viridiflora</i>	100.00	3.33	96.67	**
6	广藿香 <i>Pogostemon cablin</i>	100.00	9.10	90.90	**
7	薄荷 <i>Mentha haplocalyx</i>	86.67	6.67	80.00	**
8	罗勒 <i>Ocimum basilicum</i>	95.83	20.83	75.00	*
9	山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	98.67	6.00	92.67	**
10	尤加利 <i>Eucalyptus globulus</i>	83.34	26.67	56.67	*
11	佛手柑 <i>Citrus medica</i>	90.00	13.33	76.67	*
12	姜 <i>Zingiber officinale</i>	70.00	6.67	63.33	**
13	黑胡椒 <i>Piper Nigrum</i>	86.66	33.33	53.33	
14	茶树 <i>Melaleuca alternifolia</i>	91.67	4.17	87.50	**
15	岩兰草 <i>Vetiveria zizanoides</i>	100.00	20.00	80.00	*
16	柠檬草 <i>Cymbopogon citratus</i>	60.00	16.67	43.33	*
17	茴香 <i>Foeniculum vulgare</i>	83.33	0.00	83.33	**
18	艾草 <i>Artemisia argyi</i>	90.00	6.67	83.33	**
19	当归 <i>Angelica sinensis</i>	100.00	9.10	90.90	**
20	丁香 <i>Syzygium aromaticum</i>	73.33	13.33	60.00	**
21	天竺葵 <i>Pelargonium hortorum</i>	80.00	16.67	63.33	*
22	肉桂 <i>Cinnamomum cassia</i>	90.00	30.00	60.00	**
23	透骨草 <i>Phryma leptostachya</i>	46.66	3.33	43.33	*

注: “\*”表示差异显著 ( $P<0.05$ ,  $t$  检验); “\*\*”表示差异极显著 ( $P<0.01$ ,  $t$  检验), 下同。Note: “\*” indicated significant difference ( $P<0.05$ ,  $t$ -test); “\*\*” indicated very significant difference ( $P<0.01$ ,  $t$ -test), the same below.

表 2 8 种非寄主植物精油对桔小实蝇的产卵驱避活性分析  
Table 2 Repellent effect of 8 non-host plant essential oils against *Bactrocera dorsalis*

植物精油 Essential oil	产卵孔 (个) Spawning holes		产卵量 (粒) Fecundity		产卵驱避率 (%) Repellency
	处理 Treat	对照 CK	处理 Treat	对照 CK	
茴香 <i>Foeniculum vulgare</i>	5.00 ± 0.58**	8.33 ± 0.33	63.33 ± 2.60*	78.33 ± 4.33	10.59
绿花白千层 <i>Melaleuca viridiflora</i>	2.67 ± 0.33**	8.67 ± 0.33	25.67 ± 3.38**	114.67 ± 6.36	63.42
广藿香 <i>Pogostemon cablin</i>	3.67 ± 0.33**	8.33 ± 0.67	35.33 ± 2.40**	90.33 ± 6.23	43.77
薄荷 <i>Mentha haplocalyx</i>	4.33 ± 1.20	7.67 ± 0.67	57.67 ± 2.33**	80.67 ± 3.18	16.63
茶树 <i>Melaleuca alternifolia</i>	4.00 ± 0.00**	9.33 ± 0.33	40.67 ± 1.76**	104.67 ± 5.04	44.04
艾草 <i>Artemisia argyi</i>	5.00 ± 0.58**	8.00 ± 0.00	56.67 ± 1.67**	86.67 ± 3.93	20.93
当归 <i>Angelica sinensis</i>	3.33 ± 0.33**	9.00 ± 0.58	38.00 ± 4.04**	93.67 ± 9.82	42.28
山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	4.33 ± 0.33**	8.00 ± 0.58	44.00 ± 3.21**	84.67 ± 5.90	31.61

表 3 4 种非寄主植物精油不同浓度对桔小实蝇的产卵驱避活性分析  
Table 3 Repellent effect of 4 non-host plant essential oils against *Bactrocera dorsalis* at different concentrations

