环境昆虫学报 2023，45（4）：1079－1086
Journal of Environmental Entomology
http：//hjkcxb. alljournals. net
doi：10. 3969/j. issn. 1674－0858. 2023. 04. 26

汪宝如，田震亚，高旭渊，陈红松，王建国，周忠实. 瓜实蝇不同寄主种群对4种杀虫剂的敏感性［J］. 环境昆虫学报，2023，45（4）：1079－1086.

# 瓜实蝇不同寄主种群对4种杀虫剂的敏感性

汪宝如[1,2,3]，田震亚[2,3]，高旭渊[3,4]，陈红松[3,4]，王建国[1*]，周忠实[2,3*]
（1. 江西农业大学入侵生物实验室，南昌 330045；2. 中国农业科学院植物保护研究所，北京 100000；
3. 中国农业科学院南繁研究院，三亚 572019；4. 广西农业科学院植物保护研究所，南宁 530007）

**摘要：** 为探索瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* 不同寄主种群对杀虫剂的敏感性，本研究在室内通过药膜法测定了瓜实蝇节瓜、黄瓜、丝瓜和苦瓜种群4日龄成虫对4种杀虫剂的敏感性，随后将瓜实蝇不同寄主种群致死中浓度 $LC_{50}$ 进行比较，计算抗性倍数。结果表明，4个寄主种群对甲维盐的敏感性为节瓜 > 苦瓜 > 丝瓜 > 黄瓜，其中节瓜、苦瓜种群对甲维盐最敏感，其次是丝瓜、黄瓜，$LC_{50}$ 值分别为0. 250、0. 391、0. 809和1. 035 mg/L。4个寄主种群对灭多威的敏感性表现为节瓜 > 黄瓜 > 苦瓜 > 丝瓜，$LC_{50}$ 值分别为0. 302、0. 318、0. 652和0. 804 mg/L。对多杀菌素的敏感性大小依次为黄瓜、节瓜、丝瓜、苦瓜，$LC_{50}$ 值分别为1. 157、1. 198、1. 232和2. 029 mg/L。对啶虫脒的敏感性为苦瓜 > 节瓜 > 黄瓜 > 丝瓜，$LC_{50}$ 值分别为17. 946、20. 166、20. 190和21. 986 mg/L，其中对甲维盐的敏感性差异幅度最大，为4. 140倍，其次是灭多威，为2. 654倍，对啶虫脒的敏感性差异幅度最小，为1. 225倍。表明寄主植物可引起瓜实蝇对杀虫剂的敏感性变化。

**关键词：** 瓜实蝇；不同寄主；杀虫剂；敏感性；毒力
**中图分类号：** Q965. 8；S433　　**文献标识码：** A　　**文章编号：** 1674－0858（2023）04－1079－08

## Sensitivity of different host populations of *Zeugodacus cucurbitae* to four insecticides

WANG Bao-Ru[1,2,3], TIAN Zhen-Ya[2,3], GAO Xu-Yuan[3,4], CHEN Hong-Song[3,4], WANG Jian-Guo[1*], ZHOU Zhong-Shi[2,3*] (1. Laboratory of Invasive Organisms, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Plant Protection Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100000, China; 3. Nanfan Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Sanya 572019, China; 4. Plant Protection Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

**Abstract:** In order to explore the susceptibility of different host populations of the fruit fly to insecticides, in this sduty, the susceptibilities of the 4-day-old *Zeugodacus cucurbitae* adults from four host (*Benincasa Hispida*, *Cucumis sativus*, *Luffa cylindrica*, *Momordica charantia*) populations, to four insecticides were determined by the drug-film method in the laboratory. Then, the lethal concentration $LC_{50}$ of different host populations of *Z. cucurbitae* was compared to calculate theresistance ratio. The results showed that the susceptibilities of the four host populations to emamectin benzoate were as in order of *B. hispida*, *C. sativus*, *L. cylindrica* and *M. charantia*, and with the $LC_{50}$ values of 0. 250, 0. 391, 0. 809 and 1. 035 mg/L,

**基金项目：** 中国农业科学院&广西农业科学院科技创新工程协同创新任务（CAAS－GXAAS－XTCX2019026－03）；广西创新驱动发展专项资金项目（桂科AA20108002）

**作者简介：** 汪宝如，女，1997年生，硕士研究生，研究方向为动物学，E－mail：Baoruwang@163. com
* **共同通讯作者** Author for correspondence：周忠实，男，博士，研究员，主要研究方向为入侵物种环境适应性与防控研究，E－mail：ppdjxau@gmail. com；zhouzhongshi@caas. cn；王建国，男，博士，教授，研究方向白蚁、小蠹、蚂蚁等入侵生物，E－mail：1067598789@qq. com

**收稿日期** Received：2022－03－31；**接受日期** Accepted：2022－06－14

respecyively. The sensitivities of the four host populations to methomyl were as follow: *B. hispida*, *C. sativus*, *M. charantia*, *L. cylindrica*, and their $LC_{50}$ values were 0.302, 0.318, 0.652 and 0.804 mg/L, respectively. The sensitivities to spinosad were *C. sativus*, *B. hispida*, *L. cylindrica* and *M. charantia*, and with the $LC_{50}$ values of 1.157, 1.198, 1.232 and 2.029 mg/L, respectively. The sensitivities to acetamiprid were in the order of *M. charantia*, *B. hispida*, *C. sativus* and *L. cylindrica*, and their $LC_{50}$ value were 17.946, 20.166, 20.190 and 21.986 mg/L, respectively. The largest difference between different host populations was observed in the sensitivities when they were treated by emamectin benzoate with 4.140 fold, and following treated by methomyl, which was 2.654 fold, the smallest sensitivity difference was observed in acetamiprid, with 1.225 fold. This implies host plants can cause changes in the susceptibility of *Z. cucurbitae* to insecticides.

