



梔子花精油对瓜实蝇成虫驱避及杀虫活性研究

侯佳辉, 赵伊丹, 董钧锋, 胡镇杰, 杨海博, 孙亚兰, 吕琪卉,
李定旭, 陈根强*, 刘欢*

(河南科技大学, 园艺与植物保护学院, 河南洛阳 471023)

摘要：瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* Coquillett 是一种危害多种瓜果蔬菜的重要农业害虫，因其产卵隐蔽、幼虫蛀果为害，导致防治工作极其困难。为筛选出对瓜实蝇成虫具有驱避及毒杀活性的植物精油，本研究测定了 11 种芳香植物精油对瓜实蝇成虫的驱避活性和毒杀活性，旨在为绿色高效防控瓜实蝇奠定理论基础。首先采用 Y 型嗅觉仪行为选择法，研究了不同植物精油对瓜实蝇的行为驱避活性；然后采用果实喷雾方法，研究了不同植物精油对瓜实蝇产卵驱避活性；最后通过药膜触杀法和胃毒法，研究了驱避活性最高的植物精油对瓜实蝇的毒杀活性。结果表明，在供试的 11 种精油中，梔子花 *Gardenia jasminoides* Ellis 精油对瓜实蝇行为选择和产卵驱避活性最强，在 200 $\mu\text{L/mL}$ 时产卵驱避率高达 $94.69\% \pm 2.36\%$ ；梔子花精油在 35 mg/mL 时对瓜实蝇成虫的触杀死亡率为 $92.00\% \pm 4.36\%$ ，雌、雄成虫 LC_{50} 值分别为 15.289 mg/mL 、10.705 mg/mL ；胃毒死亡率为 $94.00\% \pm 2.46\%$ ，雌、雄成虫 LC_{50} 值分别为 16.169 mg/mL 、6.901 mg/mL 。本研究发现梔子花精油对瓜实蝇成虫有显著的驱避和毒杀活性，为开发瓜实蝇绿色高效行为调控剂及毒杀剂提供理论依据。

关键词：瓜实蝇；植物精油；产卵驱避；毒杀活性

中图分类号：Q968.1；Q965.9 文献标识码：A

Repellent and insecticidal activity of *Gardenia jasminoides* essential oil against *Zeugodacus cucurbitae* adults

HOU Jia-Hui, ZHAO Yi-Dan, DONG Jun-Feng, HU Zhen-Jie, Yang Hai-Bo, SUN Ya-Lan, LV Qi-Hui, LI Ding-Xu, CHEN Gen-Qiang*, LIU Huan* (1. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, Henan Province, China)

Abstract: The melon fly, *Zeugodacus cucurbitae* Coquillett, is a significant agricultural pest that

基金项目：国家自然科学基金项目（32372529）；河南省自然科学基金资助项目（252300421152）；河南省高校科技创新人才项目（24HASTIT054）；河南科技大学青年骨干教师培养计划项目（13450011）

作者简介：侯佳辉，男，硕士研究生，从事农业昆虫与害虫防治研究，E-mail：878558336@qq.com

*共同通讯作者 Author of correspondence：刘欢，男，博士，农业昆虫与害虫防治，E-mail：liuhuan@haust.edu.cn；陈根强，男，博士，农业昆虫与害虫防治，E-mail：470910979@qq.com

收稿日期 Received：2024-05-23；修回日期 Revision received：2024-09-26；接受日期 Accepted：2024-09-27

endangers a variety of fruits and vegetables. Because of its hidden oviposition and larval fruit damage, it is extremely difficult to control. To screen plant essential oils (EOs) with repellent and insecticidal activity against adult *Z. cucurbitae*, this study evaluated the behavioral repellency and toxicity of 11 aromatic plant EOs, aiming to establish a theoretical foundation for eco-friendly and efficient management of this pest. First, the behavioral repellency of different EOs against *Z. cucurbitae* was assessed using a Y-tube olfactometer choice assay. Subsequently, the oviposition deterrent activity was tested by fruit spray method. Finally, contact and oral toxicity of the highest repellent activity EO were determined through the drug film contact method and stomach poison method, respectively. The results showed that among the 11 tested EOs, *Gardenia jasminoides* Ellis EO exhibited the strongest behavioral and oviposition deterrent effects, achieving an oviposition repellency rate of $94.69\% \pm 2.36\%$ at 200 $\mu\text{L/mL}$. At 35 mg/mL, *G. jasminoides* EO caused $92.00\% \pm 4.36\%$ contact mortality in adults, with LC_{50} values of 15.289 mg/mL (females) and 10.705 mg/mL (males). Additionally, the oral toxicity mortality rate was $94.00\% \pm 2.46\%$, with LC_{50} values of 16.169 mg/mL (females) and 6.901 mg/mL (males). This study reveals that *G. jasminoides* Ellis EO possesses significant repellent and insecticidal activity against adult *Z. cucurbitae*, providing a theoretical basis developing eco-friendly behavioral regulators and toxic agents for *Z. cucurbitae*.

Key words: *Zeugodacus cucurbitae*; plant essential oil; oviposition avoidance; poisoning activity

瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* Coquillett, 又称为针蜂, 是双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae 昆虫, 是我国瓜类蔬菜的重要入侵害虫, 该虫寄主范围十分广泛, 危害苦瓜 *Momordica charantia* L.、黄瓜 *Cucumis sativus* L.、西瓜 *Citrullus lanatus* Thunb.、西葫芦 *Cucurbita pepo* L.等多数瓜果蔬菜(邓金奇等, 2021)。瓜实蝇雌成虫将卵产在果实内, 幼虫孵化后在果实内部取食为害, 幼虫老熟后入土化蛹, 导致防治工作极其困难(李元杰等, 2021)。目前, 使用化学药剂是防控瓜实蝇的主要策略(何卫蓉等, 2012; 李红丽等, 2017)。但是, 化学药剂的过量使用会造成瓜实蝇产生严重的抗药性, 且对周围环境造成污染。因此, 亟需研发环保、高效、安全的防治技术。

植物精油是一种植物次生代谢产物, 对多种农业害虫具有毒杀、驱避、引诱、拒食等生物活性(刘学文等, 2004; 赵慧龙等, 2017; 李红莉等, 2019; 黄华等, 2022; 涂华龙等, 2024)。植物次生代谢物与传统杀虫剂有所不同, 因其含有多种化学组分, 各组分之间协同增效起到杀虫的效果, 改善了传统杀虫剂单一施用后产生抗药性等问题(Gonzales *et al.*, 2020; Filomeno *et al.*, 2020)。李智伟等(2017)研究表明芦荟 *Aloe vera* L. Burm. f.提取物对桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* Hendel 具有很强的产卵驱避活性。何建国等(2016)研究表明香樟叶 *Cinnamomum camphora* L. Presl、天竺桂叶 *Cinnamomum japonicum* Sieb.、侧柏叶 *Platycladus orientalis* L. Franco、雪松叶 *Cedrus deodara* Roxb. G. Don, 4种植物乙醇萃取物均对家蝇 *Musca domestica* L.有很强的驱避和毒杀效果。任立云等(2008)研究表明苦瓜挥发油对美