植物精油 Essential oil	浓度 ( $\mu\text{g/mL}$ ) Concentration	处理 Treat		对照 CK		产卵驱避率 (%) Repellency
		产卵孔 (个) Spawning holes	产卵量 (粒) Fecundity	产卵孔 (个) Spawning holes	产卵量 (粒) Fecundity	
绿化白千层 <i>Melaleuca viridiflora</i>	1 000.00	2.67 $\pm$ 0.33	25.67 $\pm$ 3.38**	8.67 $\pm$ 0.33	114.67 $\pm$ 6.36	63.42
	3 000.00	1.33 $\pm$ 0.33	12.67 $\pm$ 2.33**	3.33 $\pm$ 0.33	70.33 $\pm$ 7.86	69.47
	5 000.00	2.00 $\pm$ 0.00	9.67 $\pm$ 1.45**	6.33 $\pm$ 0.88	68.33 $\pm$ 7.69	75.21
广藿香 <i>Pogostemon cablin</i>	1 000.00	3.67 $\pm$ 0.33	35.33 $\pm$ 2.40**	8.33 $\pm$ 0.67	90.33 $\pm$ 6.23	43.77
	3 000.00	2.33 $\pm$ 0.33	17.00 $\pm$ 2.08**	5.33 $\pm$ 0.88	54.33 $\pm$ 6.39	52.33
	5 000.00	2.33 $\pm$ 0.33	18.00 $\pm$ 2.08**	6.33 $\pm$ 0.54	60.67 $\pm$ 7.26	54.24
茶树 <i>Melaleuca alternifolia</i>	1 000.00	4.00 $\pm$ 0.00	40.67 $\pm$ 1.76**	9.33 $\pm$ 0.33	104.67 $\pm$ 5.04	44.03
	3 000.00	2.67 $\pm$ 0.33	19.00 $\pm$ 3.21*	6.33 $\pm$ 0.67	63.00 $\pm$ 9.02	53.66
	5 000.00	2.33 $\pm$ 0.33	23.00 $\pm$ 2.31**	6.00 $\pm$ 0.58	60.00 $\pm$ 4.36	44.58
当归 <i>Angelica sinensis</i>	1 000.00	3.33 $\pm$ 0.33	38.00 $\pm$ 4.04**	9.00 $\pm$ 0.58	93.67 $\pm$ 9.82	42.28
	3 000.00	2.33 $\pm$ 0.33	21.67 $\pm$ 1.76**	6.00 $\pm$ 0.58	56.33 $\pm$ 5.61	44.44
	5 000.00	2.33 $\pm$ 0.33	14.67 $\pm$ 1.45**	5.00 $\pm$ 0.02	49.33 $\pm$ 1.86	54.16

注: 表中数据为平均数 $\pm$ 标准误。Note: Data in the table were mean  $\pm$  standard error.

#### 2.4 4 种非寄主植物精油最佳浓度下对桔小实蝇产卵驱避持效性分析

基于 2.3 的浓度梯度产卵驱避试验结果, 选取 4 种非寄主植物精油的最佳浓度进行桔小实蝇产卵驱避持效性试验, 即绿花白千层、当归、广藿香植物精油浓度为 5 000  $\mu\text{g/mL}$ , 茶树精油为 3 000  $\mu\text{g/mL}$ 。经最佳浓度的 4 种精油处理过的果实, 随着时间延长, 产卵孔和产卵量逐渐增加, 驱避率逐渐降低, 驱避产卵活性逐渐消失。

桔小实蝇在芒果果实上产卵孔因不同精油处理有所差异。经 5 000  $\mu\text{g/mL}$  绿花白千层精油处理过的前 3 d 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 第 4 天差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ), 第 5、6、7 天差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 1); 经 3 000  $\mu\text{g/mL}$  茶树精油和 5 000  $\mu\text{g/mL}$  广藿香精油处理过的前 3 d 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 第 4、5 天差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ), 第 6、7 天差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 1); 经 5 000  $\mu\text{g/mL}$  当归精油处理过的前 2 d 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 第 3 天差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ), 第 4、5、6、7 天差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 1)。从产卵孔来看, 这 4 种植物

精油处理的共性都是第 4 天驱避活性衰减最快。

桔小实蝇在芒果果实上产卵量因不同精油处理存在差异。经 5 000  $\mu\text{g/mL}$  绿花白千层精油和 3 000  $\mu\text{g/mL}$  茶树精油处理过的前 4 d 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 第 5 天差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ), 第 6、7 天差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 2); 经 5 000  $\mu\text{g/mL}$  广藿香精油处理过的前 3 d 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 第 4 天差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ), 第 5、6、7 天差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 2); 经 5 000  $\mu\text{g/mL}$  当归精油处理过的前 2 d 差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 第 3 天差异显著 ( $0.01 < P < 0.05$ ), 第 4、5、6、7 天差异不显著 ( $P > 0.05$ ) (图 2)。从产卵量来看, 茶树精油处理过的果实对桔小实蝇的驱避效果第 2 天衰减最快; 另外 3 种精油处理过的果实对桔小实蝇的驱避效果前 3 d 衰减速度较为一致。茶树精油、广藿香精油、当归精油处理过的果实在第 7 天的产卵量趋近于对照的产卵量, 只有绿花白千层精油处理过的果实对桔小实蝇的驱避活性仍然存在, 在第 7 天差异虽然不显著, 但是差距较其他 3 种精油稍大。