**Key words:** *Zeugodacus cucurbitae*; different host; insecticide; sensitivity; virulence

瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* 隶属于双翅目 Diptera 实蝇科 Tephritidae（Koyama *et al.*，2004；Dhillon *et al.*，2005；Virgilio *et al.*，2010），广泛分布于世界上的热带、亚热带和温带地区，是一种入侵害虫。在我国主要分布在西南、华南地区（梁广勤等，1996；蒋小龙等，2003；何超等，2019）。瓜实蝇寄主植物范围广，可为害高达100多种（Dhillon *et al.*，2005；Barry *et al.*，2006；欧剑峰等，2008；McQuate，2017），主要为害葫芦科、茄科和豆类植物，其中苦瓜 *Momordica charantia* L、丝瓜 *Luffa cylindrica*、黄瓜 *Cucumis sativus* Linn、冬瓜 *Benincasa hispida*（Thunb.）Cogn. 为首选寄主（McQuate，2017），是全球范围内为害瓜类蔬菜的重要经济害虫之一（Dhillon *et al.*，2005）。

瓜实蝇主要在我国南方地区为害，因全球变暖等外界条件的影响，瓜实蝇有向北为害的可能（周卫川，2005）。目前，生产上防治该害虫，主要依赖化学杀虫剂，例如，马拉硫磷、鱼藤精、敌敌畏、辛硫磷、倍硫磷、西维因、除虫脉、氯氰菊酯、联苯菊酯、毒死蜱、阿维菌素、甲氨基阿维菌素苯丙酸盐、多杀菌素、灭多威、啶虫脒等杀虫剂对瓜实蝇成虫毒杀效果显著（梁广勤等，2002；彭乃俊，2004；Dhillon *et al.*，2005；嵇能焕等，2007；姜朝林等，2009；邓稳桥等，2009；钟梯，2015；Sharma，2016；李向群等，2016）。昆虫抗药性的产生及发展受多种因素影响，寄主植物是因素之一（张帅，2004）。昆虫、寄主植物、杀虫剂之间的关系为昆虫取食不同寄主植物后，体内解毒防御代谢产生差异，导致不同寄主种群对杀虫剂的敏感性亦存在差异（张帅，2004）。例如，烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 和温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* Westwood 由于取食了不同的寄主植物，导致防治其的几种杀虫剂的敏感性存在显著差异（Liang *et al.*，2007；Pym *et al.*，2019），另有研究结果表明寄主植物强烈影响了 B 型烟粉虱对逆境适应性和其对杀虫剂的敏感性（Castle，2008）。

在田间，各种瓜菜均受瓜实蝇危害，瓜实蝇对寄主产生适应性的同时，对杀虫剂敏感性也应该存在差异。因此本研究以室内饲养的瓜实蝇不同寄主种群为研究对象，通过在室内采用药膜法测定瓜实蝇不同寄主种群对 4 种不同类型杀虫剂（甲维盐、多杀菌素、灭多威、啶虫脒）的敏感性（梁广勤等，2008；谷世伟等，2015），并且判断取食不同寄主植物的瓜实蝇种群是否形成对杀虫剂的抗药性，以期筛选出对不同寄主种群毒力高的杀虫剂，为防治不同瓜类蔬菜上瓜实蝇的药剂选择提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

以置于室内继代饲养 13 代以上的取食不同寄主植物的瓜实蝇 4 d 成虫作为供试虫源。养虫室饲养条件：温度 26 ± 2℃，相对湿度 75% ± 5%，光周期 L∶D = 14 h∶10 h，在此期间未接触任何杀虫剂。

### 1.2 寄主植物

节瓜、丝瓜、黄瓜、苦瓜均于广西农业科学院里建基地种植，水肥条件良好，种植期间未接触任何杀虫剂，取嫩瓜供试。

### 1.3 供试药剂

具体使用的杀虫剂见表 1。

表 1　4 种杀虫剂原药信息

Table 1　Information on four insecticides

| 药剂 Insecticide | 类别 Type | 提供厂家 Provider |
|---|---|---|
| 95% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原粉 Emamectin benzoate 95% TC | 大环内脂类 Macrolides | 广西田园生化股份有限公司 Guangxi Tianyuan Biochemical Co., Ltd |
| 97.1% 灭多威原粉 Methomyl 97.1% TC | 氨基甲酸酯类 Carbamates | 广西田园生化股份有限公司 Guangxi Tianyuan Biochemical Co., Ltd |
| 92% 多杀霉素原粉 Spinosad 92% TC | 大环内酯类 Macrolides | 广西田园生化股份有限公司 Guangxi Tianyuan Biochemical Co., Ltd |
| 98.1% 啶虫脒原粉 Acetamiprid 98.1% TC | 氯化烟碱类 Chlorinated nicotinoids | 广西田园生化股份有限公司 Guangxi Tianyuan Biochemical Co., Ltd |

