

# 桔小实蝇食饵剂筛选及田间抗性检测\*

杨 琴<sup>1,2\*\*</sup> 杨大全<sup>2\*\*</sup> 柴永飞<sup>3</sup> 杨毅娟<sup>4</sup> 龚占斌<sup>1</sup> 谭安超<sup>1</sup>  
张秀英<sup>1</sup> 王顺富<sup>1</sup> 王 斌<sup>5</sup> 李云国<sup>1\*\*\*</sup> 黄国嫣<sup>1\*\*\*</sup>

(1. 昭通市苹果产业发展中心, 昭通 657000; 2. 云南省烟草公司昆明市公司, 昆明 650051; 3. 云南农业大学植物保护学院, 昆明 650201; 4. 昭通市植保植检站, 昭通 657000; 5. 昭阳区苹果产业发展中心, 昭通 657000)

**摘 要** 【目的】 探明不同杀虫剂和饵料配制的食饵剂对云南地区桔小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 室内敏感种群和田间种群的毒力效应, 筛选高效且安全的防治桔小实蝇食饵剂。【方法】 采用胃毒法分别测定 6 种杀虫剂就红糖、香醋和甲基丁香酚配制的毒饵对桔小实蝇室内敏感种群和田间种群的室内毒力, 同时测定了田间种群的抗药性。【结果】 处理 24 h 后, 清水+杀虫剂、6%红糖+杀虫剂和 6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+杀虫剂配制的食饵剂对桔小实蝇室内敏感种群和田间种群成虫的毒力大小顺序均为: 甲维盐 ( $LC_{50}$  为 3.436 - 11.235 mg/L) > 乙基多杀菌素 ( $LC_{50}$  为 13.052 - 18.369 mg/L) > 阿维菌素 ( $LC_{50}$  为 28.341 - 68.657 mg/L) > 丁硫克百威 ( $LC_{50}$  为 49.595 - 153.425 mg/L) > 溴氰虫酰胺 ( $LC_{50}$  为 61.629 - 187.065 mg/L) > 高效氯氰菊酯 ( $LC_{50}$  为 104.755 - 235.081 mg/L); 6%红糖+9%香醋+不同杀虫剂配制的食饵剂对桔小实蝇室内敏感种群和田间种群成虫的毒力大小顺序为: 甲维盐 ( $LC_{50}$  为 6.541 - 7.308 mg/L) > 乙基多杀菌素、阿维菌素 ( $LC_{50}$  为 10.420 - 16.991 mg/L) > 丁硫克百威、高效氯氰菊酯、溴氰虫酰胺 ( $LC_{50}$  为 50.047 - 83.148 mg/L); 以 6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+甲维盐配制的食饵剂对 2 个种群的毒杀活力最高; 田间抗药性检测结果显示, 桔小实蝇对各杀虫剂均处于敏感水平。【结论】 综合室内毒力和田间抗性测定结果, 首选 6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+甲维盐配制的食饵剂防治桔小实蝇, 可在成虫暴发前喷施控制虫源基数。

**关键词** 桔小实蝇; 食饵剂; 室内毒力; 抗性检测

## Optimizing baits for *Bactrocera dorsalis* and detecting insecticide resistance in a population of this pest in Yunnan

YANG Qin<sup>1, 2\*\*</sup> YANG Da-Quan<sup>2\*\*</sup> CHAI Yong-Fei<sup>3</sup> YANG Yi-Juan<sup>4</sup> GONG Zhan-Bin<sup>1</sup>  
Tan An-Chao<sup>1</sup> ZHANG Xiu-Ying<sup>1</sup> WANG Shun-Fu<sup>1</sup> WANG Bin<sup>5</sup>  
LI Yun-Guo<sup>1\*\*\*</sup> HUANG Guo-Yan<sup>1\*\*\*</sup>

(1. Zhaotong Apple Industry Development Center, Zhaotong 657000, China; 2. Kunming Branch of Yunnan Tobacco Company, Kunming 650051, China; 3. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;  
4. Zhaotong Plant Protection and Quarantine Station, Zhaotong 657000, China;  
5. Zhaoyang Apple Industry Development Center, Zhaotong 657000, China)

**Abstract** [Aim] To develop better toxic baits to control *Bactrocera dorsalis*. [Methods] The toxicity of baits containing six different pesticides to an insecticide-sensitive, and wild *B. dorsalis* populations in Yunnan, were investigated. Each insecticide was mixed with sugar, aromatic vinegar, and methyl eugenol, and the toxicity of the resultant baits was then tested on adults from the insecticide-sensitive and wild populations using the stomach toxicity method. Resistance of the wild population was also determined in the laboratory. [Results] Different baits were configured as follows: Water + insecticide, 6% sugar + insecticide, 6% sugar + 9% aromatic vinegar + 5% methyl eugenol + insecticide. The relative toxicity of the

\*资助项目 Supported projects: 果树果实蝇类害虫优势种生态控制技术研究示范 (202102AE090006); 云南省昭阳区苹果产业科技特派团 (202104BI090028)