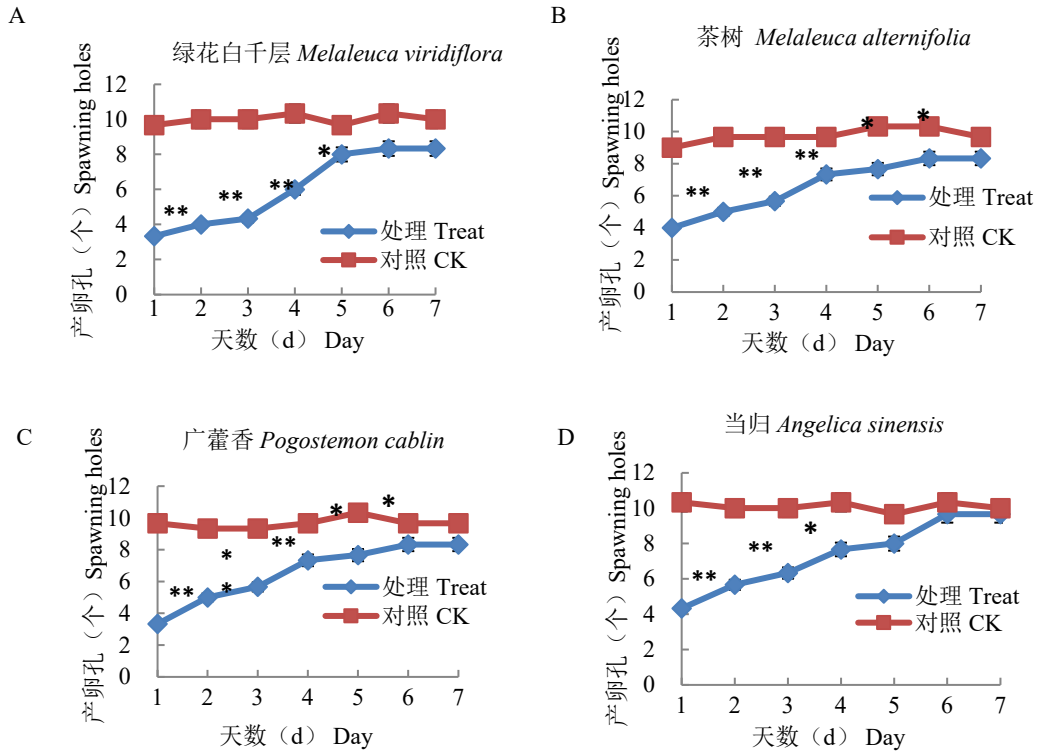


图 1 桔小实蝇在不同处理芒果上的产卵孔数

Fig. 1 Spawning holes of *Bactrocera dorsalis* at different treat on mangoes

Note: A, 5 000 µg/mL 绿花白千层精油; B, 3 000 µg/mL 茶树精油; C, 5 000 µg/mL 广藿香精油; D, 5 000 µg/mL 当归精油。