### 1.4　方法

#### 1.4.1　试验方法

采用药膜法：使用的溶剂参照农药室内生物测定准则药膜法（沈晋良，2013），药膜制作参考赵菊鹏等人（2001）在测定几种杀虫剂对桔小实蝇成虫的毒力的方法进行。药膜瓶的制作：药膜瓶选用容量为 500 mL 塑料杯，用杯盖封口；在杯盖上外围一圈用大型针头戳 10～12 个小圆孔供试虫呼吸，杯盖中央有十字交叉口，用脱脂棉塞住，加 10% 蜂蜜水供试验成虫取食。

在万分之一的电子天平上准确称取药剂，用丙酮稀释成 5 g/L 的母液，试验时用丙酮稀释成 9 个浓度梯度（表 2），取 2.5 mL 稀释液放进洁净、干燥的 500 mL 药膜瓶中，通过缓慢旋转使杯壁形成均匀药膜，将瓶口向上，使有机溶剂充分挥发后，引入试虫后用盖子封瓶口，6 h 后向各药膜瓶中放入 1 个含有 10% 蜂蜜水的棉球。设相同剂量的丙酮处理为对照（CK），每个处理 5 次重复，每重复放入 30 头瓜实蝇成虫（4 d）。置于人工气候箱内温度 26±2℃、RH75%±5%、光周期 L∶D = 14 h∶10 h 条件下观察，24 h 记录死亡数，计算死亡率，对照组死亡率超过 10% 为无效试验。

表 2　试验设计的 4 种杀虫剂不同质量浓度

Table 2　Different mass concentrations of four insecticides in experimental design

| 质量浓度编号 Mass concentration number | 甲维盐（mg/L） Emamectin benzoate | 灭多威（mg/L） Methomyl | 多杀菌（mg/L） Spinosad | 啶虫脒（mg/L） Acetamiprid |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 6.40000 | 8.00000 | 16.00000 | 256.00000 |
| 2 | 3.20000 | 4.00000 | 8.00000 | 128.00000 |
| 3 | 1.60000 | 2.00000 | 4.00000 | 64.00000 |
| 4 | 0.80000 | 1.00000 | 2.00000 | 32.00000 |
| 5 | 0.40000 | 0.50000 | 1.00000 | 16.00000 |
| 6 | 0.20000 | 0.25000 | 0.50000 | 8.00000 |
| 7 | 0.10000 | 0.12500 | 0.25000 | 4.00000 |
| 8 | 0.05000 | 0.06250 | 0.12500 | 2.00000 |
| 9 | 0.02500 | 0.03125 | 0.06250 | 1.00000 |

#### 1.4.2　毒力计算方法

采用 SPSS 21.0 软件（贾春生，2006）计算毒力回归方程、致死中浓度（Lethal Concentration 50，$LC_{50}$）、卡方值及 95% 置信区间等相关参数。根据对杀虫剂敏感性最低种群的 $LC_{50}$ 与敏感性最高种群的 $LC_{50}$ 的比值，作为判断瓜实蝇对该药剂产生敏感性水平的差异标准：< 3 倍为敏感水平；3.1～10 倍为低水平抗药性；> 10 倍为中等抗药性水平（沈晋良，1991；金涛，2011）。

## 2 结果与分析

### 2.1 瓜实蝇 4 个寄主种群对甲维盐的敏感性

由生测结果可知，在取食 4 种瓜类的瓜实蝇成虫对甲维盐、灭多威、多杀菌素、啶虫脒的敏感性存在不同。在 4 个寄主种群中，取食节瓜的瓜实蝇成虫对甲维盐最敏感，$LC_{50}$为 0.250 mg/L，其次是苦瓜种群，取食丝瓜和黄瓜的瓜实蝇种群对甲维盐敏感性低，$LC_{50}$分别为 0.809 和 1.035 mg/L，$LC_{50}$剂量比值分别为 3.236 和 4.140（表 3），表明取食丝瓜和黄瓜的瓜实蝇种群能降低对甲维盐的敏感性。

### 2.2 瓜实蝇 4 个寄主种群对灭多威的敏感性

4 个寄主种群对灭多威的敏感性依次为节瓜 > 黄瓜 > 苦瓜 > 丝瓜，$LC_{50}$值分别为 0.302、0.318、0.652 和 0.804 mg/L，$LC_{50}$剂量比值分别为 1、1.053、2.158 和 2.662（表 4），表明实验室建立的取食不同寄主植物瓜实蝇种群对灭多威的敏感性无明显差异。