洲斑潜蝇 *Liriomyza sativae* Blanchard 有良好的产卵驱避活性。研究表明,精油组分 α -松油醇、丁香酚和茴香醛对草菇双额岩小粪蝇 *Bifronsina bifrons* Stenhammar 有显著产卵驱避与毒杀活性(吴华等, 2020)。桉叶 *Eucalyptus globulus* Labill 精油主要组分 1,8-桉叶素对埃及伊蚊 *Aedes aegypti* 有强烈的产卵驱避和拒食活性(Czerniewicz *et al.*, 2018)。植物精油具有亲脂性,昆虫接触后能够从表面渗透进体内,从而影响体内每种酶活功能,对正常生理功能造成损耗导致死亡(Piri *et al.*, 2020; Franca *et al.*, 2021)。研究发现,3 种菊科精油对碧桃蚜虫 *MyZus persicae* Sulzer 具有明显的杀虫活性,其主要原因是精油对碧桃蚜虫体内胆碱酯酶活性有显著的抑制活性(Klocke *et al.*, 1987)。张辉等(2020)研究表明野艾蒿 *Artemisia lavandulifolia* DC.精油对小贯小绿叶蝉 *Matsumurasca onukii* Matsuda 具有较强的触杀活性。源丽枫等(2017)研究表明大蒜 *Allium sativum* L.、芥末精油对锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* Stephens 有极强的熏蒸毒杀活性。秦巧慧等(2011)研究表明野胡萝卜 *Daucus carota* L.精油对致倦库蚊 *Culex quinquefasciatus* 蛹和幼虫均有较强毒杀活性。丁香 *Eugenia caryophyllata* Thunb 油对德国小蠊 *Blattella germanica* L.有显著的驱避活性(罗茵等, 2022)。此外,宋程飞等(2022)研究表明辣蓼 *Polygonum hydropiper* L.精油对小菜蛾 *Plutella xylostella* 毒杀活性最佳,芸香 *Ruta graveolens* L.精油对小菜蛾驱避效果最强。大蒜精油、肉桂油 *Cinnamomum cassia* Presl 和丁香油对黑翅土白蚁 *Odontotermes formosanus* 有明显的触杀活性(余豪等, 2018)。

当前,利用植物精油防控害虫已逐渐成为害虫绿色防控的重要手段(连雅琴等, 2024)。本研究测定了 11 种芳香植物精油对瓜实蝇成虫的驱避和毒杀活性,系统研究了栀子花精油瓜实蝇的行为驱避、产卵驱避及毒力作用,旨在为开发瓜实蝇绿色高效防控技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试虫源:广东省华南农业大学野外采集瓜实蝇,采集后在室内进行饲养,养虫笼内放入清水和人工饲料(酵母和白砂糖配比为 1:1)饲养成虫,室内温度 $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$,湿度 $70\% \pm 10\%$ 。在室内饲养多代后,取成虫羽化后 15~25 d 的生长发育良好的雌、雄成虫作为试验供试虫源。

供试植物精油:芥末 *Armoracia rusticana* G.、栀子花、天竺葵 *Pelargonium hortorum* Bailey、柠檬香桃木 *Backhousia citriodora*、生姜 *Zingiber officinale* Roscoe、百里酚百里香 *Thymus vulgaris* ct. thymol、艾草 *Artemisia argyi* Levl、快乐鼠尾草 *Salvia sclarea*、月桂 *Laurus nobilis*、菖蒲 *Acorus calamus* Linn、花椒 *Zanthoxylum bungeanum* Maxim,上述精油均购自 ALan 阿兰精油批发商城(品牌为 ALan)。

供试试验仪器:Y 型嗅觉仪、滤纸、脱脂棉、手动喷雾器(30 mL)、培养皿、温度计、恒温培养箱、离心管、养虫笼、吸虫器(由真空泵、橡胶软管、软木塞和试管组成)。

1.2 试验方法

1.2.1 瓜实蝇雌虫对不同植物精油的行为反应

参考黄华等（2022）研究方法，并有所改进。使用 Y 型嗅觉仪测试 11 种植物精油对瓜实蝇雌成虫的行为驱避活性。试验开始前，打开空气泵通气 20 min 除去异味，将气体流速进入管中的空气经过活性炭过滤和蒸馏水加湿，气流流速设置在 200 mL/min。分别放置味源物和对照物，处理组取 10 μ L 精油滴在脱脂棉上，对照组吸取 10 μ L 的 5%吐温 80 滴在脱脂棉上。挑选 20 头羽化 15~25 d 的性成熟瓜实蝇雌成虫，放于主臂入口处，选择标准为 10 min 内试虫沿着柄端爬行到两臂交接处，选择一臂进入且爬行距离超过侧臂的 1/3 处视做出选择，10 min 内无选择则视为无行为反应，每次测试后调换味源瓶方向。试验后，用无水乙醇和蒸馏水擦拭 Y 型管，烘干后待用。为避免光对试虫选择的影响，用黑布覆盖 Y 型玻璃管让成虫在黑暗环境中选择，每个试验重复 3 次。按以下公式计算驱避率。

$$\text{驱避率}(\%) = \text{对照臂内选择虫数} / \text{测试总虫数} \times 100$$

1.2.2 瓜实蝇雌虫对不同浓度栀子花精油的行为反应

用 5%的吐温 80 将栀子花精油稀释为 6.25、12.5、25、50、100、200 μ L/mL，Y 型嗅觉仪气流流速设置在 200 mL/min。取 20 头羽化 15~25 d 的雌成虫，放于主臂入口处，分别放置味源物和对照物，处理组取 10 μ L 稀释后精油滴在脱脂棉上，对照组吸取 10 μ L 的 5%吐温 80 滴在脱脂棉上。试验重复 5 次。

1.2.3 不同日龄瓜实蝇雌虫对栀子花精油的行为反应

首先用 5%吐温 80 将栀子花精油稀释为 200 μ L/mL，Y 型管气流流速设置在 200 mL/min。分别放置味源物和对照物，采用龄期为 2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22 日龄的瓜实蝇雌成虫，处理组取 10 μ L 稀释后精油滴在脱脂棉上，对照组吸取 10 μ L 的 5%吐温 80 滴在脱脂棉上，每次测试 20 头雌虫，试验重复 5 次。

1.2.4 不同植物精油对瓜实蝇产卵驱避活性测定

参考王玉赞等（2010）试验方法，并有所改进。用 5%吐温 80 将供试精油分别配制为 200 μ L/mL 的试验药液，将西葫芦均匀切成横截面大小一致圆块，处理组用手动喷雾器将 1.5 mL 药剂溶液均匀喷到西葫芦两个横截面，然后放置阴凉通风处 2 h 以上晾干备用，对照组喷施等量的 5%的吐温 80。随机选取 15~25 d 性成熟的瓜实蝇雌、雄成虫各 20 头（雌：雄=1：1）放于养虫笼中（长、宽、高各 30 cm），养虫笼中放入水和人工饲料（酵母粉和糖比例 1：1）。然后将对照组和处理组西葫芦圆块放入同一笼中并做好标记，经产卵处理 24 h 后取出西葫芦圆块，放入养虫盒内 4 d 后记录孵化幼虫的数量，比较不同精油对瓜实蝇产卵驱避的活性。每次试验独立重复 3 次。

$$\text{产卵驱避率}(\%) = [(\text{对照组产卵量} - \text{处理组产卵量}) / (\text{对照组产卵量} + \text{处理组产卵量})] \times 100$$

