

植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫的防控效果评价

索佳琪^{1,2}, 闫建全², 观秀倩³, 苏钻贤⁴, 王兴民¹, 孟翔^{2*}

1. 华南农业大学植物保护学院, 广东广州 510642; 2. 广东省科学院动物研究所/广东省动物保护与资源利用重点实验室/广东省野生动物保护与利用公共实验室, 广东广州 510260; 3. 广州大学生命科学学院, 广东广州 510006; 4. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642

摘要:荔枝蒂蛀虫 (*Conopomorpha sinensis*) 是危害荔枝和龙眼的重要害虫之一。目前, 主要通过使用化学农药来防治荔枝蒂蛀虫, 这种防治方法存在环境污染、增加害虫的抗药性等问题。因此, 寻找新型防控措施防治荔枝蒂蛀虫, 是近年来的研究热点之一。植物源甘油酯是一种新开发的农用喷洒油, 其杀虫效果与矿物油乳剂相当, 且害虫不易产生抗药性。本研究采用喷雾法测定植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫卵、蛹及成虫的触杀及产卵拒避作用, 并对其田间防控效果进行评价。结果表明: 植物源甘油酯对蒂蛀虫的卵、蛹和成虫均有一定的触杀作用, 在植物源甘油酯浓度为 4.55 g/L 时, 对 1 日龄卵的孵化抑制率达 40% 以上, 蛹羽化率在 20% 以下, 成虫死亡率可达 100%, 且对雌虫产卵具有一定的拒避作用。此外, 田间试验结果表明, 使用浓度为 4.55 g/L 植物源甘油酯后果园内荔枝蛀果率显著降低, 与农药混配可使农药使用量减半, 且蛀果率降至 1%。以上结果表明, 植物源甘油酯可用于果园荔枝蒂蛀虫的防控, 同时能够降低果园化学农药的使用, 显著提高荔枝蒂蛀虫的防治效果, 为荔枝产业的健康可持续发展提供研究基础。

关键词:荔枝蒂蛀虫; 植物源甘油酯; 触杀; 产卵拒避

中图分类号: S436.67

文献标志码: A

Plant Glyceride in the Control of *Conopomorpha sinensis* in Lichi

SUO Jiaqi^{1,2}, YAN Jianquan², GUAN Xiuqian³, SU Zuanxian⁴, WANG Xingmin¹, MENG Xiang^{2*}

1. School of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2. Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences / Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization / Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510260, China; 3. School of Life Sciences, Guangzhou University, Guangzhou, Guangdong 510006, China; 4. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China

Abstract: *Conopomorpha sinensis* is a main pest for litchi and longan. Currently, chemical pesticide control is still the primary technique on *C. sinensis*, which brings negative effects on the environment and increases insect pesticide resistance. Therefore, one imminent task is to develop new control strategies. The insecticidal plant glyceride oil, a new developed agricultural spray oil with no pesticide resistance, has a similar insecticidal effect compared with mineral oil. The contact insecticidal effects on *C. sinensis* eggs, pupae, adults and oviposition deterrent effect on adults of plant spray oil were evaluated by the spray method, and the evaluation of the field control effect was also conducted. The eggs, pupae, and adults were all susceptible to the oil. With 4.55 g/L of plant spray oil, the mortality rate of adult worms reached 100%, the emergence rate of pupae was less than 20%, the hatching inhibition rate of 1-day-old eggs was over 40%, and the plant spray oil had a certain repelling impact on spawning. Furthermore, the rate of fruit decay in the litchi orchard was greatly decreased by the oil treatment at the concentration of 4.55 g/L. The oil mixed with pesticides could reduce pesticide usage by half, while the rate of fruit decay was reduced to 1%. The results suggested that plant spray oil could be utilized to control *C. sinensis* in orchards, lessen the application of chemical pesticides, greatly enhance the

收稿日期 2023-12-12; 修回日期 2024-02-21

基金项目 广州市重点研发计划项目 (No. 2023B03J1372, No. 2023B03J1272); 广州市农村科技特派员项目 (No. 2023E04J0904)。

作者简介 索佳琪 (2000—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 资源利用与植物保护。*通信作者 (Corresponding author): 孟翔 (MENG Xiang), E-mail: mengxiangxs@126.com。

control effect of *C. sinensis*, and offer a research foundation for the long-term, healthy growth of the litchi industry.