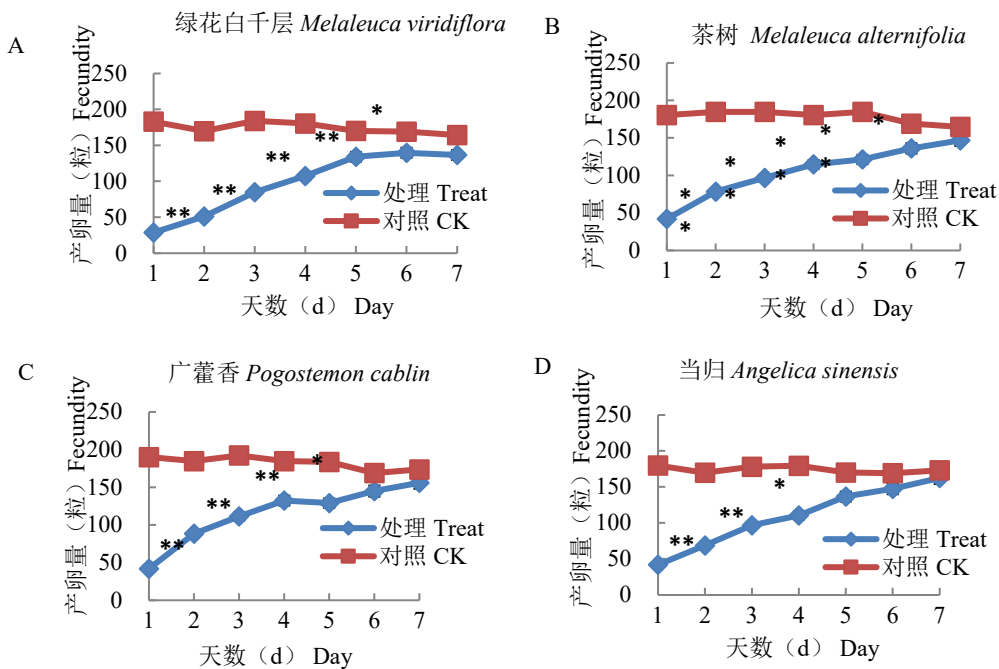


图 2 桔小实蝇在不同处理芒果上的产卵量

Fig. 2 Fecundity of *Bactrocera dorsalis* at different treat on mangoes

Note: A, 5 000 µg/mL 绿花白千层精油; B, 3 000 µg/mL 茶树精油; C, 5 000 µg/mL 广藿香精油; D, 5 000 µg/mL 当归精油。

从驱避率来看, 4 种植物精油的驱避率都随着时间延长, 驱避率逐渐降低, 且前 3 d 降速较快, 然后逐渐放缓。第 1 天驱避率最高的是绿花白千层精油, 为 73.49%; 其后依次是广藿香、当归、茶树精油, 分别为 64.11%、62.35%、61.89%。第 7 天的

驱避率最高的仍是绿花白千层精油, 为 9.40%, 其后依次是茶树、广藿香、当归, 分别为 5.99%、5.47%、2.93%。由此看来每种精油具有各自的特性, 有些是驱避成分发挥作用更早, 有些是持久性更好(图 3)。

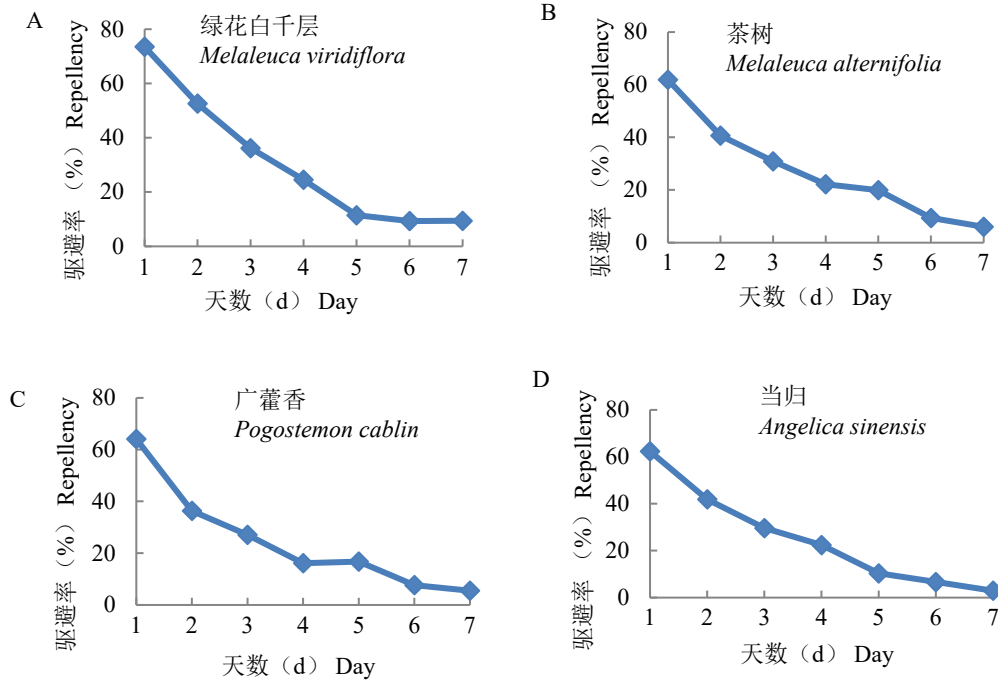


图 3 桔小实蝇在 4 种非寄主植物精油最佳浓度处理过的芒果上不同时间的产卵驱避率

Fig. 3 Repellency of *Bactrocera dorsalisat* different time on mangoes treated with 4 non-host plant essential oils at the optimal concentration