表 3 取食 4 种寄主植物的瓜实蝇成虫种群对甲维盐的敏感性

Table 3 Sensitivity of *Zeugodacus cucurbitae* adult population fed on four kinds of host plants to Emamectin benzoate

| 寄主种群 Host population | 毒力回归方程 Regression equation of toxicity | 卡方值 $\chi^2$ | 致死中浓度 (mg/L) $LC_{50}$ | 95% 置信区间 (mg/L) 95% CL | 比值 Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| 节瓜 *B. hispida* | y = 0.751x + 0.452 | 1.507 | 0.250 | 0.119 ~ 0.454 | 1 |
| 苦瓜 *M. charantia* | y = 0.964x + 0.393 | 4.353 | 0.391 | 0.226 ~ 0.632 | 1.564 |
| 丝瓜 *L. cylindrica* | y = 0.693x + 0.064 | 4.535 | 0.809 | 0.419 ~ 1.438 | 3.236 |
| 黄瓜 *C. sativus* | y = 0.728x − 0.011 | 2.374 | 1.035 | 0.550 ~ 1.796 | 4.140 |

表 4 取食 4 种寄主植物的瓜实蝇成虫种群对灭多威的敏感性

Table 4 Sensitivity of *Zeugodacus cucurbitae* adult population fed on four kinds of host plants to Methomyl

| 寄主种群 Host population | 毒力回归方程（y =） Regression equation of toxicity | 卡方值 $\chi^2$ | 致死中浓度 (mg/L) $LC_{50}$ | 95% 置信区间 (mg/L) 95% CL | 比值 Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| 节瓜 *B. hispida* | y = 0.653x + 0.339 | 1.022 | 0.302 | 0.249 ~ 0.366 | 1 |
| 苦瓜 *M. charantia* | y = 3.351x + 0.623 | 0.623 | 0.652 | 0.522 ~ 0.818 | 2.158 |
| 丝瓜 *L. cylindrica* | y = 3.186x + 0.303 | 0.383 | 0.804 | 0.640 ~ 1.035 | 2.662 |
| 黄瓜 *C. sativus* | y = 3.909x + 1.693 | 1.282 | 0.318 | 0.264 ~ 0.382 | 1.053 |

### 2.3 瓜实蝇 4 个寄主种群对多杀菌素的敏感性

在多杀菌素的生物测定中，黄瓜种群最敏感，随后是节瓜、丝瓜、苦瓜种群（表 5）。该 4 个寄主种群对多杀菌素的 $LC_{50}$剂量比值均小于 3，表明瓜实蝇 4 个寄主种群对灭多威的敏感性无明显差异。

表 5 取食 4 种寄主植物的瓜实蝇成虫种群对多杀菌素的敏感性

Table 5 Sensitivity of *Zeugodacus cucurbitae* adult population fed on four kinds of host plants to Spinosad

| 寄主种群 Host population | 毒力回归方程 Regression equation of toxicity | 卡方值 $\chi^2$ | 致死中浓度 (mg/L) $LC_{50}$ | 95% 置信区间 (mg/L) 95% CL | 比值 Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| 节瓜 *B. hispida* | y = 1.477x − 0.116 | 3.744 | 1.198 | 0.769 ~ 2.000 | 1.035 |
| 苦瓜 *M. charantia* | y = 1.379x − 0.424 | 1.356 | 2.029 | 1.612 ~ 2.627 | 1.754 |
| 丝瓜 *L. cylindrica* | y = 1.536x − 0.139 | 0.383 | 1.232 | 1.025 ~ 1.490 | 1.065 |
| 黄瓜 *C. sativus* | y = 1.959x − 0.124 | 3.138 | 1.157 | 0.969 ~ 1.390 | 1 |

### 2.4　瓜实蝇 4 个寄主种群对啶虫脒的敏感性

对啶虫脒的敏感性以取食苦瓜的种群最高，$LC_{50}$为 17.946 mg/L，之后是节瓜、黄瓜种群，丝瓜种群最不敏感，$LC_{50}$为 21.986 mg/L（表 6）。以$LC_{50}$剂量比值作为判断不同寄主对杀虫剂敏感性显著的标准，各寄主瓜实蝇种群之间对啶虫脒的敏感性差异不显著。

表 6　取食 4 种寄主植物的瓜实蝇成虫种群对啶虫脒的敏感性

Table 6　Sensitivity of *Zeugodacus cucurbitae* adult population fed on four kinds of host plants to acetamiprid

| 寄主种群 Host population | 毒力回归方程 Regression equation of toxicity | 卡方值 $\chi^2$ | 致死中浓度（mg/L） $LC_{50}$ | 95% 置信区间（mg/L） 95% CL | 比值 Ratio |
|---|---|---|---|---|---|
| 节瓜 *B. hispida* | y = 1.840x − 2.400 | 2.212 | 20.166 | 15.589 ~ 26.398 | 1.124 |
| 苦瓜 *M. charantia* | y = 2.050x − 2.571 | 1.356 | 17.946 | 14.103 ~ 23.015 | 1 |
| 丝瓜 *L. cylindrica* | y = 2.418x − 3.246 | 0.373 | 21.986 | 17.630 ~ 27.604 | 1.225 |
| 黄瓜 *C. sativus* | y = 2.081x − 2.716 | 1.214 | 20.190 | 15.983 ~ 25.891 | 1.125 |