\*\*共同第一作者 Co-first authors, E-mail: yangqin1015@163.com; 924410997@qq.com

\*\*\*共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: liyung@126.com; 865999010@qq.com

收稿日期 Received: 2024-09-13; 接受日期 Accepted: 2024-11-06

different insecticides on *B. dorsalis* was as follows: Emamectin benzoate > spinetoram > abamectin > carbosulfan > cyantraniliprole > beta-cypermethrin. The relative toxicity of baits comprised of 6% sugar + 9% aromatic vinegar + insecticide on *B. dorsalis* adults was as follows: Emamectin benzoate > spinetoram or abamectin > carbosulfan, beta-cypermethrin or cyantraniliprole. Baits comprised of 6% sugar + 9% aromatic vinegar + 5% methyl eugenol + emamectin benzoate had the highest toxicity to both the sensitive and wild populations. A resistance test demonstrated that *B. dorsalis* was sensitive to all pesticides. **[Conclusion]** Baits comprised of 6% sugar + 9% aromatic vinegar + 5% methyl eugenol+ emamectin benzoate were the best of those tested for *B. dorsalis* control. This bait could effectively control *B. dorsalis* population if applied before the adult outbreak period.

**Key words** *Bactracera dorsalis*; food bait; toxicity; resistance detection

桔小实蝇 *Bactracera dorsalis* 因食性杂、寄主植物广泛、繁殖速度快、适应能力强、传播距离远, 成为果蔬生产上的区域暴发性害虫, 过去仅在华南地区局部发生 (Wan *et al.*, 2012), 近年来该虫以各种虫态随贸易往来、交通运输等方式迅速扩散与传播, 在我国云南、四川、贵州、湖南、福建和台湾等多地都有分布和为害 (王蒙等, 2014)。桔小实蝇属钻蛀性害虫, 性成熟的雌成虫将卵产在果实表皮下, 卵孵化为幼虫后蛀食果肉, 常造成果实腐烂, 或未熟先黄而脱落, 为害轻时降低果实的品质和产量, 重者造成绝收, 严重威胁果蔬产业的健康发展 (宫庆涛等, 2022; 郭腾达等, 2022)。云南昭通气候适宜, 为桔小实蝇适生区, 同时盛产多种特色水果, 如昭通苹果、永善枇杷、盐津李子和小寨樱桃等, 近年来桔小实蝇已成为危害云南昭通特色水果的重要害虫之一, 影响到果品质量和销售价格, 严重阻碍了当地特色水果产业和经济社会的健康发展。

为减轻桔小实蝇对果蔬造成的经济损失, 我国在该虫的治理上开展了大量的研究工作, 推广应用了多种田间防控措施, 包括农业防治如种植抗虫品种或调整果蔬成熟期等 (金扬秀等, 2022), 物理防治如悬挂粘虫板或使用性诱剂诱控 (张艳等, 2013; 杨琴等, 2021), 生物防治如利用寄生蜂和不育雄虫防控桔小实蝇 (郑思宁等, 2013)。当前实际生产中主要还是依靠化学药剂, 但化学防治对这类钻蛀性害虫的防治效果并不理想, 而且大量不合理施用农药已导致桔小实蝇产生抗性且抗性水平急剧上升 (Jin *et al.*, 2011; 姚其等, 2017), 发展桔小实蝇绿色防控

技术已成为果蔬安全生产的必然需求。根据桔小实蝇雌雄虫发育和雌虫在产卵前需要补充大量营养物质才能发育成熟的生物学特性 (Teal *et al.*, 2004), 采用毒饵诱杀是防治该虫的有效绿色防控措施, 且添加少量的糖蜜、香醋和性诱剂等饵料混配后诱杀效果更好。如在柑桔园内按“红糖 1 000 g+食用醋 200 g+40%毒死蜱 EC 100 g+水 30 kg”配制成食诱剂诱杀成虫, 防治效果高达 60%以上, 果实受害率控制在 2%以下 (廖宪成等, 2013)。为筛选高效安全的食饵剂, 以便更好的控制该虫的为害, 本研究使用防治桔小实蝇的 6 种杀虫剂就红糖、香醋、甲基丁香酚 3 种饵料配制成食饵剂对桔小实蝇成虫进行室内毒力测定和田间抗性测定, 旨在为今后桔小实蝇的绿色持效防控提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

室内敏感种群 (SS): 虫源 2003 年采自云南省建水县芒果园, 于室内利用人工饲料饲喂 (袁盛勇等, 2003), 期间经过复壮, 实验室种群保持良好且实验结果保持稳定, 成虫使用 10%蜂蜜水补充水分和营养, 饲养期间不接触任何药剂。饲养环境为: 温度 25-28 °C, 相对湿度 65%-85%, 光周期 14L: 10D。

田间种群 (LD): 在监测到桔小实蝇虫口数量上升时, 利用诱捕器和甲基丁香酚在昭通市鲁甸县龙头山镇天生桥 (海拔 1 135.5 m, 27°06'N, 103°37'E,) 诱集桔小实蝇雄虫, 滴有甲基丁香酚的诱芯用尼龙网纱袋包住置于瓶中, 诱瓶中放