1.2.5 不同浓度栀子花精油对瓜实蝇产卵驱避活性测定

用 5%的吐温 80 将栀子花精油稀释为 6.25、12.5、25、50、100、200 μ L/mL，随机选取

15~25 d 性成熟的瓜实蝇雌、雄成虫各 20 头（雌：雄=1：1），处理组用手动喷雾器将 1.5 mL 药剂溶液均匀喷到西葫芦两个横截面，阴凉处晾干备用，对照组喷施等量 5% 的吐温 80。经 24 h 后取出笼中西葫芦，放入养虫盒内 4 d 后记录幼虫数量，试验重复 3 次，统计不同浓度 梔子花精油对瓜实蝇的产卵驱避活性。

1.2.6 梔子花精油对瓜实蝇成虫触杀活性测定

参考郭峰等（2020）研究方法，首先将精油用吐温配置成 200.00 mg/mL 的母液，然后用吐温将母液稀释 2.1875、4.375、8.75、17.5、35 mg/mL 共 5 个不同的工作液浓度。将 1 mL 药液均匀涂在 150 mL 三角瓶的内壁上，形成完整均匀的药膜，倒掉多余的药液，将瓶口向上置于干燥通风处 24 h 以上，自然风干备用，阴性对照组为加入相同剂量的吐温，空白对照为蒸馏水。将 20 头 15~25 d 的性成熟且生理健康的瓜实蝇成虫（雌：雄=1：1）转移到药膜瓶中，将药膜瓶瓶口用纱布封住，每一个药膜瓶作为一个处理，试验重复 5 次。将封好的药膜瓶倒置放入温度 27℃、相对湿度 75% 的人工气候箱中，待瓜实蝇与药膜充分接触 2 h 后，将瓜实蝇转移到盛有饲料和清水的养虫笼中，正常饲喂 24 h 后，记录处理组和对照组雌、雄成虫的死亡数量。虫体翻倒，用毛笔触及尾部，足不动者即为死亡，并计算死亡率和致死中浓度 LC_{50} ，空白对照组死亡率在 10% 以下时为有效试验。

$$\text{死亡率}(\%) = (\text{死虫数} / \text{总虫数}) \times 100$$

$$\text{校正死亡率}(\%) = [(\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}) / (1 - \text{对照死亡率})] \times 100$$

1.2.7 梔子花精油对瓜实蝇成虫胃毒活性测定

参考袁伊旻等（2011）的研究方法，首先将梔子花精油用 5% 吐温 80 配置成 200.00 mg/mL 的母液，然后用 10% 蔗糖水溶液将母液稀释至 2.1875、4.375、8.75、17.5、35 mg/mL 共 5 个不同的工作液浓度。以加入等量 5% 吐温的蔗糖水为阴性对照组，以蔗糖水为空白对照。取小块脱脂棉，将其平铺到直径 2 cm 的培养皿上，后吸取 3 mL 的药液均匀涂抹在脱脂棉上，随后将培养皿置入 1 000 mL 塑制养虫盒底部，作为实验的毒力测定装置，同时养虫盒盒盖扎孔，保持通风。每个饲养盒中引入 20 头 15~25 d 性成熟且生理健康的瓜实蝇成虫（雌：雄=1：1）。将毒力测定装置放入 27℃、相对湿度 75% 的人工气候箱培养，24 h 后记录对照组与处理组瓜实蝇雌、雄成虫的死亡数量（用毛笔触碰瓜实蝇，没有反应的视为死亡），并计算死亡率和致死中浓度 LC_{50} 。对照组死亡率在 10% 以下时为有效试验，试验重复 5 次。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据统计。用 SPSS 23.0 软件，平均值间的比较采用单因素方差分析，不同处理间的差异采用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较，选择行为试验使用 SPSS 23.0 软件进行 t 检验。

2 结果与分析

2.1 瓜实蝇雌虫对不同植物精油的行为反应

测定瓜实蝇雌虫对 11 种植物精油行为反应，结果表明，菖蒲、月桂、生姜、梔子花精

油对瓜实蝇雌虫驱避率分别为 $40.00 \pm 2.89\%$, $31.67 \pm 1.67\%$, $38.33 \pm 6.01\%$, $45.00 \pm 8.67\%$, 显著低于对照组, 表明菖蒲、月桂、生姜、栀子花精油对瓜实蝇雌虫有显著驱避活性。结果还发现柠檬香桃木等 7 种精油对瓜实蝇雌虫均无显著驱避活性 ($P > 0.05$) (图 1)。

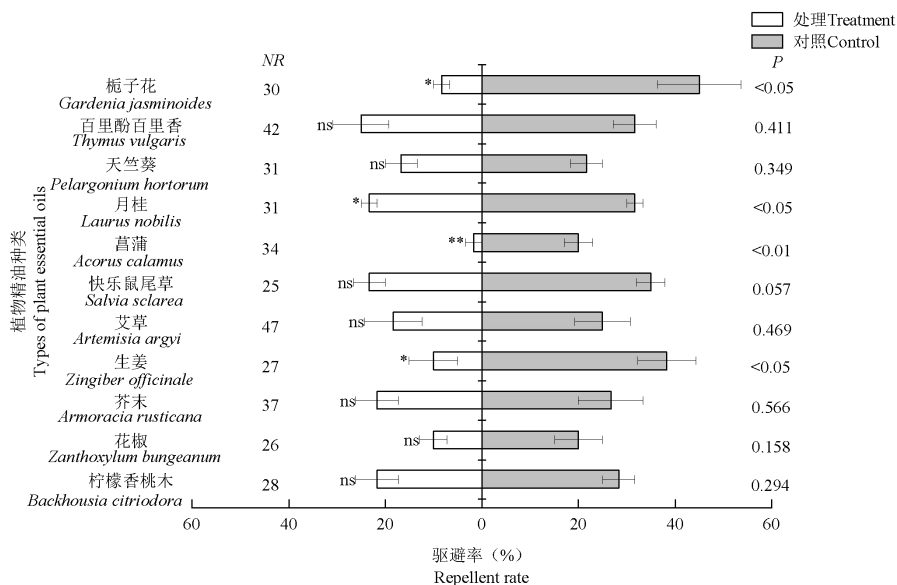


图 1 瓜实蝇雌成虫对 11 种植物精油的行为反应

Fig. 1 Behavioral responses of *Zeugodacus cucurbitae* female adults to eleven plant essential oils

注: “*和**和***” 分别表示差异显著 ($P < 0.05$)、差异极显著 ($P < 0.01$)、差异极其显著 ($P < 0.001$), “ns” 表示对照与处理之间无显著差异; 图 2、图 3 同。Note: “*, **, ***” meant there was significant difference at 0.05 level and 0.01 level severally and 0.001 level extremely significant, “ns” indicated no significant difference between the odor arm and the control; the same for Fig. 2 and Fig. 3.