### 3 结论与讨论

我国使用植物防治虫害历史悠久, 早在《周礼秋官》已有“剪氏掌除蠹物, 以攻荼攻之, 以莽草熏之”的记载, 其中的蠹物即虫害(徐汉虹等, 2002)。非寄主植物中大多含有昆虫不喜欢的某些挥发物, 因此利用非寄主植物挥发物对昆虫的驱避效应在害虫防治上具有重要意义。林海清等(2008)对桔小实蝇的 4 种非寄主植物柠檬桉 *Eucalyptus citriodora*、樟树 *Cinnamomum camphora*、白千层 *Melaleuca leucadendra*、夹竹桃 *Nerium indicum* 进行提取并将香蕉浸入其溶液 3 s 后晾干, 观察其对桔小实蝇的忌避作用, 结果表明白千层的乙醇提取物对桔小实蝇的拒避作用最大。这一研究结果与本研究一致, 绿花白千层精油在本研究的 4 轮试验中都表现突出, 驱避效果明显。绿花白千层属于桃金娘科, 白千层属, 在我国广泛分布于广东、广西、海南、云南、福建等亚热带地区。文献报道千层属植

物挥发油含有桉树醇、4-萜烯醇、柠檬烯、 $\alpha$ -松油醇、 $\alpha$ -蒎烯、茴香脑等成分, 具有抗细菌、抗真菌、抗病毒、抗炎、抗肿瘤、抗氧化等诸多药理活性(Garozzo *et al.*, 2009), 有望开发成为桔小实蝇有效的驱避剂。茶树精油的杀菌效果闻名于世, 已有研究表明茶树精油对桃蚜有显著的杀虫活性(Talha, 2019), 本研究中茶树精油的驱避效果显著, 各项指标仅次于绿花白千层精油。王玉赞等(2010)探究了 6 种植物精油对桔小实蝇的产卵忌避效果, 结果表明辣椒 *Capsicum annum* 油、樟脑 *Cinnamomum camphora* 油、冬青 *Ilex chinensis* 油和香茅油的产卵忌避效果明显, 其中香茅油的产卵忌避作用最强, 而肉桂油和香紫苏油的效果较弱。胡黎明等(2012)测定了香茅精油对桔小实蝇雌虫的产卵驱避作用。

利用气相色谱-质谱联用(GC-MS)技术对香茅精油的化学成份进行分析, 发现 3-萜烯、香茅醛、香叶醇、香茅醇、柠檬烯含量较高。在本研究中也



选取了香茅精油, 但是驱避效果并不理想, 驱避率仅为 55.57%, 选择反应率和驱避反应率之间仅存在显著差异, 而存在极显著差异的有 11 种植物精油, 所以香茅精油没有机会进入下一轮产卵驱避试验。Jaleel 等 (2020) 测评了 4 种植物源驱避剂对桔小实蝇与芒果实蝇的驱避效果, 短叶绢蒿 *Seriphidium brevifolium*、黑胡椒、印楝、槲皮素均显著降低了两种幼虫的访巢率、产卵刺破率和蛹率, 其中效果最好的是黑胡椒。而本研究中黑胡椒精油的驱避率仅为 53.33%。

本研究的持效性试验发现待测 4 种非寄主植物精油驱避活性都是在前 3 d 降速最快, 然后逐渐放缓。欧阳革成等 (2008) 试验了 4 种矿物油乳剂对桔小实蝇的产卵趋避作用, 发现 Caltex Lovis 矿物油的效果最为显著, 有效持续期达到了 4 d, 说明矿物油乳剂有助于有效成分的缓释, 是今后开发产品剂型的一个方向。李智伟等 (2017) 研究了库拉索芦荟 *Aloe vera* 的 5 种有机溶剂 (丙酮、乙酸乙酯、石油醚、二氯甲烷、甲醇) 提取物对桔小实蝇的产卵驱避作用, 结果发现驱避活性最高的是丙酮提取物。本研究也是选取丙酮作为稀释溶剂和对照溶剂。郭峰等 (2020) 发现当浓度为 7 000  $\mu\text{g/mL}$  时, 香茅油、柠檬草油、百里香 *Thymus mongolicus* 油、山鸡椒油毒杀效果较好, 而本研究结果是浓度为 5 000  $\mu\text{g/mL}$  时, 绿花白千层、广藿香、当归精油驱避率最高, 浓度为 3 000  $\mu\text{g/mL}$  时, 茶树精油驱避率最高。

本研究表明非寄主植物精油对桔小实蝇有较好的驱避效果, 但其驱避机理尚不清楚, 后续应开展相关机理研究。由于精油易挥发, 无法单一使用精油在田间防治害虫, 因此开发新剂型可以解决这一问题, 例如作为增效剂与农药复配, 或者通过纳米技术进行合理包埋, 达到缓释效果, 这方面已经研究报道。Gan 等 (2023) 设计了一种 pH 响应型荧光纳米载药系统, 利用介孔二氧化硅 (MSNs) 和聚酰胺-胺型树枝状高分子 (PAMAM) 封装噻虫嗪 (THI), 构建纳米载药系统 (THI@PAMAM@MSNs), 载药量达 21.8%, 实现了对松材线虫防治的智能化选择性药剂递送和可视化防控效果监测。Ma 等 (2022) 建立了高效、简便、安全的纳米递送系统, 纳米载体可以高效结合 dsRNA, dsRNA/纳米载体复合体可以在