入湿润的棉花球,为桔小实蝇提供水分,带回室内放进养虫笼,用芒果、苹果、10%蜂蜜水饲养,将饲养的桔小实蝇直接用于毒力测定。

## 1.2 供试药剂

5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油(ME)(以下简称甲维盐),惠州市银农科技股份有限公司;5%阿维菌素乳油(EC),深圳诺普信农化股份有限公司;10%高效氯氰菊酯乳油(EC),美国仙农有限公司;20%丁硫克百威乳油(EC),10%溴氰虫酰胺可分散油悬浮剂(OD),美国富美实公司;6%乙基多杀菌素悬浮剂(SC),美国陶氏益农公司。

## 1.3 试验方法

**1.3.1 毒力测定** 参考李强等(2022)棉球饲喂法测定各供试药剂对成虫的毒力,并略有改进。用蒸馏水将药剂稀释成几个不同的浓度梯度,配制清水+杀虫剂、6%红糖+杀虫剂、6%红糖+9%香醋+杀虫剂、6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+杀虫剂4种食饵剂;将一次性树脂杯(250 mL)用昆虫针均匀的扎4列小孔,每列扎4个,在树脂杯中接入15头桔小实蝇5日龄成虫,树脂杯倒扣在滤纸片上,将配制好的毒饵取10 mL倒入放在瓶盖中的棉花上并放入树脂杯中,将处理好的树脂杯置于温度为25-28℃,相对湿度为65%-85%,14L:10D的室内,处理24 h后观察统计滤纸上桔小实蝇死亡数,死亡标准为用挑针触碰30 s内无自主反应,每个药剂浓度重复3次,设清水为对照,以对照死亡率小于10%视为有效测定。

**1.3.2 抗性测定方法** 采用胃毒法进行毒力测定,具体试验方法同1.3.1节。将田间种群测定结果与室内敏感种群的毒力测定结果比较得出抗性倍数(Resistant ratio, RR),抗性倍数(RR)=抗性品系 $LC_{50}$ /敏感品系 $LC_{50}$ ;抗性水平分级标准:≤3倍表明处于敏感阶段,在3-10倍之间表明产生了低水平抗性,10.1-40倍之间为中抗水平,40.1-160倍之间为高抗水平,>160倍则为极高水平抗性(Zhang *et al.*, 2015)。

## 1.4 数据处理

试验数据采用Excel 2016进行统计,利用SPSS 26.0软件计算各药剂毒力回归方程、致死中浓度及95%置信区间等参数。室内毒力测定计算相对毒力指数时,以毒力最低的 $LC_{50}$ 为基准,相对毒力指数设为1,其他药剂对桔小实蝇种群的 $LC_{50}$ 与之相比较,相对毒力指数=毒力最低的 $LC_{50}$ /其他药剂对桔小实蝇种群的 $LC_{50}$ ,其值越高,药剂的毒力越高。

## 2 结果与分析

### 2.1 清水+杀虫剂食饵剂对桔小实蝇成虫室内毒力及抗性测定

不同药剂配制的食饵剂对桔小实蝇种群的毒力存在一定差异,10%高效氯氰菊酯乳油对桔小实蝇田间种群的毒力最低,以其 $LC_{50}$ 为基准计算其他药剂对桔小实蝇种群的相对毒力指数,相对毒力指数范围为1.257-39.556;其中,5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油对桔小实蝇室内敏感种群和田间种群有较高的毒力,其 $LC_{50}$ 范围为5.943-11.235。由表1可知对桔小实蝇室内敏感种群和田间种群毒杀较好的杀虫剂依次为:甲维盐>乙基多杀菌素>阿维菌素>丁硫克百威>溴氰虫酰胺>高效氯氰菊酯。从抗性倍数来看,所有供试药剂的田间抗性倍数均小于3倍,表明田间种群的桔小实蝇对这6种杀虫剂的抗性水平都处于敏感水平,乙基多杀菌素的抗性倍数最小,仅为1.012。

### 2.2 6%红糖+杀虫剂食饵剂对桔小实蝇成虫室内毒力及抗性测定

采用6%红糖+不同杀虫剂配制的食饵剂对桔小实蝇种群的毒杀效果不同,其中10%高效氯氰菊酯乳油对田间种群的毒力最低,其致死中浓度为145.796 mg/L;以其 $LC_{50}$ 为基准计算其他药剂对桔小实蝇种群的相对毒力指数,相对毒力指数范围为1.247-24.532;5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油对桔小实蝇室内敏感种群和田间种