Keywords: *Conopomorpha sinensis*; plant glyceride; contact; oviposition deterrent

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.09.014

荔枝蒂蛀虫(*Conopomorpha sinensis* Bradley) 属于鳞翅目(Lepidoptera)细蛾科(Gracilariidae), 又称爻纹细蛾, 是危害荔枝、龙眼的主要害虫之一^[1]。荔枝蒂蛀虫幼虫孵化后会蛀入寄主果核为害。幼虫老熟时钻出寄主后会在附近的叶片或枯枝落叶上结茧化蛹^[2]。该虫危害隐蔽, 防治困难, 严重时荔枝、龙眼虫果率达 60%~90%^[3-4], 目前对荔枝蒂蛀虫的防治主要以化学防治为主, 如 52.25%农地乐乳油、毒死蜱、氯虫苯甲酰胺等^[5-7]。但化学农药长期、过量使用, 显著增加了荔枝蒂蛀虫的抗药性, 同时还会导致荔枝、龙眼果实农药残留超标, 严重影响了相关产品的内销与出口, 造成了巨大的经济损失^[8-9]。因此, 寻找荔枝蒂蛀虫的新型、安全的防治措施, 降低农药的使用, 减少对荔枝和龙眼的农药残留, 对荔枝和龙眼产业的健康可持续发展至关重要。

农用喷洒油(agricultural spray oils)是一类具有特定结构和组分的憎水性长链碳氢化合物, 主要用于防控体型微小的害虫, 如蚜虫、叶螨、蓟马、介壳虫等^[10-11]。根据其主要成分的不同来源, 主要分为矿物源、植物源和动物源。已有研究表明, 农用喷洒油对害虫的作用机理主要为喷洒油分子在害虫体表形成油膜或进入气门堵塞呼吸系统导致害虫窒息死亡^[12]; 油分子穿透害虫组织后溶解、破坏细胞膜, 扰乱害虫的正常生理, 或呼吸系统受堵导致害虫缓慢死亡^[13]; 以直接或间接干扰害虫的寄主定位和产卵选择等^[14]。农用喷洒油的杀虫机理表明其不易使害虫产生抗药性, 目前尚未发现农用喷洒油引起的害虫抗药性问题, 且农用喷洒油还具有制作成本低、低毒、对人畜及环境安全等优点。目前, 农用喷洒油已广泛应用于蔬菜、花卉等价值高且敏感的植物虫害的防控中。其中矿物油乳剂在农用喷洒油中使用最为广泛, 联合国粮食及农业组织(2023)统计结果显示, 近 30 年来, 国内矿物油乳剂年均用量已接近 48 000 t。然而我国高等级矿物油乳剂的基础油, 目前全部依赖进口^[15-16]。欧阳革成等^[17]、刘慧等^[18]以中国大宗特色食品生产有机固废提取物为原料, 研发出一种植物源喷洒油, 经测试对害虫的触杀作用和行为拒避效果与国外生产的

高等级矿物油乳剂相当。该成果由广州欧联生物科技有限公司转化, 产品为欧丰连[®]农用植物油, 对柑橘木虱[*Diaphorina citri* (Kuwayama)]、黄曲条跳甲[*Phyllotreta striolata* (Fabricus)]、柑桔红蜘蛛[*Panonychus citri* (McGregor)]等体型微小的害虫具有良好触杀作用和行为拒避效果^[18-20]。鉴于植物源甘油酯的诸多优点, 其是否能够用于果园荔枝蒂蛀虫的防控仍缺乏相关报道。

本研究以荔枝蒂蛀虫为研究对象, 初步测试植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫卵、蛹、成虫的触杀及产卵拒避作用, 以及其在田间条件下对荔枝蒂蛀虫的防治效果, 并对比植物源甘油酯、植物源甘油酯与果园常规使用杀虫剂混配减量、果园常规杀虫剂之间的防控差异。研究结果可为使用农用喷洒油对荔枝蒂蛀虫的绿色防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

荔枝蒂蛀虫: 采集广州增城区东林果业荔枝园(113.764168°E, 23.246451°N)的落果, 置于室内待其化蛹, 温度为(26±1)℃、相对湿度为(80±5)%、光周期为 14 L:10 D, 每天收集虫蛹, 待成虫羽化后, 置于养虫笼内(50 cm×50 cm×50 cm), 以 5%蜂蜜水饲养。

荔枝蒂蛀虫虫卵收集: 将荔枝蒂蛀虫成虫(雌:雄=1:1)置于上述养虫笼内, 并将由凸凹形产卵纸包裹的新鲜荔枝放入养虫笼中, 使荔枝蒂蛀虫在产卵纸上产卵, 每天取出并更换产卵纸。

供试药剂: 93%植物源甘油酯乳剂, 由广州欧联生物科技有限公司生产, 广东省科学院动物研究所监制的欧丰连[®]农用植物油产品(专利: ZL201810995471.9)^[17]。