## 3　结论与讨论

瓜实蝇危害形势严峻，国内外研究瓜实蝇主要集中于生物学、生理生化、生态防治等方面。例如，瓜实蝇对葫芦科植物的偏好、瓜实蝇在寄主植物上的产卵习性及生命表、瓜实蝇种群动态监测等（彭帅等，2013；徐正，2018；李磊等，2019；毛红彦等，2019；Sowmiya *et al.*，2021）。与之不同的是关于瓜实蝇、寄主植物和杀虫剂三者之间的关系尚未见文献报道。最早于粘虫 *Spodoptera eridania* 中发现，其取食不同寄主植物后对砷制剂的敏感性发生了变化，之后陆续在夜蛾科、凤蝶科和蚜科等昆虫中发现（Swingle，1939；姚洪渭等，2002）。

寄主植物影响昆虫对杀虫剂的敏感性分为变化和无变化两种情况，变化为对杀虫剂敏感性上升或下降。本研究发现瓜实蝇取食节瓜后对甲维盐、灭多威的敏感性比取食其他 3 种寄主（黄瓜、丝瓜和苦瓜）的高。这与草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 取食谷子后对 3 种杀虫剂（拟除虫菊酯类二氯苯醚菊酯、有机磷类敌百虫、氨基甲酸酯类杀虫剂西维因）的敏感性与取食大豆、玉米和棉花的存在显著差异（Wood *et al.*，1981）的结果相似。研究发现美洲棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 取食两种寄主植物后不影响其对二氯苯醚菊酯的敏感性（Muehleisen *et al.*，1989），取食不同寄主植物后不影响朱砂叶螨 *Tetranychus cinnabarinus* 对联苯菊酯的敏感性（戴宇婷等，2013），且连续给灰飞虱 3 龄若虫喂食 3 代的杂草、水稻、小麦后，其对三氟苯嘧啶的敏感性也无变化（丁杰等，2021）。本研究也发现瓜实蝇取食 4 种寄主植物后，对多杀菌素和啶虫脒的敏感性无变化，对灭多威的敏感性变化也较小。

本研究测定了瓜实蝇 4 个寄主种群对 4 种药剂的敏感性，发现 4 个寄主种群均对甲维盐和灭多威的敏感性较高，$LC_{50}$值分别在 0.250 ~ 1.035 mg/L、0.303 ~ 0.804 mg/L 之间，与谷世伟和罗璇测得室内敏感种群对甲维盐敏感性的结果相近（罗璇，2014；谷世伟等，2015）。罗璇测定的瓜实蝇室内敏感种群对啶虫脒敏感性结果 $LC_{50}$ 值为 7.822 mg/L，与本试验 4 个寄主种群对啶虫脒敏感性结果 $LC_{50}$值在 17.946 ~ 21.986 mg/L 之间有较大出入（罗璇，2014；谷世伟等，2015），且研究结果也证明取食不同寄主植物的瓜实蝇种群对甲维盐的敏感性水平存在一定差异，取食黄瓜和丝瓜比取食节瓜的瓜实蝇种群更加耐药，$LC_{50}$剂量比分别为 3.236、4.140，表明黄瓜和丝瓜这两种寄主植物会影响瓜实蝇对杀虫剂的敏感性，推测可能是寄主植物体内营养物质、次生性物质含量存在区别，因次生物质含量多的植物会加速昆虫体内的解毒代谢过程从而提高耐药性（Abd-Elghafar *et al.*，1989）。在其他昆虫中也存在该现象，如孙兴华测定南美斑潜蝇 *Liriomyza huidobrensis* Blanchard 幼虫为害黄瓜的程度时，发现随着幼虫为害水平升高黄瓜体内单宁和黄酮的含量上升，然而营养物质含量下降（孙兴华等，2012）。番茄叶片或是添加了 2-十三烷酮（2-tridecanone：番茄

次生物质）的饲料饲喂棉铃虫幼虫后，会提高其对西维因的耐受性，证实可能发生了诱导作用（Riskallah *et al.*，1986），推测与番茄自身含有一些次生物质有关。斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* Fabricius 幼虫对丙溴磷和氯氰菊酯的差异易感性与寄主植物、解毒酶水平也存在相关性（Karuppaiah *et al.*，2016）。然而瓜实蝇 4 个寄主种群对多杀菌素、灭多威和啶虫脒的敏感性水平差异不明显，可能与药剂种类及作用机理相关（赵梦洁，2013）。综上所述，在瓜实蝇的防治中可首选甲维盐，不推荐啶虫脒。

昆虫对杀虫剂的敏感性差异与次生物质的类别、数量、杀虫剂种类、外界环境、昆虫种类及其不同的生长阶段等因素相关（姚洪渭等，2002）。当前，化学防治瓜实蝇仍是一种重要防控手段，针对甲维盐、灭多威两种药剂如何应用于田间瓜蔬上防治瓜实蝇需进一步试验；瓜实蝇 4 个寄主种群对杀虫剂产生敏感性变化是否与体内解毒酶活性有关需要深入研究。昆虫对杀虫剂的抗药性、昆虫与寄主植物的协同进化，正确厘清这三者之间的关系对瓜实蝇的抗性治理有现实指导意义。本研究结果对后续不同瓜果蔬菜上防治瓜实蝇具有实际应用价值。

## 参考文献（References）


Abdelghafar SF，Dauterman WC，Hodgson E. *In vivo* penetration and metabolism of methyl parathion in larvae of the tobacco budworm，*Heliothis virescens*（F.），fed different host plants [J]. *Pesticide Biochemistry and Physioloy*，1989，33（1）：49 – 56.