表 1  清水+杀虫剂食饵剂对桔小实蝇种群的毒力和抗性测定结果  
Table 1  Toxicity and resistance test results of the different population of *Bactrocera dorsalis* in water+insecticide food bait

| 杀虫剂<br>Insecticide                              | 种群<br>Population | 毒力回归方程<br>Toxicity regression equation | 致死中浓度 (mg/L)<br>(95%置信区间)<br>LC <sub>50</sub> (mg/L)<br>(95% Confidence interval) | 相对毒力指数<br>Relative toxicity index | 相关系数<br>Correlation coefficient | 抗性倍数<br>Resistant ratio |
|-------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 5%甲氨基阿维菌素<br>苯甲酸盐乳油<br>5% Emamectin benzoate EC | SS               | y= - 1.127+1.456x                      | 5.943 ( 0.140-12.411 )                                                            | 39.556                            | 0.897                           | —                       |
|                                                 | LD               | y= - 1.443+1.373x                      | 11.235 ( 2.136-18.223 )                                                           | 20.924                            | 0.917                           | 1.890                   |
| 6%乙基多杀菌素悬浮剂<br>6% Spinetoram SC                 | SS               | y= - 3.436+2.756x                      | 17.655 ( 9.664-22.840 )                                                           | 13.315                            | 0.832                           | —                       |
|                                                 | LD               | y= - 2.282+1.823x                      | 17.866 ( 8.148-24.717 )                                                           | 13.158                            | 0.986                           | 1.012                   |
| 5%阿维菌素乳油<br>5% Abamectin EC                     | SS               | y= - 2.148+1.384x                      | 35.670 ( 25.309-48.381 )                                                          | 6.590                             | 0.663                           | —                       |
|                                                 | LD               | y= - 3.083+1.679x                      | 68.657 ( 52.771-111.925 )                                                         | 3.424                             | 0.819                           | 1.925                   |
| 20%丁硫克百威乳油<br>20% Carbosulfan EC                | SS               | y= - 3.486+1.795x                      | 87.624 ( 55.699-111.845 )                                                         | 2.683                             | 0.456                           | —                       |
|                                                 | LD               | y= - 3.670+1.679x                      | 153.425 ( 119.313-198.879 )                                                       | 1.532                             | 0.898                           | 1.751                   |
| 10%溴氰虫酰胺<br>可分散油悬浮剂<br>10% Cyantraniliprole OD  | SS               | y= - 2.347+1.169x                      | 102.015 ( 73.307-188.078 )                                                        | 2.304                             | 0.329                           | —                       |
|                                                 | LD               | y= - 3.681+1.620x                      | 187.065 ( 134.373-387.693 )                                                       | 1.257                             | 0.642                           | 1.834                   |
| 10%高效氯氰菊酯乳油<br>10% Beta-cypermethrin SC         | SS               | y= - 2.505+1.189x                      | 127.783 ( 91.239-288.953 )                                                        | 1.840                             | 0.283                           | —                       |
|                                                 | LD               | y= - 3.599+1.518x                      | 235.081 ( 156.541-653.410 )                                                       | 1.000                             | 0.950                           | 1.840                   |

SS: 室内敏感种群; LD: 田间种群。EC: 乳油; SC: 悬浮剂; OD: 可分散油悬浮剂。下表同。  
SS: Indoor sensitive population; LD: Field population. EC: Emulsifiable concentrate; SC: Suspension concentrate; OD: Oil dispersion. The same below.

群毒力最高, 其 LC<sub>50</sub> 为 5.943 - 6.963 mg/L。由表 2 可知对桔小实蝇室内敏感种群和田间种群毒杀较好的杀虫剂依次为: 甲维盐>乙基多杀菌素>阿维菌素>丁硫克百威>溴氰虫酰胺>高效氯氰菊酯。从抗性倍数来看, 桔小实蝇对这 6 种杀虫剂的抗性水平都还是处于敏感水平。

2.3  6%红糖+9%香醋+杀虫剂食饵剂对桔小实蝇成虫室内毒力及抗性测定

采用 6%红糖+9%香醋+不同杀虫剂配制的食饵剂对桔小实蝇种群进行毒力测定, 从表 3 测定结果中可以看出, 毒力最低的杀虫剂是溴氰虫酰胺, 对田间种群的致死中浓度为 83.148 mg/L, 以此药剂作为基准进行比较; 该试验组合对桔小实蝇种群的毒力存在一定差异, 相对毒力指数范围为 1.022-12.712。毒力较高的 3 种药剂分别为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙基多杀菌素和阿维菌素, 这 3 种杀虫剂对田间种群的致死中浓度分

别为 6.541、14.420 和 16.991 mg/L。从抗性倍数来看, 桔小实蝇对这 6 种杀虫剂配合糖醋液的抗性水平都处于相对敏感阶段, 在当地可以继续推广使用上述药剂。

2.4  6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+杀虫剂食饵剂对桔小实蝇成虫室内毒力及抗性测定

由表 4 可知, 采用 6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+不同杀虫剂配制的食饵剂对桔小实蝇成虫的毒力差异较大, 处理 24 h 后, LC<sub>50</sub> 的最大值与最小值相差 53.919 倍。对桔小实蝇毒力最高的杀虫剂为 5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油, 其致死中浓度为室内敏感种群 3.436 mg/L, 田间种群 5.134 mg/L, 并且该组合的毒力高于该剂与清水、6%红糖、6%红糖+9%香醋混合的毒力; 毒力最低的杀虫剂为 10%高效氯氰菊酯乳油, 对桔小实蝇室内敏感种群和田间种群的致死中浓度分别为 104.755 和 188.701 mg/L。对桔小