荔枝园常规管理用药: 除虫脲(上海生农生化制品股份有限公司)、阿维菌素(先正达南通作物保护有限公司)、阿维·高氯(河北农信生物科技有限责任公司)、噻虫·高氯氟(上海沪联生物药业股份有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫 3 种虫态的防治效果测定 (1)对卵的毒力测定。采用喷雾法,

用手持喷雾器将 3 mL 浓度为 9.10、4.55、2.88、1.14 g/L 植物源甘油酯药液 (0.1% Tween-20 水溶液配置) 均匀喷施到有 30 粒卵的大小相同的产卵纸 (15 cm×15 cm) 上。晾干后置于直径为 9 cm 的培养皿中。以 0.1% Tween-20 水溶液为对照, 每个处理重复 3 次。随后每天观察并记录卵的存活情况, 连续观察 10 d。

(2) 对蛹的毒力测定。用手持喷雾器将 3 mL 上述 4 种浓度的植物源甘油酯溶液按上述喷雾法均匀喷施到荔枝蒂蛀虫已化蛹的荔枝叶片上。以 0.1% Tween-20 水溶液为对照, 每个处理 20 头虫蛹, 每天记录蛹的羽化数量, 持续 8 d, 每个处理重复 3 次。

(3) 对成虫的毒力测定。将 10 头 2 日龄荔枝蒂蛀虫成虫接入一次性塑料杯 (直径为 9 cm, 高为 9.6 cm) 中, 用手持喷雾器将 1.500 mL 浓度为 9.100、4.550、2.880、1.140、0.608 g/L 的植物源甘油酯药液 (0.1% Tween-20 水溶液配置) 均匀喷施到塑料杯内, 用纱布封口。以 0.1% Tween-20 水溶液为对照, 每个处理重复 3 次。处理 3 h 后统计成虫死亡数。

1.2.2 雌虫产卵偏好性测定 分别测定植物源甘油酯浓度为 9.10、4.55 g/L 时对荔枝蒂蛀虫产卵的影响, 以 0.1% Tween-20 水溶液为对照。将各供试药液用手持喷雾器分别均匀喷施于大小一致的 5 个荔枝鲜果上, 待其充分晾干后 (约 30 min) 将对照组和处理组呈对角线排列置于纱网笼 (70 cm×70 cm×70 cm) 中, 并在每个纱网笼中央处释放已交配且处于产卵期的 30 头雌成虫, 分别于释放 1、2 d 后用体式显微镜统计荔枝果上的卵粒数, 每个处理重复 3 次。

1.2.3 田间药效测定 试验地点设在广东省广州市增城麻车新果场荔科技园实验地, 荔枝树 (树龄 10 a) 为统一种植和栽培管理的妃子笑品种。田间试验设 3 个处理: 常规杀虫剂处理区 (T_1), 杀虫剂使用按照荔科技园常规管理用药; 4.55 g/L 植物源甘油酯+常规杀虫剂用量减半处理区 (T_2); 4.55 g/L 植物源甘油酯处理区 (T_3)。喷施等量无菌水, 作为空白对照 (CK), 其他水肥管理一致。分别于 2022 年 4 月 5 日、4 月 19 日、4 月 30 日、5 月 18 日、5 月 28 日、6 月 7 日各喷 1 次药剂。每个处理设置 4 个重复, 每个重复 5 株荔枝树。待荔枝果实收获时, 在每株树的东、南、西、北、

中 5 个方位各随机采收鲜果 50 颗, 剖开果实统计虫蛀果数, 计算蛀果率和防治效果。

1.3 数据处理

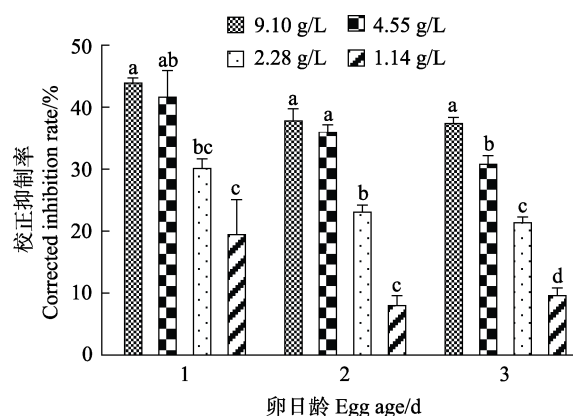
采用 SPSS22.0 软件对试验数据进行统计分析, 并计算死亡率和校正死亡率、拟合毒力回归方程、 LC_{50} 及其 95% 置信区间等参数; 利用单因素方差分析对校正死亡率、卵校正孵化抑制率进行分析, 并应用 Duncan's 新复极差法比较处理之间的差异显著性。