Dai YT，Zhang YJ，Wu QJ，*et al.* Short – term induction effects of different host plants on the insecticide susceptibilities and detoxification enzymes of *Tetranychus cinnabarinus* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*，2013，50（2）：382 – 387. [戴宇婷，张友军，吴青君，等. 寄主植物对朱砂叶螨药剂敏感性及解毒酶活性的短期诱导研究 [J]. 应用昆虫学报，2013，50（2）：382 – 387]

Barry JD，Miller NW，Pinero JC，*et al.* Effectiveness of protein baits on melon fly and oriental fruit fly（Diptera：Tephritidae）：Attraction and feeding [J]. *Journal of Economic Entomology*，2006，99（4）：1161 – 1167.

Castle SJ，Prabhaker N，Henneberry TJ，*et al.* Host plant influence on susceptibility of *Bemisia tabaci*（Hemiptera：Aleyrodidae）to insecticides [J]. *Bulletin of Entomological Research*，2008，99（3）：263 – 273.

Deng WQ，Wang AL，Lin JF. The control technique of *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Agricultural Science and Technology Service*，2009，26（12）：62 – 143. [邓稳桥，王安乐，林佳福. 瓜实蝇及其防治技术 [J]. 农技服务，2009，26（12）：62 – 143]

Dhillon MK，Singh R，Naresh JS，*et al.* The melon fruit fly，*Bactrocera cucurbitae*：A review of its biology and management [J]. *Journal of Insect Science*，2005，5（1）：40.

Ding J，Wen SF，Wang XT，*et al.* Effects of *Laodelphax striatellus*（Fallén）feeding on different host plants on insecticide sensitivity and detoxification enzyme activity [J]. *Journal of Environmental Entomology*，2021，43（2）：7. [丁杰，温胜芳，王雪婷，等. 取食不同寄主植物的灰飞虱对药剂敏感性和解毒酶活性的影响 [J]. 环境昆虫学报，2021，43（2）：7]

Gu JF，Huang H，Wu H，*et al.* Domestic research situation of *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*，2008，9（13）：33 – 37. [欧剑峰，黄鸿，吴华，等. 瓜实蝇国内研究概况 [J]. 长江蔬菜，2008，9（13）：33 – 37]

Gu SW，Zeng L，Liang GW. Monitoring of drug resistance in field populations of *Bactrocera cucurbitae* in South China [J]. *Journal of South China Agricultural University*，2015，36（4）：76 – 80. [谷世伟，曾玲，梁广文. 华南地区瓜实蝇田间种群的抗药性监测 [J]. 华南农业大学学报，2015，36（4）：76 – 80]

He C，Kong Q，Yuan SY，*et al.* Effects of six host fruits on oviposition selection and offspring development of *Bctrocera tau*（Walker）and *Bactrocera cucurbitae*（Diptera：Tephritidae）[J]. *Journal of Envirormental Entanology*，2019，41（2）：316 – 322. [何超，孔琼，袁盛勇，等. 6 种寄主果实对南瓜实蝇和瓜实蝇产卵选择及其子代发育的影响 [J]. 环境昆虫学报，2019，41（2）：316 – 322]

Hsu JC，Feng HT. Susceptibility of melon fly（*Bactrocera cucurbitae*）and oriental fruit fly（*B. dorsalis*）to insecticides in Taiwan [J]. *Plant Prot Bull*，2002，44（4）：303 – 314.

Ji NH，Liu HJ，Li MF. Integrated control of *Bactrocera cucurbitae* [J]. *Shanxi Agricultural*（*Enriching Science and Technology*）*Journal*，2007，3：39. [嵇能焕，刘红俊，李铭夫. 瓜实蝇的综合防治 [J]. 山西农业（致富科技），2007，3：39]

Jiang CS. $LC_{50}$ of insecticides was calculated by spss software [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*，2006，43（3）：414 – 417. [贾春生. 利用 SPSS 软件计算杀虫剂的 $LC_{50}$ [J]. 昆虫知识，2006，43（3）：414 – 417]

Jiang CL，Liu HP，Wen LX. Occurrence and control countermeasures of *Bactrocera cucurbitae* in Chishui city [J]. *Plant Doctor*，2009，22（4）：20 – 21. [姜朝林，柳汉鹏，文兰香. 赤水市瓜实蝇的发生与防治对策 [J]. 植物医生，2009，22（4）：20 – 21]

Jiang XL，Ren LQ，Xiao S，*et al.* Preliminary report on the biological learning of *Bactrocera cucurbitae*（Coquillett）（Diptera：Tephritidae）in Yunnan [J]. *Plant Quarantine*，2003，17（2）：3. [蒋小龙，任丽卿，肖枢，等. 瓜实蝇在云南生物学习性研究初报 [J]. 植物检疫，2003，17（2）：3]

Jin T，Jin QA，Wen HB，*et al.* Differences in susceptibility to insecticides of offspring of *Brontispa longissima* feeding on different host plants [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*，2011，32（6）：1150 – 1152. [金涛，金启安，温海波，等. 取食不同寄主植物椰心叶甲后代对杀虫剂的敏感性差异 [J]. 热带作物学报，

2011，32（6）：1150－1152］

Karuppaiah V，Srivastava C，Subramanian S. Effect of host plants on insecticide susceptibility and detoxification enzymes activity in *Spodoptera litura* Fabricius（Noctuidae：Lepidoptera）［J］. *Proceedings of the National Academy of Sciences，India Section B：Biological Sciences*，2016，86（3）：715－721.