表 2 6%红糖+杀虫剂食饵剂对桔小实蝇种群的毒力和抗性测定结果  
Table 2 Toxicity and resistance test results of the different population of *Bactrocera dorsalis* in 6% sugar+insecticide food bait

| 杀虫剂<br>Insecticide                              | 种群<br>Population | 毒力回归方程<br>Toxicity regression equation | 致死中浓度 (mg/L)<br>(95%置信区间)<br>LC <sub>50</sub> (mg/L)<br>(95% Confidence interval) | 相对毒力指数<br>Relative toxicity index | 相关系数<br>Correlation coefficient | 抗性倍数<br>Resistant ratio |
|-------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 5%甲氨基阿维菌素<br>苯甲酸盐乳油<br>5% Emamectin benzoate EC | SS               | $y = -1.127 + 1.456x$                  | 5.943 (0.140-12.411)                                                              | 24.532                            | 0.923                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -0.919 + 1.090x$                  | 6.963 (0.067-14.738)                                                              | 20.939                            | 0.944                           | 1.202                   |
| 6%乙基多杀菌素悬浮剂<br>6% Spinetoram SC                 | SS               | $y = -2.953 + 2.646x$                  | 13.052 (3.790-19.021)                                                             | 11.170                            | 0.927                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -2.489 + 2.114x$                  | 15.037 (6.062-21.303)                                                             | 9.696                             | 0.808                           | 1.152                   |
| 5%阿维菌素乳油<br>5% Abamectin EC                     | SS               | $y = -2.778 + 1.912x$                  | 28.341 (21.166-34.863)                                                            | 5.144                             | 0.944                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -1.969 + 1.270x$                  | 35.508 (24.042-49.708)                                                            | 4.106                             | 0.673                           | 1.253                   |
| 20%丁硫克百威乳油<br>20% Carbosulfan EC                | SS               | $y = -4.520 + 2.468x$                  | 67.839 (42.169-85.750)                                                            | 2.149                             | 0.985                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -3.654 + 1.972x$                  | 71.242 (41.171-92.714)                                                            | 2.046                             | 0.995                           | 1.050                   |
| 10%溴氰虫酰胺<br>可分散油悬浮剂<br>10% Cyantraniliprole OD  | SS               | $y = -2.864 + 1.518x$                  | 76.910 (57.988-102.951)                                                           | 1.896                             | 0.963                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -3.124 + 1.587x$                  | 93.035 (72.724-130.358)                                                           | 1.567                             | 0.949                           | 1.210                   |
| 10%高效氯氰菊酯乳油<br>10% Beta-cypermethrin SC         | SS               | $y = -3.464 + 1.675x$                  | 116.893 (91.603-176.063)                                                          | 1.247                             | 0.861                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -4.744 + 2.192x$                  | 145.796 (116.83-209.342)                                                          | 1.000                             | 0.850                           | 1.247                   |

表 3 6%红糖+9%香醋+杀虫剂食饵剂对桔小实蝇种群的毒力和抗性测定结果  
Table 3 Toxicity and resistance test results of the different population of *Bactrocera dorsalis* in 6% sugar+9% aromatic vinegar+insecticide food bait

| 杀虫剂<br>Insecticide                              | 种群<br>Population | 毒力回归方程<br>Toxicity regression equation | 致死中浓度(mg/L)<br>(95%置信区间)<br>LC <sub>50</sub> (mg/L)<br>(95% Confidence interval) | 相对毒力指数<br>Relative toxicity index | 相关系数<br>Correlation coefficient | 抗性倍数<br>Resistant ratio |
|-------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 5%甲氨基阿维菌素<br>苯甲酸盐乳油<br>5% Emamectin benzoate EC | SS               | $y = -2.188 + 2.683x$                  | 6.541 (0.010-13.015)                                                             | 12.712                            | 0.851                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -1.764 + 2.043x$                  | 7.308 (0.440-13.225)                                                             | 11.378                            | 0.792                           | 1.117                   |
| 6%乙基多杀菌素悬浮剂<br>6% Spinetoram SC                 | SS               | $y = -3.849 + 3.389x$                  | 13.673 (3.354-19.310)                                                            | 6.081                             | 0.620                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -2.890 + 2.493x$                  | 14.420 (5.543-20.026)                                                            | 5.766                             | 0.767                           | 1.055                   |
| 5%阿维菌素乳油<br>5% Abamectin EC                     | SS               | $y = -2.227 + 2.188x$                  | 10.420 (3.044-15.698)                                                            | 7.980                             | 0.932                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -2.182 + 1.774x$                  | 16.991 (8.768-22.845)                                                            | 4.894                             | 0.772                           | 1.631                   |
| 20%丁硫克百威乳油<br>20% Carbosulfan EC                | SS               | $y = -3.356 + 1.858x$                  | 63.983 (32.336-86.464)                                                           | 1.300                             | 0.665                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -2.378 + 1.302x$                  | 67.138 (22.430-97.734)                                                           | 1.238                             | 0.800                           | 1.049                   |
| 10%高效氯氰菊酯乳油<br>10% Beta-cypermethrin SC         | SS               | $y = -5.043 + 2.967x$                  | 50.047 (40.896-57.951)                                                           | 1.661                             | 0.739                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -4.670 + 2.444x$                  | 81.373 (32.832-379.160)                                                          | 1.022                             | 0.018                           | 1.626                   |
| 10%溴氰虫酰胺<br>可分散油悬浮剂<br>10% Cyantraniliprole OD  | SS               | $y = -2.787 + 1.613x$                  | 53.410 (35.764-68.195)                                                           | 1.557                             | 0.971                           | —                       |
|                                                 | LD               | $y = -2.723 + 1.419x$                  | 83.148 (62.264-117.260)                                                          | 1.000                             | 0.896                           | 1.557                   |