采用以下公式计算相关指标: 卵孵化抑制率=未孵化的卵数/处理总卵数×100%; 卵校正孵化抑制率=(处理组卵的孵化抑制-对照组卵孵化抑制率)/(1-对照组卵孵化抑制率)×100%; 蛹羽化率=孵化蛹数/总蛹数×100%; 成虫死亡率=死亡虫数/供试总虫数×100%; 成虫校正死亡率=(处理组死亡率-对照组死亡率)/(1-对照组死亡率)×100%。

2 结果与分析

2.1 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫 3 种虫态的防控效果

2.1.1 卵的孵化 为了明确植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫卵的影响, 分别测试不同浓度植物源甘油酯对不同日龄卵的孵化抑制效果 (图 1)。结果显示, 植物源甘油酯对不同日龄荔枝蒂蛀虫卵的孵化均具有抑制效果, 且抑制效率随着植物源甘油酯浓度的增加而增大, 其中, 9.10 g/L 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫 1 日龄卵孵化的校正抑制率达 40% 以上。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 1 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫卵孵化的抑制效果

Fig. 1 Inhibitory effect of plant spray oil on hatching of *C. sinensis* eggs

2.1.2 虫蛹的羽化 根据荔枝蒂蛀虫幼虫的化蛹习性,测试不同浓度植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫蛹羽化的影响,结果表明,喷施植物源甘油酯后,药液分布于荔枝叶表面,随后汇集于叶尖蒂蛀虫化蛹部位(图 2A)。显微观察虫蛹后发现,植物源甘油酯能够浸润和渗透荔枝蒂蛀虫蛹膜(图 2B)。与 CK 相比,喷施植物源甘油酯后荔枝蒂蛀虫蛹的羽化率显著降低,并且随着使用浓度的增大,虫蛹的羽化率逐渐降低,在浓度为 4.55 g/L 时荔枝蒂蛀虫蛹的羽化率降至 20% 以下(图 2C)。

2.1.3 成虫的触杀作用 为了测定不同浓度植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫成虫的触杀作用,测试了植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫成虫的毒力,结果显示,荔枝蒂蛀虫成虫的校正死亡率随着植物源甘油酯浓度的升高而显著增加,处理 3 h 时植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫成虫的致死中浓度(LC₅₀)为 0.764 g/L(95%置信区间为 0.130~1.105 g/L)。并且植物源甘油酯浓度为 4.55 g/L 时,荔枝蒂蛀虫成虫的死亡率可达 100%(表 1)。

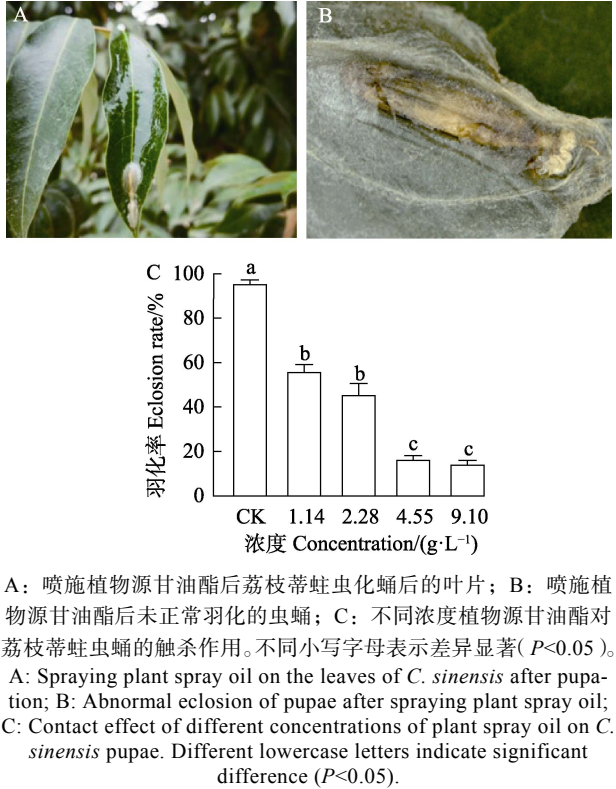


图 2 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫蛹的毒力测定
Fig. 2 Action of plant spray oil on pupae of *C. sinensis*

表 1 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫成虫的毒力
Tab. 1 Toxicity of plant spray oil to adults of *C. sinensis*

浓度 Concentration/(g·L ⁻¹)	校正死亡率 Adjusted mortality rate/%	致死中浓度 LC ₅₀ /(g·L ⁻¹)	毒力回归方程 Toxicity regression equation	95%置信区间 95%confidence interval/(g·L ⁻¹)	卡平方 χ ²
9.100	100±0 ^a	0.764	y=0.834x-0.637	0.130~1.105	3.425
4.550	100±0 ^a				
2.280	89.26±6.42 ^a				
1.140	58.52±5.96 ^b				
0.608	44.81±2.89 ^c				

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference (P<0.05).