Koyama J，Kakinohana H，Miyatake T. Eradication of the melon fly，*Bactrocera cucurbitae*，in Japan：Importance of behavior，ecology，genetics，and evolution［J］. *Annual Review of Entomology*，2004，49（49）：331－349.

Liang GQ，Liang F，Wu JJ，*et al*. Study on prevention strategies and measures of *Bactrocera cucurbitae* control［J］. *Guangdong Agricultural Sciences*，2002，2：37－40.［梁广勤，梁帆，吴佳教，等. 实蝇防除策略和措施的研究［J］. 广东农业科学，2002，2：37－40］

Liang GQ，Liang F，Zhao JP，*et al*. General situation of fruit fly quarantine research in China［J］. *Journal of Environmental Entomology*，2008，30（4）：361－369.［梁广勤，梁帆，赵菊鹏，等. 中国实蝇检疫研究概况［J］. 环境昆虫学报，2008，30（4）：361－369］

Liang GQ，Yang GH，Liang F，*et al*. List of fruit flies（Tephritidae：*Bactrocera*）in Asia－Pacific region（continued）［J］. *China's Entry and Exit Animal and Plant Inspection*，1996，1：41－43.［梁广勤，杨国海，梁帆，等. 亚太地区寡毛实蝇名录（续）［J］. 中国进出境动植检，1996，1：41－43］

Li L，Han DY，Niu LM，*et al*. Evaluation of adaptability of 39 host species of *Bactrocera cucurbitae*［J］. *Journal of Environmental Entomology*，2019，41（5）：1057－1064.［李磊，韩冬银，牛黎明，等. 瓜实蝇对 39 种寄主适应度的评估［J］. 环境昆虫学报，2019，41（5）：1057－1064］

Liang P，Cui J，Yang X，*et al*. Effects of host plants on insecticide susceptibility and carboxylesterase activity in *Bemisia tabaci* biotype B and greenhouse whitefly，*Trialeurodes vaporariorum*［J］. *Pest Management Science*，2007，63（4）：365－371.

Li XQ，Zhu XD，Tang ZJ，*et al*. Causes and control countermeasures of *Bactrocera cucurbitae* in Shaodong county in 2015［J］. *Hunan Agricultural Sciences*，2016，7：69－72.［李向群，朱旭东，唐仲军，等. 2015 年邵东县瓜实蝇大发生原因及防治对策［J］. 湖南农业科学，2016，7：69－72］

Luo X. Monitoring of Resistance to Insecticides in Field Population of *Zeugodacus cucurbitae* Population and Effects of Several Insecticides on its Oviposition Behavior［D］. Nanning：Guangxi University Master Thesis，2014.［罗璇. 瓜实蝇田间种群抗药性监测及几种杀虫剂对其产卵行为的影响［D］. 南宁：广西大学硕士论文，2014］

Mao HY，Zhao Y，Ding HF，*et al*. Population dynamics monitoring of important fruit flies 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］

Mcquate GT，Liquido NJ，Nakamichi K. Annotated world bibliography of host plants of the melon fly，*Bactrocera cucurbitae*（Coquillett）（Diptera：Tephritidae）［J］. *Insecta Mundi*，2017，5（27）：1－340.

Muehleisen DP，Benedict JH，Plapp FW，*et al*. Effects of cotton allelochemicals on toxicity of insecticides and induction of detoxifying enzymes in Bollworm（Lepidoptera：Noctuidae）［J］. *Journal of Economic Entomology*，1989，6：1554－1558.

Peng NJ. Occurrence and control measures of *Bactrocera cucurbitae*［J］. *Friends of the Farm Theory*，2004，1：34.［彭乃俊. 瓜实蝇的发生为害及防治措施［J］. 农家之友，2004，1：34］

Peng S，Zheng LX，Wu WJ. Oviposition selectivity of *Bactrocera cucurbitae* to host plants［J］. *Journal of Environmental Entomology*，2013，35（2）：273－276.［彭帅，郑丽霞，吴伟坚. 瓜实蝇对寄主植物的产卵选择性［J］. 环境昆虫学报，2013，35（2）：273－276］

Pym A，Singh KS，Nordgren Å，*et al*. Host plant adaptation in the polyphagous whitefly，*Trialeurodes vaporariorum*，is associated with transcriptional plasticity and altered sensitivity to insecticides［J］. *BMC Genomics*，2019，20（1）：1－19.

Riskallah MR，Dauterman WC，Hodgson E. Host plant induction of microsomal monooxygenase activity in relation to diazinon metabolism and toxicity in larvae of the tobacco budworm *Heliothis virescens*（F.）［J］. *Pesticide Biochemistry and Physiology*，1986，25（2）：233－247.