表 4  6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+杀虫剂配制的食饵剂对桔小实蝇种群毒力和抗性测定结果  
Table 4  Toxicity and resistance test results of the different population of *Bactrocera dorsalis* in 6% sugar+9% aromatic vinegar+5% methyl eugenol+insecticide food bait

| 杀虫剂<br>Insecticide                                 | 种群<br>Population | 毒力回归方程<br>Toxicity regression<br>equation | 致死中浓度 (mg/L)<br>(95%置信区间)<br>LC <sub>50</sub> (mg/L)<br>(95% Confidence interval) | 相对毒力指数<br>Relative<br>toxicity index | 相关系数<br>Correlation<br>coefficient | 抗性倍数<br>Resistant<br>ratio |
|----------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 5%甲氨基阿维菌素苯甲<br>酸盐乳油<br>5% Emamectin benzoate<br>EC | SS               | y= - 0.523+0.976x                         | 3.436 ( 0.011-10.752 )                                                            | 54.919                               | 0.953                              | —                          |
|                                                    | LD               | y= - 0.677+0.953x                         | 5.134 ( 0.010-13.206 )                                                            | 36.755                               | 0.987                              | 1.136                      |
| 6%乙基多杀菌素悬浮剂<br>6% Spinetoram SC                    | SS               | y= - 3.430+2.929x                         | 14.827 ( 5.950-20.274 )                                                           | 12.727                               | 0.964                              | —                          |
|                                                    | LD               | y= - 2.934+2.321x                         | 18.369 ( 10.069-24.084 )                                                          | 10.273                               | 0.957                              | 1.239                      |
| 5%阿维菌素乳油<br>5% Abamectin EC                        | SS               | y= - 2.617+1.705x                         | 34.245 ( 26.076-43.413 )                                                          | 5.510                                | 0.771                              | —                          |
|                                                    | LD               | y= - 2.701+2.413x                         | 62.413 ( 47.472-104.667 )                                                         | 3.023                                | 0.444                              | 1.823                      |
| 20%丁硫克百威乳油<br>20% Carbosulfan EC                   | SS               | y= - 3.007+1.774x                         | 49.595 ( 17.903-72.802 )                                                          | 3.805                                | 0.231                              | —                          |
|                                                    | LD               | y= - 2.691+1.498x                         | 62.635 ( 24.336-89.488 )                                                          | 3.013                                | 0.896                              | 1.263                      |
| 10%溴氰虫酰胺<br>可分散油悬浮剂<br>10% Cyantraniliprole OD     | SS               | y= - 2.281+1.276x                         | 61.269 ( 38.062-83.275 )                                                          | 3.080                                | 0.735                              | —                          |
|                                                    | LD               | y= - 3.030+1.524x                         | 97.401 ( 75.456-141.655 )                                                         | 1.937                                | 0.881                              | 1.590                      |
| 10%高效氯氰菊酯乳油<br>10% Beta-cypermethrin<br>SC         | SS               | y= - 3.086+1.527x                         | 104.755 ( 81.115-157.513 )                                                        | 1.801                                | 0.871                              | —                          |
|                                                    | LD               | y= - 3.737+1.642x                         | 188.701 ( 135.672-387.545 )                                                       | 1.000                                | 0.890                              | 1.801                      |

实蝇成虫毒力从高到低依次为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐>乙基多杀菌素>阿维菌素>丁硫克百威>溴氰虫酰胺>高效氯氰菊酯。从抗性倍数来看,桔小实蝇对这 6 种杀虫剂的抗性水平仍处于敏感水平。

3  结论与讨论

食饵剂因具有使用方便、成本低和污染小等特点,在桔小实蝇防治中已经得到广泛应用。目前,在蜜糖类饵料中添加农药已成为提高防治桔小实蝇的一项重要措施,为探索高效的食饵剂,本研究测定了甲维盐、乙基多杀菌素、阿维菌素、丁硫克百威、溴氰虫酰胺和高效氯氰菊酯 6 种杀虫剂分别与红糖、香醋、甲基丁香酚配制成的食饵剂对桔小实蝇成虫的室内毒力。测定结果发现,6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+甲维盐配制的食饵剂对室内敏感种群和云南地区田间种群的毒力均最高;甲维盐在所测试的食饵剂中毒杀效果最佳,乙基多杀菌素、阿维菌素的胃毒作用仅次于甲维盐;田间抗性检测结果显