2.2 瓜实蝇雌虫对不同浓度栀子花精油的行为反应

不同浓度栀子花精油对瓜实蝇雌虫行为驱避活性存在一定的差异性, 驱避活性随着栀子花精油浓度的升高而增强。在 $6.25 \mu\text{L/mL}$ 、 $12.5 \mu\text{L/mL}$ 、 $25 \mu\text{L/mL}$ 浓度时, 栀子花精油对瓜实蝇雌虫无驱避活性, 与对照相比差异性不显著 ($P > 0.05$); $50 \mu\text{L/mL}$ ($t=5.374$, $P < 0.01$) 浓度下处理与对照相比有显著差异, $100 \mu\text{L/mL}$ ($t=7.216$, $P < 0.001$)、 $200 \mu\text{L/mL}$ ($t=6.025$, $P < 0.001$) 浓度下对瓜实蝇雌虫驱避效果极其显著 (图 2)。

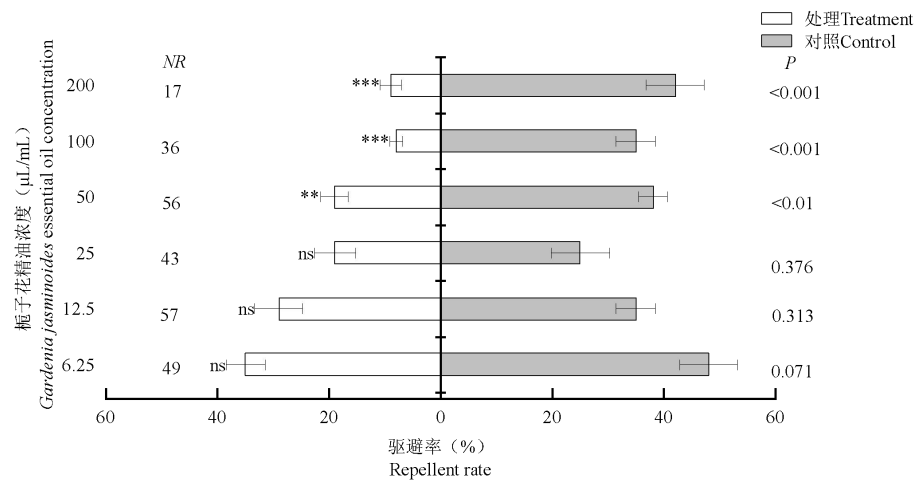


图 2 瓜实蝇雌成虫对不同浓度栀子花精油行为反应

Fig. 2 Behavioral responses of *Zeugodacus cucurbitae* female to different concentrations of *Gardenia jasminoides* essential oil

2.3 不同日龄的瓜实蝇雌虫对栀子花精油的行为反应

栀子花精油对不同日龄瓜实蝇雌虫驱避活性存在一定差异性。栀子花精油对羽化 4 d、6 d、8 d 瓜实蝇雌虫无驱避活性，与对照相比差异性不显著（ $t=1.769$ ， $P>0.05$ ）、（ $t=2.178$ ， $P>0.05$ ）、（ $t=2.236$ ， $P>0.05$ ）。栀子花精油对 2、10、12、14、16、18、20、22 日龄的瓜实蝇雌虫均有显著的驱避活性，并且 20 日龄雌虫与对照相比驱避活性极显著，20 日龄的驱避活性达到了驱避的峰值（图 3）。

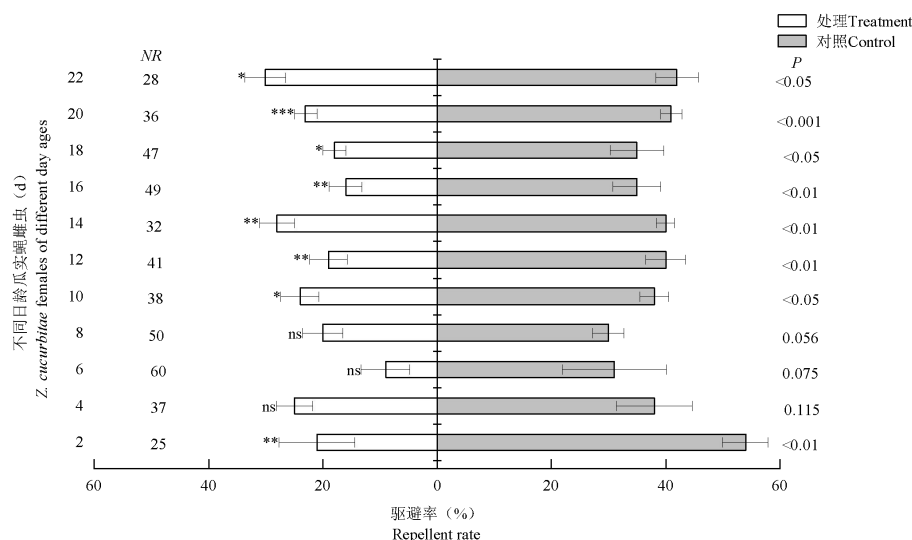


图 3 不同日龄瓜实蝇雌成虫对栀子花精油的行为反应

Fig. 3 Behavioral responses of *Zeugodacus cucurbitae* female of different day ages to *Gardenia jasminoides* essential oil

2.4 不同植物精油对瓜实蝇产卵驱避活性

测定 11 种植物精油对瓜实蝇产卵驱避活性，结果表明，除百里香精油外，其余 10 种植物精油均对瓜实蝇产卵行为有一定的驱避作用。其中，栀子花精油产卵驱避活性最高，产卵驱避率为 $94.69\% \pm 2.36\%$ （ $F=34.027$ ， $P<0.05$ ），其次是菖蒲、生姜、天竺葵、柠檬香桃木、花椒、芥末、艾草、月桂、快乐鼠尾草，产卵驱避率依次为 $85.66\% \pm 7.69\%$ 、 $77.97\% \pm 9.62\%$ 、 $66.81\% \pm 6.44\%$ 、 $62.50\% \pm 7.00\%$ 、 $52.78\% \pm 11.11\%$ 、 $43.14\% \pm 10.62\%$ 、 $23.92\% \pm 3.09\%$ 、 $18.98\% \pm 3.45\%$ 、 $12.99\% \pm 4.15\%$ （图 4）。