2.2 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫的产卵拒避作用

对荔枝蒂蛀虫雌虫产卵拒避作用的测试浓度为 9.10、4.55 g/L 植物源甘油酯,结果表明,使用 9.10、4.55 g/L 植物源甘油酯处理后,在 1 d 时植物源甘油酯处理的荔枝蒂蛀虫的产卵数量显著低于 CK (P<0.05, F=19.768),但在 2 d 时,这种拒避效果逐渐减弱并消失(图 3)。

2.3 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫的田间防效

根据上述试验结果,选定浓度为 4.55 g/L 植物源甘油酯用于果园荔枝蒂蛀虫的防控测定,并比较其与常规杀虫剂减量混配及常规杀虫剂单独

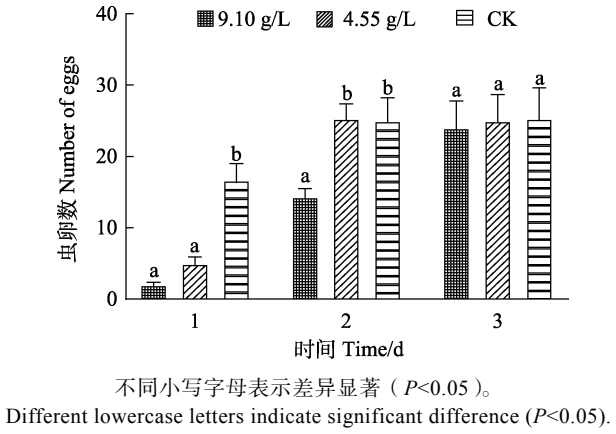
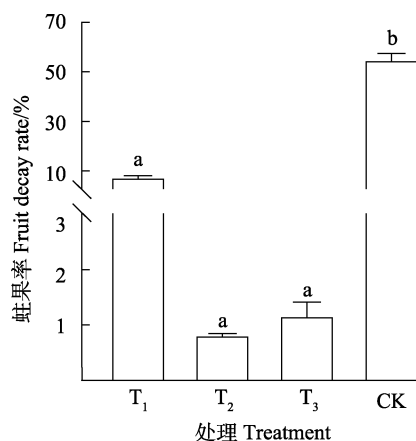


图 3 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫产卵的影响
Fig. 3 Effect of plant spray oil on spawning behavior of *C. sinensis*

使用时三者防治效果的差异。结果表明,使用 4.55 g/L 植物源甘油酯 (T_3) 处理后荔枝的蛀果率显著低于 CK, 与常规杀虫剂 (T_1) 使用后的防效相当, 且配合减半杀虫剂 (T_2) 处理后, 则进一步降低果园中荔枝的蛀果率 (图 4)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

图4 植物源甘油酯与常规杀虫剂防效比较

Fig. 4 Comparison of control efficiency between plant spray oil and conventional insecticides

3 讨论

荔枝是广东农业的传统优势产业。随着绿色农业的兴起, 利用新型害虫防控措施、降低化学农药的使用已成为提高荔枝品质、增加荔枝园经济收入的必要技术手段。为此, 本研究测定了植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫卵、蛹和成虫的防控效果, 并在果园初步测定了喷施植物源甘油酯、植物源甘油酯与常规农药减量混配以及常规农药后荔枝的蛀果率, 以期利用农用喷洒油对荔枝蒂蛀虫进行绿色防控提供研究基础。

植物源甘油酯符合国内外有机食品生产允许使用的农药范围, 且成本比矿物源乳剂和其他植物源乳剂低, 能对木虱、粉虱等小型害虫和一些叶面微生物病害的防控起一定作用^[18-20]。本研究的室内测试结果表明, 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫成虫具有较高的触杀效果, 且随着植物源甘油酯浓度的增加而增大, 在浓度为 4.55 g/L 时, 植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫成虫有完全杀灭的效果。这与用植物源甘油酯防治柑橘木虱成虫和黄曲条跳甲成虫的防治效果相似^[18-19]。研究还发现植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫卵的孵化具有显著的抑制效果, 这可能是由于植物源甘油酯堵塞虫卵