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*、蚜虫 *Acyrtosiphon pisum*、异色瓢虫 *Harmonia axyridis*、烟粉虱 *Aleyrodes tabaci*、意大利蜜蜂 *Apis mellifera* 等 30 余种昆虫中有效地干扰基因表达, 该技术的建立为同行提供了一种高效简便的基因干扰工具。Zhou 等 (2021) 首次构建并表征了一种以氧化石墨烯纳米片为纳米载体的杀螨剂纳米体系, 用于递送 4 种全球最畅销的杀螨剂 (阿维菌素、联苯肼酯、乙恶唑和螺螨酯) 防治朱砂叶螨。Yan 等 (2021) 以一种纳米级星状聚合物为农药分子载体, 通过静电和疏水作用实现蛇床子素的纳米级装载, 对草莓白粉病防效提升近 20 个百分点, 同时纳米化蛇床子素的降解速率加快, 残留降低, 对草莓品质和天敌昆虫无明显影响。

本研究结果表明非寄主植物绿花白千层精油各方面表现较好, 对桔小实蝇有较高的产卵驱避活性, 在植物源驱避剂方面有一定的开发前景。由于持效性的问题, 后期剂型必须提高缓释性, 同时本研究也为桔小实蝇的绿色综合防治提供了理论依据。

## 参考文献 (References)

- Chen CC, Dong YJ, Cheng LL, *et al.* Deterrent effect of neem seed kernel extract on oviposition of the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in guava [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1996, 89 (2): 462-466.
- Chen JH. Preliminary study on the integrated control techniques of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Entomological Journal of East China*, 2004, 13(1): 107-110. [陈景辉. 桔小实蝇综合防治技术的初步研究 [J]. 华东昆虫学报, 2004, 13 (1): 107-110]
- Chen LG, Zhu CG, Xia XN. A preliminary study on biological characteristics of *Bactrocera dorsalis* in Shanghai [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2010, 26 (1): 99-101. [陈连根, 朱春刚, 夏希纳. 上海地区桔小实蝇生物学特性初步研究 [J]. 上海农业学报, 2010, 26 (1): 99-101]
- Chen Z, Xu FL, Xie LH, *et al.* Study on the evasive effect of 28 essential oils on female adult *Drosophila melanogaster* Meigen [J]. *South China Fruits*, 2016, 45(3): 138-140. [陈哲, 徐芳玲, 谢莉华, 等. 28 种精油对蓝莓果蝇雌成虫趋避效果研究 [J]. 中国南方果树, 2016, 45 (3): 138-140]
- Clarke AR, Armstrong KF, Carmichael AE, *et al.* Invasive phytophagous pests arising through a recent tropical evolutionary radiation: The *Bactrocera dorsalis* complex offruit flies [J]. *Annu. Rev. Entomol.*, 2005, 50: 293-319.
- Ding HJ, Guo YY, Wu CH. Design, fabrication and application of a four-arm olfactory instrument for the study of insect olfactory behavior [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 1996, 33(4): 241-243. [丁红建, 郭予元, 吴才宏. 用于昆虫嗅觉行为研究的四臂嗅觉仪的设计、制作和应用 [J]. 昆虫知识, 1996, 33 (4): 241-243]
- Fang XJ, Yan ZH, Zhang JL, *et al.* The characteristics of oviposition and population dynamics of *Bactrocera dorsalis* in different fruit orchards in Mengzi [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2017, 32 (2): 212-217. [方薛交, 闫振华, 张金龙, 等. 桔小