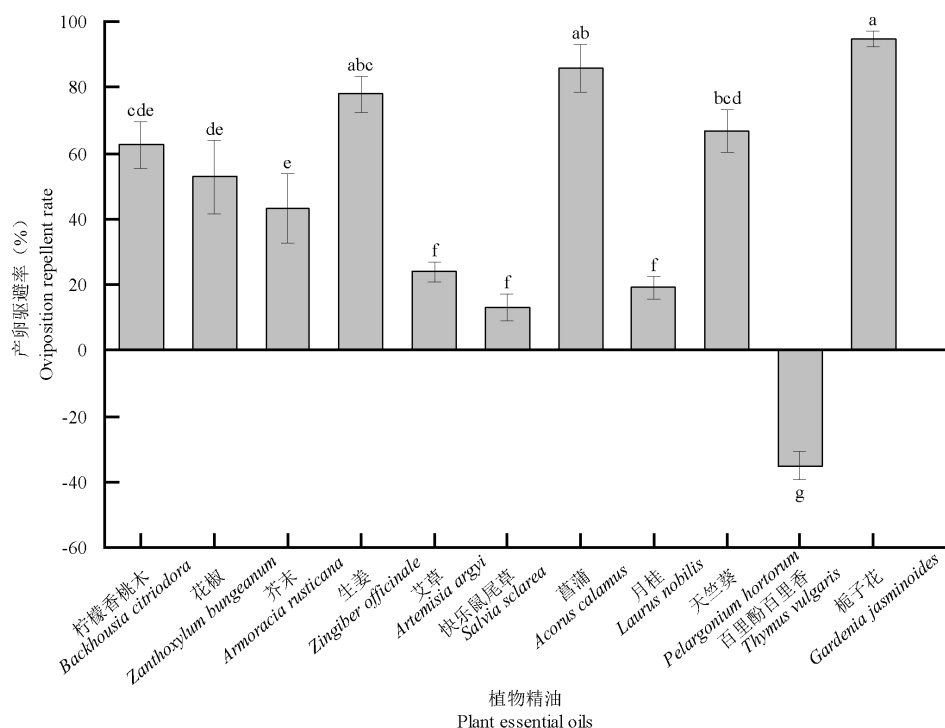


图 4 11 种植物精油对瓜实蝇产卵驱避活性

Fig. 4 Oviposition repellent activity of eleven plant essential oils against *Zeugodacus cucurbitae*

注：图中数据为平均值±标准误，柱上字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验 0.05 水平差异显著，下同。Note: Data were mean±SE. Different letters above the bars indicated significant differences among treatments at 0.05 level based on Duncan's new multiprange test. The same applies below.

2.5 不同浓度栀子花精油对瓜实蝇产卵驱避活性

不同浓度栀子花精油对瓜实蝇产卵驱避活性不同，随着浓度的增加，栀子花精油对瓜实蝇的产卵驱避活性明显增强。低浓度 6.25 $\mu\text{L/mL}$ 和 12.5 $\mu\text{L/mL}$ 处理时，栀子花精油对瓜实蝇产卵驱避率较低，分别为 13.71% $\pm$ 2.90% 和 18.17% $\pm$ 2.40%，两者相比差异性不显著。随着处理浓度的升高，栀子花精油在 200 $\mu\text{L/mL}$ 时产卵驱避活性最高，为 94.46% $\pm$ 2.36% ($F=71.611$, $P<0.001$) (图 5)。

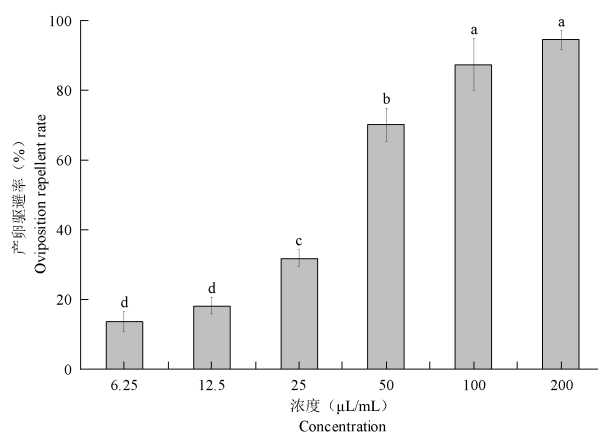


图 5 栀子花精油对瓜实蝇产卵驱避活性

Fig. 5 Oviposition repellent activity of *Gardenia jasminoides* essential oil against *Zeugodacus cucurbitae*

2.6 栀子花精油对瓜实蝇的触杀活性

瓜实蝇死亡率与栀子花处理呈现典型的浓度计量效应。随着处理组浓度逐渐增大, 栀子花精油对瓜实蝇的触杀活性逐渐增强 ($F=62.974$, $P<0.001$), 在 35 mg/mL 时触杀活性最高, 校正死亡率为 $92.00\% \pm 4.36\%$, 且该浓度与其余四种处理浓度均有显著差异。统计分析可得毒力回归方程: $y = -2.054 + 1.849x$; $LC_{50}=12.904$ mg/mL (图 6-A)。同时, 随着栀子花精油浓度的增加, 瓜实蝇成虫死亡率逐渐增加, 且雄成虫对栀子花精油处理更敏感, 统计得出其雌、雄成虫 LC_{50} 分别为 $LC_{50}=15.289$ mg/mL, $LC_{50}=10.705$ mg/mL (图 6-B、C)。

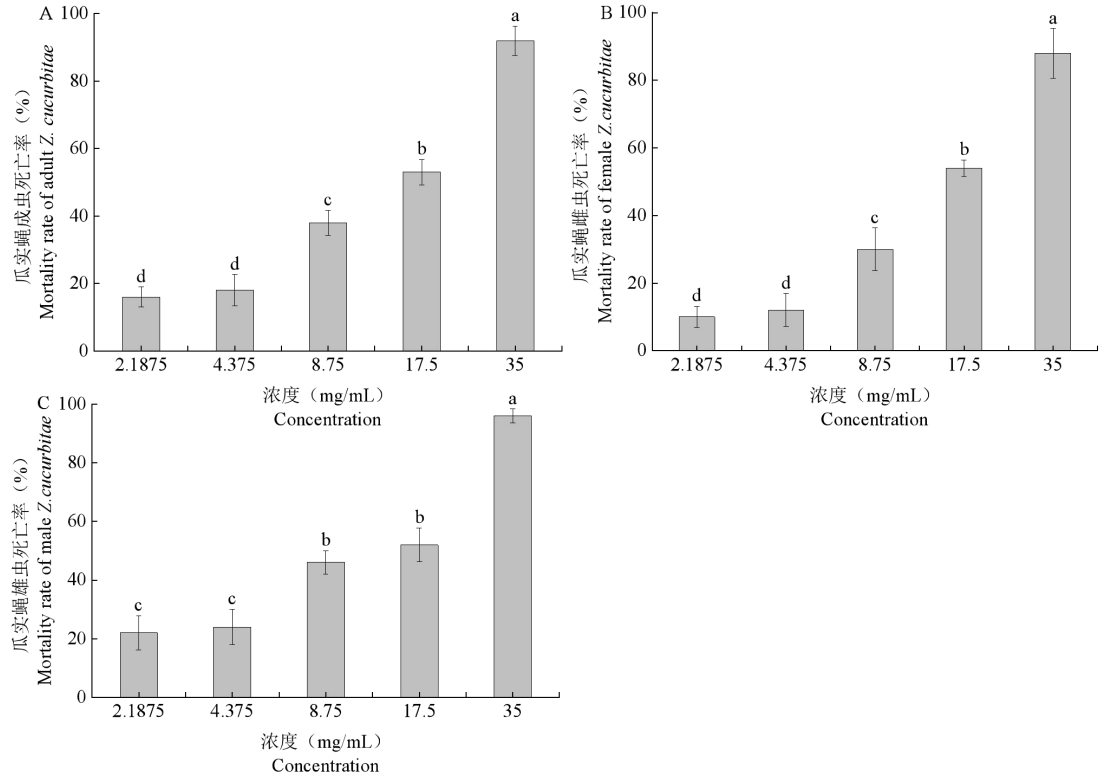


图 6 栀子花精油对瓜实蝇的触杀活性 (A: 成虫; B: 雌虫; C: 雄虫)