的气门, 致其缺氧窒息或生命力下降而亡^[21]。此外, 在试验过程中发现, 植物源甘油酯可浸润并渗透蛹膜, 干扰蛹的发育, 使其无法正常羽化而死亡, 但具体的原因仍需进一步探究。

已有研究显示, 农用喷洒油还具有很强的展着性, 寄主植物完全被喷洒油覆盖变干后对害虫的行为特性产生影响, 如干扰害虫的寄主定位、取食、产卵行为等^[19, 22]。在本研究中还发现, 植物源甘油酯在短时间内可引起荔枝蒂蛀虫雌虫拒避选择荔枝鲜果产卵, 与蓖麻油田间防治小菜蛾 [*Plutella xylostella* (Linnaeus)] 的结果类似, 均可拒避雌虫产卵^[23]。因此, 在喷施植物源甘油酯的短时间内, 与性信息素等引诱剂联合应用, 构成拒避-诱杀系统, 对荔枝蒂蛀虫实行推拉防控策略。

此外, 油乳剂与化学农药混配可增加化学药剂的展着性和渗透性, 弥补油乳剂在持效性能方面的不足, 以减少化学农药的使用量并提高防治效果^[20, 24]。孙泉良等^[25]研究发现怀农特 (WETCIT) TM 高效植物油助剂对吡蚜酮防治褐飞虱 [*Nilaparvata lugens* (Stal)] 具有增效作用, 可使吡蚜酮的速效性、最大防治效果和持效性等方面得到改良; 阳廷密等^[26]研究发现在防治柑橘红蜘蛛时, 一定浓度的甲基化植物油、*d*-柠檬烯对螺螨酯悬浮剂具有明显的增效减量作用。田间试验结果表明, 植物源甘油酯与常规杀虫剂减量混合使用时, 其防控效果略低于杀虫剂和植物源甘油酯单施区, 与孙泉良等^[25]将怀农特 TM 高效植物油助剂与吡蚜酮混配对褐飞虱的防治效果相似, 均达到增效减量的作用。这表明植物源甘油酯作助剂与荔枝园常规杀虫剂混用, 不仅能够控制果园内荔枝蒂蛀虫的蛀果率, 同时能够降低化学农药的使用量, 达到增效减量的目的, 该方法还可起到延缓蒂蛀虫产生抗药性的作用, 降低对环境的污染。

植物源甘油酯是一种新型的农用喷洒油药剂, 对环境安全友好, 且不会使害虫产生抗药性, 但对其杀虫能力的评价仍较少。本研究发现植物源甘油酯对荔枝蒂蛀虫具有较好的防治效果, 可有效降低果园内荔枝蒂蛀虫的蛀果率, 还能显著减少化学农药的使用。植物源甘油酯对荔枝果园内其他害虫是否也具有防治效果及其作用机理, 仍需进一步探究。