- 实蝇成虫对不同水果的产卵为害特点及种群动态 [J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2017, 32 (2): 212-217]
- Gan W, Kong XB, Fang JX, *et al.* A pH-responsive fluorescent nanopesticide for selective delivery and visualization in pine wood nematode control [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2023, 463 (5): 142353.
- Garozzo A, Timpanaro R, Bisignano B, *et al.* *In vitro* antiviral activity of *Melaleuca alternifolia* essential oil [J]. *Letters in Applied Microbiology*, 2009, 49 (6): 806-808.
- Guo F, Zhao RN, Li TM, *et al.* Preliminary study on contact toxicity and oviposition deterrent effect of six plant ethanol extracts against *Bactrocera dorsalis* Hendel adults [J]. *Plant Quarantine*, 2021, 35 (1): 39-43. [郭峰, 赵如娜, 李太美, 等. 6种植物乙醇提取物对桔小实蝇成虫的毒杀和产卵驱避作用的初步研究 [J]. 植物检疫, 2021, 35 (1): 39-43]
- Guo F, Zhao RN, Li TM, *et al.* Toxicity and oviposition-deterrent effects of ten plant essential oils on *Bactrocera dorsalis* Hendel adults [J]. *Journal of Mountain Agriculture and 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]
- Hu LM, Zeng L, Shen JM, *et al.* Oviposition deterrent effects and chemical constituents of essential oils from *Cymbopogon nardus* on *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2012, 34(2): 249-253. [胡黎明, 曾玲, 申建梅, 等. 香茅精油对桔小实蝇产卵驱避作用及其化学成分分析 [J]. 环境昆虫学报, 2012, 34 (2): 249-253]
- Jaleel W, Wang D, Lei Y, *et al.* Evaluating the repellent effect of four botanicals against two *Bactrocera* species on mangoes [J]. *PeerJ*, 2020, 8(3): e8537.
- Jin MJ, Fan YJ, Teng ZW, *et al.* Chemical control measures and drug resistance management of *Bactrocera dorsalis* [J]. *Agrochemicals*, 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药性治理[J]. 农药, 2021, 60(1): 1-5, 13]
- Jin SM, Fan XH, Wang WJ, *et al.* Investigation on distribution and biological characteristics of *Bactrocera dorsalis* in Anhui Province [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2013, 7: 5. [金思明, 范晓惠, 汪文俊, 等. 东方果实蝇在安徽省的分布及生物学特性调查研究 [J]. 安徽农学通报, 2013, 7: 5]
- Li ZW, Liu JL, Xiong T, *et al.* *Aloe vera* L. extracts repel oviposition by the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54(3): 468-474. [李智伟, 刘家莉, 熊婷, 等. 芦荟提取物对桔小实蝇产卵驱避活性研究 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 4 (3): 468-474]
- Lin HQ, Liu SM, Ouyang GC, *et al.* Oviposition deterrents of the oriental fruit fly, to *Bactrocera dorsalis* non-host plant extracts [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2008, 30 (3): 224-228. [林海清, 刘少明, 欧阳革成, 等. 非寄主植物提取物对橘小实蝇的产卵拒避作用 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30 (3): 224-228]
- Ma ZZ, Zheng Y, Chao ZJ, *et al.* Visualization of the process of a nanocarrier-mediated gene delivery: Stabilization, endocytosis and endosomal escape of genes for intracellular spreading [J]. *Journal of Nanobiotechnology*, 2022, 20(1): 124.
- Mao HY, Zhao Y, Ding HF, *et al.* Population dynamics monitoring of *Bactrocera dorsalis* in Henan Province [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (11): 77-83. [毛红彦, 赵岩, 丁华锋, 等. 河南省重要实蝇的种群动态监测 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (11): 77-83]
- Ou JF, Huang H, Xu JL, *et al.* Repellency of *Mikania micrantha* against *Bactrocera dorsalis*[J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2005, 27(4): 183-187. [欧剑峰, 黄鸿, 徐洁莲, 等. 薇甘菊对桔小实蝇的驱避试验初报 [J]. 环境昆虫学报, 2005, 27 (4): 183-187]
- Ouyang GC, Yang YP, Zhong GL, *et al.* Oviposition repellency and EAG responses of the oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis*(Hendel) to mineral spray oils [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2008, 51 (4): 390-394. [欧阳革成, 杨悦屏, 钟桂林, 等. 矿物油乳剂作用下橘小实蝇的产卵拒避及触角电位反应 [J]. 昆虫学报, 2008, 51 (4): 390-394]
- Song LQ, Liu MY, Zhao LL, *et al.* Monitoring and control of citrus *Bactrocera dorsalis* in fruit producing areas of Yantai [J]. *Yantai Fruits*, 2019, 2: 2. [宋来庆, 刘美英, 赵玲玲, 等. 桔小实蝇在烟台果树产区的监测与防控 [J]. 烟台果树, 2019, 2: 2]
- Talha AC. Insecticidal Activity of *Melaleuca alternifolia* Essential Oil against *Myzus persicae* [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019. [Talha AC. 茶树精油对桃蚜的杀虫活性研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019]
- Wang JW, Ci RSZ, Yu DJ, *et al.* Studies on the naturalness of *Bactrocera dorsalis* in Tibet Autonomous Region [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2010, 23 (4): 5. [王俊伟, 次仁桑珠, 余道坚, 等. 桔小实蝇在西藏自治区的适生性研究 [J]. 西南农业学报, 2010, 23 (4): 5]
- Wang XF, Ren GW, Wang XW, *et al.* Contact and fumigant activities of plant essential oils against *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) [J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2011, 17 (2): 67-70. [王秀芳, 任广伟, 王新伟, 等. 植物精油对烟草甲触杀、熏蒸和驱避作用研究[J]. 中国烟草学报, 2011, 17 (2): 67-70]
- Wang XM, Sun JS, Li ZQ, *et al.* Study on the occurrence regularity and control measures of *Bactrocera dorsalis* in Beijing [J]. *South China Fruits*, 2016, 3: 27-30. [王晓梅, 孙静双, 李志强, 等. 北京地区桔小实蝇的发生规律及防治措施研究 [J]. 中国南方果树, 2016, 3: 27-30]
- Wang YZ, Ling B, Lu YY, *et al.* Oviposition deterrent effects of several plant essential oil on *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) [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]
- Wu H. Demonstration and Popularization of Bionic Control Technology and Isotropic Control of *Grapholita molesta* in Peach Orchard [D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2016. [武浩. 桃园梨小食心虫仿生防控技术的示范推广与迷向防治研究 [D]. 太原: 山西农业大学, 2016]
- Wu WJ, Hu ZN, Ji ZQ, *et al.* Research and Application of Plant-Derived Pesticides in China [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2021. [吴文君, 胡兆农, 姬志勤, 等. 中国植物源农药研究与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2021]
- Xu HH, Zhang ZX, Cheng DM. Plant-derived pesticides and sustainable agricultural development [J]. *Science and Technology Review*, 2002, 7: 42-44. [徐汉虹, 张志祥, 程东美. 植物源农药与农业可持续发展[J]. 科技导报, 2002, 7: 42-44]
- Xu HH. Insecticidal Plants and Plant Insecticides [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2001. [徐汉虹. 杀虫植物与植物性杀虫剂[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001]
- Yan S, Hu Q, Jiang QH, *et al.* Simple osthole/nanocarrier pesticide efficiently controls both pests and diseases fulfilling the need of green production of strawberry [J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2021, 30 (13): 36350-36360.
- Yin YC, Wang QY. Beware of a new pest in northern orchards-*Bactrocera dorsalis* [J]. *Hebei Agriculture*, 2014, 11: 2. [尹英超, 王勤英. 警惕北方果园新害虫—桔小实蝇[J]. 河北农业, 2014, 11: 2]
- Yuan HB, Li YS, Zhao XY, *et al.* Fumigant activity and repellent effect of three kinds of essential oil against *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus) adults [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]
- Yuan YM, Zhang HY. Bioactivities of extracts from six species plants to the *Bactrocera dorsalis*[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(25): 188-192. [袁伊旻, 张宏宇. 6种植物提取物对桔小实蝇生物活性的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (25): 188-192]
- Zhang N. Surveillance of Real Fly in Shaanxi Province in 2015 and Investigation of Suspected Species Sources of *Bactrocera dorsalis* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016. [张南. 2015年陕西省实