Fig. 6 Toxicity of *Gardenia jasminoides* essential oil on *Zeugodacus cucurbitae* by contact (A: adult; B: female; C: male)

2.7 栀子花精油对瓜实蝇的胃毒活性

栀子花精油对瓜实蝇的胃毒活性的死亡率随着处理浓度的增加而增加 ($F=201.898$, $P<0.001$)。瓜实蝇在 35 mg/mL 下对瓜实蝇毒杀活性最高 (校正死亡率为 $94.00\% \pm 2.45\%$), 统计分析可得出毒力回归方程: $y = -3.306 + 3.329x$; $LC_{50}=10.491$ mg/mL。2.1875、4.375、8.75 mg/mL 三者校正死亡率分别为 $3.00\% \pm 2.00\%$ 、 $11.00\% \pm 3.67\%$ 、 $48.00\% \pm 2.55\%$ (图 7-A)。同时, 随着栀子花精油浓度的增加, 瓜实蝇雌、雄成虫死亡率呈现上升趋势, 胃毒测定同样表明雄成虫比雌成虫更容易死亡, 统计得出雌、雄成虫 LC_{50} 分别为 $LC_{50}=16.169$ mg/mL, $LC_{50}=6.901$ mg/mL (图 7-B,C)。

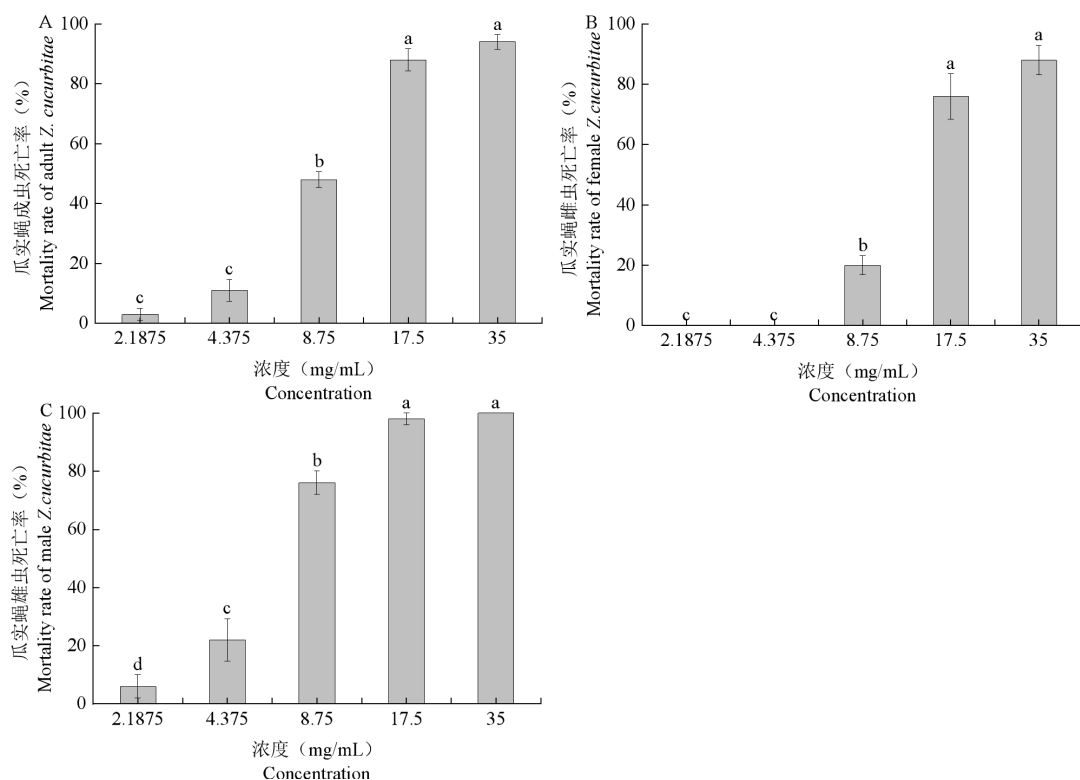


图7 梔子花精油对瓜实蝇胃毒活性

Fig. 7 Stomach poisoning of *Gardenia jasminoides* essential oil on *Zeugodacus cucurbitae*

注：A，成虫；B，雌虫；C，雄虫。Note: A, Adult; B, Female; C, Male.

3 结论与讨论

植物精油作为一类绿色、安全的天然活性物质，因其对非靶标生物具有安全无毒特性，且对多数农业害虫具有驱避、毒杀、引诱等生物活性，具有开发新型绿色药剂的重要潜质。本研究测试了11种植物精油对瓜实蝇成虫的驱避和毒杀活性，结果表明不同植物精油对瓜实蝇雌成虫驱避活性及产卵驱避活性有较大差异，其中梔子花精油对瓜实蝇雌成虫驱避活性最强。此外，药膜触杀和胃毒试验结果均表明，梔子花精油对瓜实蝇具有明显的毒杀活性，并呈现出典型的浓度剂量效应，且还发现雄虫比雌虫对梔子花精油更敏感。本研究为开发瓜实蝇新型行为调控剂和毒杀剂提供了科学依据。

植物精油是从植物组织中提取的一类具有挥发性的小分子油状次生代谢复合物，对不同昆虫生物活性存在较大差异性 (Ahl *et al.*, 2017; Zeni *et al.*, 2021)。胡菡青等 (2008) 和杨雪等 (2021) 研究表明天竺葵对桔小实蝇有较好引诱活性，但对黑腹果蝇 *Drosophila melanogaster* Meigen 有较强的驱避活性。快乐鼠尾草和艾草精油对蓝莓果蝇具有明显的驱避活性 (陈哲等, 2016; 华艳等, 2020)，但本研究发现快乐鼠尾草、艾草精油对瓜实蝇没有显著驱避活性。据报道，梔子花精油处理 24 h 对白粉虱成虫 *Trialeurodes vaporariorum* 产卵驱避率为 $63.58\% \pm 6.29\%$ (Wagan *et al.*, 2018)。此外，梔子花提取物对二斑叶螨有一定的驱避活性，且对棉蚜、桃蚜有很强的杀虫活性 (Kim *et al.*, 2005)。本研究也发现梔子花精油对瓜实蝇雌成虫有强烈的驱避活性及毒杀活性。此外，本研究发现月桂精油对瓜实蝇雌成