Sharma SK，Punam，Kumar R. Management of fruit fly（*Bactrocera* spp.）in cucumber（*Cucumis sativus* Linn.）grown organically［J］. *Journal of Biopesticides*，2016，9（1）：73.

Shen JL. Pesticide Bioassay［M］. Beijing：China Agricultural Press，2013：12.［沈晋良. 农药生物测定［M］. 北京：中国农业出版社，2013：12］

Shen JL，Tan JG，Xiao B，*et al*. Monitoring and forecasting of pyrethroids resistance of *Heliothis armigera*（Hübner）in China［J］. *Chinese Bulletin of Entomology*，1991，28（6）：337－340.［沈晋良，谭建国，肖斌，等. 我国棉铃虫对拟除虫菊酯类农药的抗性监测及预报［J］. 昆虫知识，1991，28（6）：337－341］

Sowmiya L，Chandrasekaran M，Soundararajan RP，*et al*. Biology and morphometry of melon fruit fly，*Zeugodacus cucurbitae*（Coquillett）in different cucurbitaceous hosts［J］. *Journal of Entomology and Zoology Studies*，2021，9（1）：353－357.

Sun XH，Zhou XR，Pang BP，*et al*. Effects of *Liriomyza huidobrensis* Blanchard on main nutrients，secondary metabolites and chlorophyll content in cucumber［J］. *Acta Entomologica Sinica*，2012，55（10）：1178－1184.［孙兴华，周晓榕，庞保平，等. 南美斑潜蝇为害对黄瓜体内主要营养物质、次生代谢物质及叶绿素含量的影响［J］. 昆虫学报，2012，55（10）：1178－1184］

Swingle MC. The effect of previous diet on the toxic action of lead asenate to a leaf－feeding insect［J］. *Journal of Economic Entomology*. 1939，32：884.

Virgilio M，Delatte H，Backeljau T，*et al*. Macrogeographic population structuring in the cosmopolitan agricultural pest *Bactrocera cucurbitae*（Diptera：Tephritidae）［J］. *Molecular Ecology*，2010，

19 (13): 2713 – 2724.

Wood KA, Wilson BH, Graves JB. Influence of host plant on the susceptibility of the Fall Armyworm to insecticides [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1981, 74 (1): 96 – 98.

Xu Z. Selective Preference of *Bactrocera cucurbitae* to Cucurbitaceae Plants [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University Master Thesis, 2018. [徐正. 瓜实蝇对葫芦科植物选择性偏好研究 [D]. 福州: 福建农林大学硕士论文, 2018]

Yao HW, Ye GY, Cheng JA. Research progress of host plants affecting pesticide sensitivity of pests [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2002, 45 (2): 253 – 264. [姚洪渭, 叶恭银, 程家安. 寄主植物影响害虫药剂敏感性的研究进展 [J]. 昆虫学报, 2002, 45 (2): 253 – 264]

Zhang S, Zeng XN, Luo Y. Relationship between host plants and insect resistance [J]. *Guangxi Agricultural Science*, 2004, 35 (3): 213 – 215. [张帅, 曾鑫年, 骆悦. 寄主植物与昆虫抗药性的关系 [J]. 广西农业科学, 2004, 35 (3): 213 – 215]

Zhang XY, Yu FJ, Han QH, *et al*. Comparison of preference of *Bactrocera* (*Tetradacus*) *minax* (Enderlein) to three host plants [J]. *Chinese Bulletin of Entomology*, 2007, 44 (3): 364 – 366. [张小亚, 喻法金, 韩庆海, 等. 橘大实蝇对三种寄主植物的偏好比较 [J]. 昆虫知识, 2007, 44 (3): 364 – 366]

Zhao MJ. Study on the Sensitivity of *Chilo suppressalis* (Walker) of Rice and Zizani Populations to Different Types of Insecticides [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University Master Thesis, 2013. [赵梦洁. 二化螟水稻和茭白种群对不同类型杀虫剂的敏感性差异研究 [D]. 武汉: 华中农业大学硕士论文, 2013]

Zhao JP, Tian SR, Zeng Y, *et al*. Toxicity of several insecticides to adults of *Bactrocera dorsalis* Hendel [J]. *Plant Quarantine*, 2001, 15 (6): 342 – 343. [赵菊鹏, 田世尧, 曾杨, 等. 几种杀虫剂对桔小实蝇成虫的毒力测定 [J]. 植物检疫, 2001, 15 (6): 342 – 343]

Zhong T. 0.02% Field control effect of Spinosad bait on *Bactrocera cucurbitae* in *Momordica charantia* L. [J]. *Agriculture and Technology*, 2015, 35 (16): 3 – 10. [钟梯. 0.02% 多杀霉素饵剂对苦瓜瓜实蝇的田间防效 [J]. 农业与技术, 2015, 35 (16): 3 – 10]

Zhou WC. Study on the Geographical Distribution Model of *Bactrocera cucurbitae* [C] Heilongjiang: National Young and Middle – aged Academic Exchange Conference of Chinese Entomological Society, 2005. [周卫川. 瓜实蝇地理分布模型的研究 [C] 黑龙江: 中国昆虫学会全国中青年学术交流会, 2005]