参考文献

- [1] 李康. 荔枝蒂蛀虫的发生及防治[J]. 广西农业科学, 2002(5): 249-250.
LI K. Occurrence and control of *Conopomorpha sinensis* Bradley[J]. Guangxi Agricultural Science, 2002(5): 249-250. (in Chinese)
- [2] 周福庆. 廉江市荔枝蒂蛀虫发生为害特点与防治对策[J]. 热带农业科学, 2016, 36(2): 83-85.
ZHOU F Q. Damage characteristics of *Conopomorpha sinensis* Bradle in Lianjiang city and control measures[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2016, 36(2): 83-85. (in Chinese)
- [3] 林长福. 农地乐防治荔枝蒂蛀虫等害虫应用技术初探[J]. 植保技术与推广, 2000, 20(2): 29-30.
LIN C F. Preliminary study on application of Nongdile to control litchi pests such as litchi fruit borer[J]. Plant Protection Technology and Extension, 2000, 20(2): 29-30. (in Chinese)
- [4] 李文景, 董易之, 姚琼, 陈炳旭. 荔枝蒂蛀虫研究进展[J]. 昆虫学报, 2018, 61(6): 721-732.
LI W J, DONG Y Z, YAO Q, CHEN P X. Research progress in the litchi fruit borer, *Conopomorpha sinensis* (Lepidoptera: Gracillariidae)[J]. Acta Entomologica Sinica, 2018, 61(6): 721-732. (in Chinese)
- [5] 邓钦阳, 张小燕, 罗文娟, 陈军, 刘维文, 尹奇勋. 40%氯虫·噻虫嗪水分散剂防治荔枝蒂蛀虫药效试验[J]. 农业科技通讯, 2010(11): 52-53.
DENG Q Y, ZHANG X Y, LUO W J, CHEN J, LIU W W, YI Q X. Efficacy of 40% chloro-thiamethoxam water dispersible agent against litchi fruit borer[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2010(11): 52-53. (in Chinese)
- [6] 吴学步, 杜家义. 6 种杀虫剂对荔枝蒂蛀虫田间药效比较[J]. 中国南方果树, 2012, 41(1): 61-62.
WU X B, DU J Y. Field efficacy of six insecticides to *Conopomorpha sinensis* Bradley[J]. South China Fruits, 2012, 41(1): 61-62. (in Chinese)
- [7] 李鹏燕, 柏建山, 刘艳萍, 王思威, 孙海滨, 徐树兰. 3 种杀虫剂对荔枝蒂蛀虫的药剂敏感性和解毒酶活性影响[J]. 中国植保导刊, 2016, 36(11): 15-19.
LI P Y, BAI J S, LIU Y P, WANG S W, SUN H B, XU S L. Effects of three insecticides on drug sensitivity and detoxified enzyme activity of *Conopomorpha sinensis* Bradly[J]. China Plant Protection, 2016, 36(11): 15-19. (in Chinese)
- [8] 易干军, 王小兵, 霍合强. 中国荔枝出口的现状与对策[J]. 果树学报, 2001, 19(3): 188-190.
YI G J, WANG X B, HUO H Q. The litchi industry status in China and its export strategies[J]. Journal of Fruit Science, 2001, 19(3): 188-190. (in Chinese)
- [9] 王少山, 黄寿山, 梁广文, 曾玲. 荔枝蒂蛀虫的饲养及其实验种群生命表[J]. 生态学报, 2008, 28(2): 836-841.
WANG S S, HUANG S S, LIANG G W, ZENG L. The rearing and the laboratory population life table of litchi fruit borer (*Conopomorpha sinensis* Bradley)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 836-841. (in Chinese)
- [10] RAE D J, BEATTIE G A C, 黄明度, 杨悦屏, 欧阳革成. 矿物油乳剂及其应用: 害虫持续控制与绿色农业[M]. 广州: 广东科技出版社, 2006.
RAE D J, BEATTIE G A C, HUANG M D, YANG Y P, OUYANG G C. The emulsion and its application of mineral oil: sustainable pest control and green agriculture[M]. Guangzhou: Guangdong Science Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [11] 郭明程, 王晓军, 杨峻. 我国主要小型害虫防治用药登记概况及趋势[J]. 农药科学与管理, 2019, 40(11): 5-10.
GUO M C, WANG X J, YANG J. Overview and trend of pesticide registration for the control of major small insects in China[J]. Pesticide Science and Administration, 2019, 40(11): 5-10. (in Chinese)
- [12] 魏喜葵, 赵喜欢, 黄彰欣. 苦楝油防治桔全爪螨的研究[J]. 华南农业大学学报, 1989, 10(4): 48-55.
WEI X K, ZHAO S H, HUANG Z X. Experiments on the application of chinaberry seed oil for the control the citrus red mite *Phonychus citri*[J]. Journal of South China Agricultural University, 1989, 10(4): 48-55. (in Chinese)
- [13] STADLER T, BUTELER M. Modes of entry of petroleum distilled spray-oils into insects: a review[J]. Bulletin of Insectology, 2009, 62(2): 169-177.
- [14] OUYANG G C, FANG X D, LU H L, ZHOU X, MENG X, YU S K, GUO M F, XIA Y L. Repellency of five mineral oils against *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae)[J]. Florida Entomologist, 2013, 96(3): 974-982.
- [15] 梁智永, 卢振旭, 杨琼玉, 冯耀恒, 毛润乾. 高标准矿物油农药基础油的研制[J]. 农药, 2019, 58(4): 258-261.
LIANG Z Y, LU Z X, YANG Q Y, FENG Y H, MAO R Q. The production of high standard agricultural mineral base oil[J]. Agrochemicals, 2019, 58(4): 258-261. (in Chinese)
- [16] 华乃震. 矿物油的特性及其在植保中的应用技术[J]. 世界农药, 2021, 43(11): 13-18, 43.
HUA N Z. The characteristics of mineral oil and its application techniques in plant protection[J]. World Pesticide, 2021, 43(11): 13-18, 43. (in Chinese)
- [17] 欧阳革成, 卢慧林, 戴伟杰, 曹庸, 刘慧, 龚碧雅, 肖伏莲, 方小端, 侯柏华, 孟翔. 酱油渣甘油酯在制备防治微型害虫或叶面真菌细菌病害制剂中的应用: ZL201810995 471.9[P]. 2021-01-29.
OUYANG G C, LU H L, DAI W J, CAO Y, LIU H, GONG