示,桔小实蝇对甲维盐、乙基多杀菌素和阿维菌素的抗性尚处于敏感水平。因此,在田间应用,可选择甲维盐、乙基多杀菌素和阿维菌素这 3 种药剂轮换与红糖、香醋等饵料搭配使用,以避免抗性的发生。本研究发现甲维盐对桔小实蝇具有较强的胃毒活性,与何凤梅(2020)报道的甲维盐通过胃毒方式对桔小实蝇有较好的杀虫活性结果一致。本研究发现高效氯氰菊酯对桔小实蝇胃毒活性较低,但林玉英等(2010)通过触杀方式对桔小实蝇成虫毒力测定发现高效氯氰菊酯对其具有较高的触杀活性,可见触杀和胃毒方式测定的结果有明显差异。

因杀虫剂的胃毒作用效率高和饵剂中杀虫剂的添加量少,喷施饵剂优于直接喷洒农药,为避免杀虫剂的挥发性气味掩盖了饵剂本身的挥发性味道,在饵剂中添加的杀虫剂气味要小,最好无味。值得注意的是,田间化学杀虫剂频繁使用会显著降低桔小实蝇对甲基丁香酚的趋性(李周文婷等,2011),同时由于甲基丁香酚气味大,会部分掩盖饵剂的挥发性气味(王波等,2010),

目前饵剂中仍未见甲基丁香酚明确的添加量报道,因此在今后的饵剂研究中还要调剂引诱剂与农药的使用方法以达到更好的防治效果。

桔小实蝇在云南昭通地区发生时期为 5-11 月(黄国嫣等, 2024),正值苹果、红梨和芒果等水果成熟期,桔小实蝇为害严重。根据研究结果优先选择 6%红糖+9%香醋+5%甲基丁香酚+甲维盐配制的食饵剂在 5 月份进行大面积喷施,可有效控制桔小实蝇虫源基数,减轻桔小实蝇的为害。为更加精准地防控,除测定饵剂的毒力活性,对于施药时期、施药次数和点喷面积等还有待进一步深入研究,以便更好地进行田间防控。

## 参考文献 (References)

- Gong QT, Zhang KP, Li SH, Jia HZ, Wu HB, Sun RH, 2022. Occurrence and control of *Bactrocera dorsalis*. *Deciduous Fruits*, 54(1): 49–52. [宫庆涛, 张坤鹏, 李素红, 贾厚振, 武海斌, 孙瑞红, 2022. 桔小实蝇的发生危害与防控. 落叶果树, 54(1): 49–52.]
- Guo TD, Gong QT, Sun RH, Wu HB, Jiang LL, 2022. Oviposition preference of *Bactrocera dorsalis* on peach. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 38(4): 92–98. [郭腾达, 宫庆涛, 孙瑞红, 武海斌, 姜莉莉, 2022. 橘小实蝇对桃果实的产卵选择. 中国农学通报, 38(4): 92–98.]
- He FM, 2020. The sublethal effects of emamectin benzoate on *Bactrocera dorsalis* (Hendel). Master dissertation. Nanning: Guangxi University. [何凤梅, 2020. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对橘小实蝇的亚致死效应研究. 硕士学位论文. 南宁: 广西大学.]
- Huang GY, Quan Y, Wu D, Hu ZF, Ma MD, Zhang D, Song MF, Lu SJ, Gong ZB, Li YG, 2024. Study on growth and decline of *Bactrocera dorsalis* adults in the main apple production area of Zhaotong, Yunnan Province. *South China Fruits*, 53(2): 173–177. [黄国嫣, 全勇, 吴冬, 胡志芳, 马勉娣, 张丹, 宋枚芳, 鲁素君, 龚占斌, 李云国, 2024. 云南昭通苹果主产区桔小实蝇成虫消长规律研究. 中国南方果树, 53(2): 173–177.]
- Jin T, Zeng L, Lin YY, Lu YY, Liang GW, 2011. Insecticide resistance of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in China's mainland. *Pest Management Science*, 67(3): 370–376.
- Jin YX, Zhang DM, Xie CF, Li MM, Meng LL, Shang MQ, Zhou HX, 2022. Research advance on green prevention and control technology of *Bactrocera dorsalis* H. *Plant Quarantine*, 36(3): 1–6. [金扬秀, 张德满, 谢传峰, 李敏敏, 孟璐璐, 商明清, 周洪旭, 2022. 桔小实蝇绿色防控技术研究进展. 植物检疫, 36(3): 1–6.]
- Li Q, Li CJ, Li CY, Men XY, Song YY, Yu Y, Zhu WJ, Li LL, 2022. Laboratory screening of pesticides for *Bactrocera dorsalis*. *Plant Quarantine*, 36(3): 12–16. [李强, 李程锦, 李春媛, 门兴元, 宋莹莹, 于毅, 朱文君, 李丽莉, 2022. 桔小实蝇成虫高效防治药剂室内筛选. 植物检疫, 36(3): 12–16.]
- Li ZWT, Liang GW, Zeng L, Lu YY, 2011. The propensity of males *Bactrocera dorsalis* to methyl eugenol after treatment by low-rate abamectin. *South China Fruits*, 40(4): 55–56. [李周文婷, 梁广文, 曾玲, 陆永跃, 2011. 低剂量阿维菌素处理后桔小实蝇雄虫对甲基丁香酚的趋性. 中国南方果树, 40(4): 55–56.]
- Liao XC, Xie PC, Lu JC, Yang RX, 2013. Control effects of five measures on *Bactrocera dorsalis* in citrus orchard. *Guangxi Plant Protection*, 26(3): 10–11. [廖宪成, 谢培超, 卢进才, 杨仁雄, 2013. 5 种防治措施对柑桔园桔小实蝇的防治效果观察. 广西植保, 26(3): 10–11.]
- Lin YY, Zeng L, Jin T, Lu YY, 2010. Susceptible toxicity baseline data of the different types of insecticides for susceptible strains of oriental fruit fly. *Journal of Environmental Entomology*, 32(2): 215–219. [林玉英, 曾玲, 金涛, 陆永跃, 2010. 不同类型杀虫剂对桔小实蝇成虫触杀作用的毒力敏感基线. 环境昆虫学报, 32(2): 215–219.]
- Teal PEA, Gavilanez-slone JM, Dueben BD, 2004. Effects of sucrose in adult diet on mortality of males of *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist*, 87(4): 487–491.
- Wan XW, Liu YH, Zhang B, 2012. Invasion history of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, in the Pacific-Asia region: Two main invasion routes. *PLoS ONE*, 7(5): e36176.
- Wang B, Ji QE, Yang JQ, Huang JC, Chen JH, 2010. The bioassay of protein bait to *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science Edition)*, 25(4): 483–486, 505. [王波, 季清娥, 杨建全, 黄居昌, 陈家骅, 2010. 橘小实蝇蛋白饵剂的生物测定. 云南农业大学学报(自然科学版), 25(4): 483–486, 505.]
- Wang M, Xu L, Zhang RJ, Zhang GM, Yu DJ, 2014. Population genetic differentiation analysis of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) based on mtDNA CO I gene. *Acta Entomologica Sinica*, 57(12): 1424–1438. [王蒙, 徐浪, 张润杰, 章桂明, 余道坚, 2014. 基于线粒体 CO I 基因的桔小实蝇种群遗传分化研究. 昆虫学报, 57(12):