- 蝇监测及桔小实蝇疑似种来源调查 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016]
- Zhang ZY, Li L, Deng Y, *et al.* Population dynamics of *Bactrocera dorsalis* in Wuhan, Hubei Province [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2018, 37 (5): 52-58. [张振宇, 李亮, 邓义, 等. 湖北武汉果实蝇害虫种群动态调查 [J]. 华中农业大学学报, 2018, 37 (5): 52-58]
- Zhao JP, Liu LD, Lu YY. Trapping efficacy of 4 kinds of imported attractants on oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Hendel) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (4): 830-834. [赵菊鹏, 刘龙地, 陆永跃. 4 种引进的引诱剂制剂对桔小实蝇引诱效果评价 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(4): 830-834]
- Zhao NN, Lu W, Du SY, *et al.* Repellent activity of five kinds of essential oil against *Tribolium castaneum* [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2019, 34 (5): 116-120, 133. [赵娜娜, 路伟, 杜书亚, 等. 5 种植物精油对赤拟谷盗的驱避活性 [J]. 中国粮油学报, 2019, 34 (5): 116-120, 133]
- Zhou H, Liu SS, Wan FL, *et al.* Graphene oxide-acaricide nanocomposites advance acaricidal activity of acaricides against *Tetranychus cinnabarinus* by directly inhibiting the transcription of a cuticle protein gene [J]. *Environmental Science: Nano*, 2021, 11: 3122-3137.