虫的产卵驱避作用和行为驱避作用存在一定差异性，其原因待进一步研究。

研究表明，植物精油对多数农业害虫具有毒杀活性。涂娟等（2022）研究表明大蒜精油对灰茶尺蠖幼虫 *Ectropis grisescens* Warren 有明显胃毒活性。猪毛蒿精油对小菜蛾成虫有较强胃毒活性，0.2 g/mL 死亡率为 92.65%（钟剑章等，2020）。北细辛精油对桔小实蝇成虫有较强的触杀活性（孙宇婷等，2024）。香茅油、柠檬草油、百里香油、山鸡椒油对桔小实蝇具有明显触杀活性（郭峰等，2020）。本研究发现栀子花精油对瓜实蝇具有显著触杀和胃毒活性，但其毒力活性成分及毒杀机制有待进一步研究。

非寄主植物精油能够干扰破坏寄主植物本身气味，导致害虫躲避寄主或不能辨别寄主（江志利，2002）。研究非寄主植物精油对瓜实蝇驱避活性，为开发瓜实蝇新型驱避剂具有重要创新意义。筛选植物提取物代替传统杀虫剂是目前植物保护领域研究的热点，植物精油作为一种天然的植物次生代谢产物，具备作为开发新型绿色植物源杀虫剂的重要潜质。综合本研究，栀子花精油对瓜实蝇雌虫具有较强的产卵驱避活性和毒杀活性，为靶向雌虫开发环保型药剂防控瓜实蝇奠定了科学基础。目前对栀子花精油中化学组分尚未明确，其活性化合物成分鉴定及驱避机制有待深入研究。

参考文献（Reference）

- Ahl SA, Hikal WM, Tkachenko KG. Essential Oils with Potential as Insecticidal Agents: A Review [J]. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2017, 3 (4): 23-33.
- Chen Z, Xu FL, Xie LH, *et al.* The repellent effect of 28 essential oils on female adults of *Drosophila melanogaster* [J]. *South China Fruits*, 2016, 45 (3): 138-140. [陈哲, 徐芳玲, 谢莉华, 等. 28 种植物精油对蓝蓟果蝇雌成虫趋避效果研究 [J]. 中国南方果树, 2016, 45 (3): 138-140]
- Czerniewicz P, Chrzanowski G, Sprawka I, *et al.* Aphicidal activity of selected Asteraceae essential oils and their effect on enzyme activities of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2018, 145: 84-92.
- Deng JQ, Zhu XM, Han P, *et al.* Research progress of *Zeugodacus cucurbitae* in China [J]. *Plant Quarantine*, 2021, 35 (4): 1-7. [邓金奇, 朱小明, 韩鹏, 等. 我国瓜实蝇研究进展 [J]. 植物检疫, 2021, 35 (4): 1-7]
- Filomeno CA, Almeida Barbosol C, Teixeira RR, *et al.* Chemical diversity of essential oils of Myrtaceae species and their insecticidal activity against *Rhyzopertha dominicaly* [J]. *Crop Protection*, 2020, 137: 105309.
- Franca LP, Amaral ACF, De S Ramos A, *et al.* Piper capitarianum essential oil: A promising insecticidal agent for the management of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, 28 (8): 9760-9776.
- Gonzales APPF, Yoshioka ETO, Delgadomathews P, *et al.* Anthelmintic efficacy of *Cymbopogon citratus* essential oil (Poaceae) against monogenean parasites of *Colossoma macropomum* Serrasalimidae, and blood and histopathological effects [J]. *Aquaculture*, 2020, 528: 735500.
- Guo F, Zhao RN, Li TM, *et al.* Toxicity and oviposition repellent effects of 10 plant essential oils on adults of *Bactrocera dorsalis* [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]
- He JG, Xiong GH, Xu Y. Toxicity and repellent activity of ethanol extracts from four plants against *Musca domestica* [J]. *Chinese Journal of Vector Biology and Control*, 2016, 27 (6): 542-545. [何建国, 熊国红, 徐颖. 4 种植物乙醇提取物对家蝇的毒杀及驱避活性 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2016, 27 (6): 542-545]
- He WR, Peng JB, Li ZS, *et al.* Studies on damage characteristics and integrated control of *Zeugodacus cucurbitae* [J]. *Chinese Horticulture Abstract*, 2012, 28 (8): 136-137. [何卫蓉, 彭建波, 李泽森, 等. 瓜实蝇为害特点及综合防治研究 [J]. 中国园艺文摘, 2012, 28 (8): 136-137]
- Hu HQ, Wu RJ, Wei XX, *et al.* Study on the toxicity and attractant effect of botanical pesticides on *Bactrocera dorsalis* [J]. *Entomological Journal of East China*, 2008, 1: 14-16. [胡茜青, 吴如健, 韦晓霞, 等. 植物源农药对橘小实蝇的毒杀及引诱作用研究 [J]. 华东昆虫学报, 2008, 1: 14-16]
- Hua Y. Repellent Effects of Different Plants and Their Extracts on *Drosophila melanogaster* [D]. Guiyang: Guizhou University Master