- 1424–1438.]
- Yao Q, Zeng L, Liang GW, Lu YY, 2017. Dynamic of resistance of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) high-resistant strain under selection by beta-cypermethrin with different frequency. *Journal of Environmental Entomology*, 39(4): 791–799. [姚其, 曾玲, 梁广文, 陆永跃, 2017. 高效氯氰菊酯不同汰选频度条件下桔小实蝇高抗品系抗药性发展动态. 环境昆虫学报, 39(4): 791–799.]
- Yang Q, Luo DC, Yang YJ, Li YG, Zhang R, Shi AX, Xiao C, 2021. Relative numbers of the fruit fly *Bactrocera dorsalis* and natural enemies of insect pests, trapped on different colored sticky boards, 58(5): 1176–1182. [杨琴, 罗德诚, 杨毅娟, 李国云, 张锐, 石安宪, 肖春, 2021. 不同颜色实蝇粘虫板对桔小实蝇及天敌昆虫的诱捕效果. 应用昆虫学报, 58(5): 1176–1182.]
- Yuan SY, Xiao C, Li ZY, Zhu JY, 2003. A study on laboratory rearing techniques for *Bactrocera dorsalis* (Hendal). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis (Natural Science)*, 25(4): 577–580. [袁盛勇, 肖春, 李正跃, 朱家颖, 2003. 桔小实蝇实验室饲养技术研究. 江西农业大学学报(自然科学), 25(4): 577–580.]
- Zhang RM, Jang EB, He SY, Chen JH, 2015. Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole on *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae). *Pest Management Science*, 71(2): 250–256.
- Zhang Y, Lin MG, Wang XJ, Li F, Shi J, Zeng L, 2013. The effect of adding different insecticides to methyl eugenol and protein bait on trapping *Bactrocera dorsalis*. *South China Fruits*, 42(3): 72–74. [张艳, 林明光, 汪兴鉴, 黎奋, 石晶, 曾玲, 2013. 甲基丁香酚和蛋白饵剂添加不同杀虫剂诱杀桔小实蝇的效果. 中国南方果树, 42(3): 72–74.]
- Zheng SN, Huang JC, Ye GL, Chen JH, 2013. The field control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) with parasitoid and sterile male. *Acta Ecologica Sinica*, 33(6): 1784–1790. [郑思宁, 黄居昌, 叶光禄, 陈家骅, 2013. 应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇. 生态学报, 33(6): 1784–1790.]