- B Y, XIAO F L, FANG X D, HOU B H, MENG X. Application of soy sauce residue glyceride in preparation of preparations for the prevention and control of micro-pests or leaf fungal bacterial diseases: ZL201810995471.9[P]. 2021-01-29. (in Chinese)
- [18] 刘慧, 卢慧林, 龚碧涯, 何利庭, 向敏, 肖伏莲. 植物源蒸馏油乳剂对柑桔木虱的触杀和拒避作用评价[J]. 中国南方果树, 2020, 49(2): 6-9.
- LIU H, LU H L, GONG B Y, HE L T, XIANG M, XIAO F L. Evaluation of contact and repellent effects of plant derived distilled oil emulsion on *Diaphorina citri*[J]. South China Fruits, 2020, 49(2): 6-9. (in Chinese)
- [19] 闫建全, 刘豪, 陈力嘉, 卢慧林, 陈逢浩, 侯军晓, 杨蓉, 欧阳雄发, 欧阳革成, 孟翔. 植物源甘油酯与金龟子绿僵菌对黄曲条跳甲的室内毒力及田间防效评价[J]. 中国生物防治学报, 2022, 38(5): 1174-1183.
- YAN J Q, LIU H, CHEN L J, LU H L, CHEN F H, HOU J X, YANG R, OUYANG X F, OUYANG G C, MENG X. Toxicity and field control efficacy of plant spray oil and *Metarhizium anisopliae* to *Phyllotreta striolata*[J]. Chinese Journal of Biological Control, 2022, 38(5): 1174-1183. (in Chinese)
- [20] 龚碧涯, 卢慧林, 刘慧, 肖伏莲, 杨水芝, 李先信, 刘元, 吴志鹏, 刘秀波. 植物源甘油酯及其减药组合对3种柑桔害虫的防控效果评价[J]. 中国南方果树, 2021, 50(6): 25-28.
- GONG B Y, LU H L, LIU H, XIAO F L, YANG S Z, LI X X, LIU Y, WU Z P, LIU X B. Evaluation of the control effect of plant-derived glyceride and its reduced drug combination on three citrus pests[J]. South China Fruits, 2021, 50(6): 25-28. (in Chinese)
- [21] DAVIDSON N A. Managing insects and mites with spray oils[M]. DANR, USA: IPM Education and Publications, 1991.
- [22] 李秋霞, 王英. 植物源蚊虫驱避剂的研究进展[J]. 中国热带医学, 2017, 17(5): 522-525, 536.
- LI Q X, WANG Y. Progress on the research of plant-based repellents against mosquitoes[J]. China Tropical Medicine, 2017, 17(5): 522-525, 536. (in Chinese)
- [23] KODJO T A, GBÉNONCHI M, SADATE A, KOMI A, KOMLA S. Bio-insecticidal effects of plant extracts and oil emulsions of *Ricinus communis* L. (Malpighiales: Euphorbiaceae) on the diamondback, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) under laboratory and semi-field conditions[J]. Journal of Applied Biosciences, 2011, 43: 2899-2914.
- [24] 岑伊静, 徐长宝, 田明义. 机油乳剂防治柑桔害虫的研究进展[J]. 华南农业大学学报, 1999, 20(2): 118-122.
- CEN Y J, XU C B, TIAN M Y. Advances in the use of petroleum spray oils in control of pests in citrus[J]. Journal of South China Agricultural University, 1999, 20(2): 118-122. (in Chinese)
- [25] 孙泉良, 陈建仁, 金立新. 防治褐飞虱植物油助剂怀农特的增效试验[J]. 浙江农业科学, 2014(3): 380-381.
- SUN Q L, CHEN J R, JIN L X. Synergistic experiment of Huainongte, a plant oil additive for the control of brown rice planthopper[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2014(3): 380-381. (in Chinese)
- [26] 阳廷密, 张素英, 唐明丽, 王明召, 门友均, 娄兵海, 姚登峰. 植物油助剂对螺螨酯防治柑桔全爪螨的增效作用和减量作用[J]. 中国南方果树, 2019, 48(3): 15-17.
- YANG T M, ZHANG S Y, TANG M L, WANG M Z, MEN Y J, LOU B H, YAO D F. Synergistic and reducing effect of vegetable oil auxiliaries on spiromites in the control of *Panonychus citri* McGregor[J]. South China Fruits, 2019, 48(3): 15-17. (in Chinese)