- Thesis, 2020. [华艳. 不同植物及其提取物对蓝莓果蝇的驱避效果研究 [D]. 贵阳: 贵州大学硕士论文, 2020]
- Huang H, Ling SQ, Qiu HL, *et al.* Repellent activity and antenna electrophysiology of guava leaf essential oil against *Chilades pandava* [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2022, 38 (6): 7-14. [黄华, 凌斯全, 邱华龙, 等. 番石榴叶精油对曲纹紫灰蝶的驱避活性和触角电生理 [J]. 林业与环境科学, 2022, 38 (6): 7-14]
- Jiang ZL. Study on the Toxic Effect of Plant Essential oil on *Musca domestica* [D]. Xianyang: Northwest A&F University Master Thesis, 2002. [江志利. 植物精油对家蝇的毒杀作用研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学硕士论文, 2002]
- Kim DI, Park JD, Kim SG, *et al.* Screening of Some Crude Plant Extracts for Their Acaricidal and Insecticidal Efficacies [J]. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2005, 8 (1): 93-100.
- Klocke JA, Darlington MV, Balandrin MF. 1,8-Cineole (Eucalyptol), a mosquito feeding and ovipositional repellent from volatile oil of *Hemizonia fitchii* (Asteraceae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1987, 13 (12): 2131-2141.
- Li HL, Cui HC, Huang HT, *et al.* Contact 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 HL, Yang BG, Liu ZG, *et al.* Behavioral characteristics and control strategies of *Zeugodacus cucurbitae* [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2017, 7: 54-55. [李红丽, 杨邦贵, 刘志刚, 等. 瓜实蝇行为学特点与防治对策 [J]. 长江蔬菜, 2017, 7: 54-55]
- Li YJ, Zhang DM, Dong JL, *et al.* Green comprehensive prevention and control technology of *Zeugodacus cucurbitae* in Zhengzhou City [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2021, 17: 58-59. [李元杰, 张东敏, 董加龙, 等. 郑州市瓜实蝇绿色综合防控技术 [J]. 长江蔬菜, 2021, 17: 58-59]
- Li ZW, Liu JL, Xiong T, *et al.* Study on oviposition repellent activity of Aloe vera extract against *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Bulletin of 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, 54 (3): 468-474]
- Lian YQ, Fu T, Li YR, *et al.* Repellent effect of cis-3-hexenyl acetate against *Galleria mellonella* (Zinne) [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2024, 52 (1): 131-136. [连雅琴, 付童, 李一然, 等. 顺-3-己烯醇乙酸酯对大蜡螟的驱避作用 [J]. 山西农业科学, 2024, 52 (1): 131-136]
- Liu XW, Xu HH, Ju R, *et al.* Research Progress of Plant Essential Oils in Pesticide Field [J]. *Flavour Fragrance Cosmetics*, 2004, 2: 36-39. [刘学文, 徐汉虹, 鞠荣, 等. 植物精油在农药领域中的研究进展 [J]. 香料香精化妆品, 2004, 2: 36-39]
- Luo Y, Zhang LL, Zhu J, *et al.* Study on the repellent activity of 13 kinds of plant essential oils against *Blattella germanica* [J]. *Chinese Journal of Hygienic Insecticides & Equipments*, 2022, 28 (4): 305-308. [罗茵, 张龙来, 朱剑, 等. 13 种植物精油对德国小蠊的驱避活性研究 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2022, 28 (4): 305-308]
- Piri A, Sahebzadeh N, Zibae A, *et al.* Toxicity and physiological effects of ajwain (*Carum copticum*, Apiaceae) essential oil and its major constituents against *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae) [J]. *Chemosphere*, 2020, 256: 127103.
- Qin QH, Peng YH, He JG, *et al.* Toxic activity of essential oil from wild carrot fruit against mosquito larvae [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2011, 27 (3): 418-422. [秦巧慧, 彭映辉, 何建国, 等. 野胡萝卜果实精油对蚊幼虫的毒杀活性 [J]. 中国生物防治学报, 2011, 27 (3): 418-422]
- Ren LY, Zeng L, Zhang Y, *et al.* Oviposition deterrent and antifeedant effects of volatile oil from *Momordica charantia* on *Liriomyza sativae* (Blanchard) [J]. *Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science*, 2008, 27 (4): 425-429. [任立云, 曾玲, 张跃, 等. 苦瓜挥发油对美洲斑潜蝇的产卵忌避和拒食作用 [J]. 广西农业生物科学, 2008, 27 (4): 425-429]
- Song CF, Feng XM, Wang ZY, *et al.* Biological activity of four non-host plant essential oils against *Plutella xylostella* [J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49 (2): 671-682. [宋程飞, 冯雪梦, 王志宇, 等. 四种非寄主植物精油对小菜蛾的生物活性 [J]. 植物保护学报, 2022, 49 (2): 671-682]
- Sun YT, Li X, Zhang GH, *et al.* Insecticidal activity and mechanism of *Asarum heterotropoides* essential oil against *Bactrocera dorsalis* [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2024, 52 (4): 128-132, 156. [孙宇婷, 李雪, 张国华, 等. 北细辛精油对桔小实蝇杀虫活性及其机理研究 [J]. 安徽农业科学, 2024, 52 (4): 128-132, 156]
- Tu HL, Gao XY, Yu YH, *et al.* Toxicity and repellent effect of 4 plant essential oils on *Zeugodacus 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]
- Tu J, Xie F, Wu YK, *et al.* Study on the action mode of garlic essential oil on *Ectopis grisescens* [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2022, 34 (6): 86-90. [涂娟, 谢枫, 吴月坤, 等. 大蒜精油对灰茶尺蠖的作用方式研究 [J]. 江西农业学报, 2022, 34 (6): 86-90]
- Wagan TA, Cai W, Hua H. Repellency, toxicity, and anti-oviposition of essential oil of *Gardenia jasminoides* and its four major chemical components against whiteflies and mites [J]. *Scientific Reports*, 2018, 8: 9375.
- Wang YZ, Ling B, Lu YY *et al.* The oviposition deterrent effects of several plant essential oils on *Bactrocera dorsalis* [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, Dai JQ, Chen DS, *et al.* Effect of plant essential oil on oviposition repellent and virulence of *Bifronsina bifrons* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (3): 753-759. [吴华, 戴建青, 陈大嵩, 等. 植物精油对草菇双额岩小粪蝇的产卵驱避效果及毒力测定 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (3): 753-759]
- Yang X, Wang ZG, Yu S, *et al.* The repellent / attractant activity and chemical composition analysis of seven plant essential oils against *Drosophila melanogaster* [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]
- Yu H, Mo JC, Huang QY, *et al.* Contact and repellent effects of four plant essential oils on *Odontotermes formosanus* [J]. *Guihaia*, 2018, 38 (4): 420-427. [余豪, 莫建初, 黄求应, 等. 四种植物精油对黑翅土白蚁触杀和驱避作用 [J]. 广西植物, 2018, 38 (4): 420-427]
- Yuan LF, Chen KW, Zeng L, *et al.* Study on the fumigation and poisoning effect of plant essential oils on the adults of *Cryptolestes ferrugineus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (1): 207-212. [源丽枫, 陈科伟, 曾伶, 等. 植物精油对锈赤扁谷盗成虫熏蒸毒杀作用研究 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (1): 207-212]
- Yuan YM, Zhang HY. Effects of six plant extracts on the biological activity of *Bactrocera dorsalis* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (25): 188-192. [袁伊旻, 张宏宇. 6 种植物提取物对橘小实蝇生物活性的影响 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (25): 188-192]
- Zeni V, Benelli G, Campolo O, *et al.* Toxics or lures? biological and behavioral effects of plant essential oils on tephritidae fruit flies (*Drosophilid*) [J]. *Molecules*, 2021, 26 (19): 5898.
- Zhang H, Li HL, Wang DF, *et al.* Toxicity of essential oil from *Artemisia lavandulaefolia* against *Matsumurasca onukii* [J]. *Acta Tea Sinica*, 2020, 61 (4): 183-186. [张辉, 李慧玲, 王定锋, 等. 野艾蒿精油对小贯小绿叶蝉的毒杀活性 [J]. 茶叶学报, 2020, 61 (4): 183-186]
- Zhao HL, Chen KW, Zeng L, *et al.* Study on repellent and fumigant activities of plant essential oils against *Cryptolestes turcicus* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2017, 39 (5): 1032-1040. [赵慧龙, 陈科伟, 曾伶, 等. 植物精油对土耳其扁谷盗的驱避和熏蒸活性研究 [J]. 环境昆虫学报, 2017, 39 (5): 1032-1040]
- Zhong JZ, Bi ZY, Huang X, *et al.* Insecticidal activity and chemical composition analysis of *Artemisia scoparia* essential oil against *Plutella xylostella* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2020, 42 (3): 293-299. [钟剑章, 毕增一, 黄星, 等. 猪毛蒿精油对小菜蛾的杀虫活性及其化学成分分析 [J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42 (3): 293-299]