

# 瓜实蝇成虫对不同杀虫剂相对敏感基线的建立

陈黔<sup>1,2,3</sup>, 杨朗<sup>2,3</sup>, 黄立飞<sup>2,3</sup>, 曹雪梅<sup>2,3</sup>, 张建民<sup>1</sup>, 姜建军<sup>2,3</sup>

(1. 长江大学农学院 湖北荆州 434025; 2. 农业农村部华南果蔬绿色防控重点实验室 南宁 530007;  
3. 广西作物病虫害生物学重点实验室·广西壮族自治区农业科学院植物保护研究所 南宁 530007)

**摘要:** 为了监测瓜实蝇田间抗药性和筛选用于防治该害虫的化学药剂, 采用点滴法和饲毒法, 研究测定了 17 类 30 种杀虫剂对瓜实蝇成虫的毒力并建立了相对敏感基线, 同时采用建立的相对敏感基线比较分析了点滴法和饲毒法对抗阿维菌素品系抗性水平测定结果的差异。结果表明, 采用点滴法测得 9 类 18 种药剂 LD<sub>50</sub> 值在 3.422~576.842 ng·头<sup>-1</sup>; 采用饲毒法测得 10 类 21 种药剂 LC<sub>50</sub> 值在 0.035~60.542 mg·L<sup>-1</sup>。2 种方法测得的不同药剂对瓜实蝇毒力高低排序较一致, 3 种微生物源农药甲维盐、多杀霉素、阿维菌素和有机磷类乐果对瓜实蝇均表现出较高的毒力, 菊酯类、有机磷类和烟碱类等药剂次之, 鱼藤酮毒力最低。点滴法和饲毒法测得的瓜实蝇抗阿维菌素品系的抗性倍数分别为 18.22 倍和 17.37 倍, 较为接近。综上所述, 采用点滴法和饲毒法分别建立了瓜实蝇成虫对 18 种和 21 种杀虫剂的相对敏感基线, 为瓜实蝇的抗药性监测和化学防治提供了科学依据。

**关键词:** 瓜实蝇; 杀虫剂; 敏感基线; 抗药性

中图分类号: S482.3 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2023)04-106-07

## The relative sensitivity baseline of *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) adults to different insecticides

CHEN Qian<sup>1,2,3</sup>, YANG Lang<sup>2,3</sup>, HUANG Lifen<sup>2,3</sup>, CAO Xuemei<sup>2,3</sup>, ZHANG Jianmin<sup>1</sup>, JIANG Jianjun<sup>2,3</sup>

(1. College of Agriculture, Yangtze University, Jingzhou 434025, Hubei, China; 2. Key Laboratory of Green Prevention and Control on Fruits and Vegetables in South China (Ministry of Agriculture and Rural Affairs), Nanning 530007, Guangxi, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Biology for Crop Diseases and Insect Pests/Plant Protection Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Science, Nanning 530007, Guangxi, China)

**Abstract:** In order to monitor the resistance of *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in the field and screen chemical agents for pest control, the toxicity of the adults of *Z. cucurbitae* to thirty insecticides belonging to seventeen pesticide categories were determined using topical and feeding applications, the relative sensitivity baseline of melon fly to different insecticides were established. And, the resistance level of an abamectin-resistant strain (RS) was investigated by two bioassay methods. The results showed that the LD<sub>50</sub> values of the eighteen insecticides to melon fly were 3.422-576.842 ng·fly<sup>-1</sup> by topical application, LC<sub>50</sub> values of the twenty-one insecticides were 0.035-60.542 mg·L<sup>-1</sup> by feeding application. The toxicity ranks of two application were similar, three microbial insecticides emamectin benzoate, spinosad, abamectin and organophosphorus insecticide dimethoate, showed high toxicity to *Z. cucurbitae*, followed by pyrethroids, organophosphorus and nicotinoids insecticides, and rotenone with the lowest toxicity. The resistance ratio (RR) of abamectin-resistant strain was 18.22 folds based on LD<sub>50</sub>, while it was 17.37 folds based on LC<sub>50</sub>, and the RR of two applications was similar. In conclusion, the relative sensitivity baseline of *Z. cucurbitae* adults to eighteen and twenty-one insecticides have been established using topical and feeding applications respectively, providing scientific basis for the resistance monitoring and chemical control of *Z. cucurbitae*. sensitivity baseline

**Key words:** *Zeugodacus cucurbitae*; Insecticide; Sensitivity baseline; Resistance

收稿日期: 2022-11-01; 修回日期: 2023-02-03

基金项目: 国家自然科学基金(31960564); 广西科技重大专项(AA20108002); 广西农业科学院发展基金(2021JM72, 2021YT068)

作者简介: 陈黔, 男, 在读硕士研究生, 主要从事害虫抗药性研究工作。E-mail: 759070720@qq.com

通信作者: 姜建军, 男, 副研究员, 主要从事害虫抗药性研究工作。E-mail: jiangjianjun8008@126.com

张建民, 男, 博士, 教授, 主要从事害虫抗药性研究工作。E-mail: 371995966@qq.com

瓜实蝇 *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) 隶属双翅目实蝇科铍果实蝇属昆虫,原产于印度,分布于亚洲、大洋洲、非洲和美洲的热带和亚热带地区,是一种果蔬上主要的入侵性害虫<sup>[1-2]</sup>,在我国主要分布于广西、广东、海南、四川、福建、台湾和香港等省份和地区。瓜实蝇为多食性,危害的寄主主要包括黄瓜、南瓜、甜瓜、西葫芦、丝瓜、西瓜、苦瓜等 20 余种 120 多种果蔬<sup>[3-5]</sup>,雌成虫产卵于瓜果表皮组织内,偶产卵于花蔓,孵化后的幼虫钻蛀至果实内部取食,造成受害果实腐烂、畸形和落果,影响作物产量和品质,危害严重时果实受害率在 30%~100%,给生产造成严重损失<sup>[6-8]</sup>。目前生产上已有多种防控该虫的方法,如生物防治、信息素引诱、黄板诱杀、果实套袋、种植抗虫品种、化学防治和雄性不育治理技术等<sup>[9-11]</sup>,但采用化学杀虫剂仍是防治瓜实蝇最普遍和常用的手段。

化学杀虫剂的频繁使用,易使害虫产生抗药性,导致常规剂量药效下降,从而增加农药用量,缩短农药使用寿命,间接给经济、环境和人类食品安全带来风险<sup>[12]</sup>。热带和亚热带地区(如我国海南、广西等地)适宜的气候可周年种植瓜类蔬菜,瓜实蝇在这些拥有充足寄主植物和适宜气候条件的地区无越冬现象并终年可见<sup>[13-15]</sup>,而这意味着需全年对瓜实蝇进行防治。前人研究表明,田间瓜实蝇已对微生物源农药(阿维菌素、多杀菌素)和有机磷类杀虫剂农药(倍硫磷、敌百虫)等产生了不同程度的抗药性<sup>[16-18]</sup>。监测了解害虫田间种群对不同杀虫剂的抗药性发展水平,从而指导合理用药是延缓和治理其抗药性的有效方法之一<sup>[19]</sup>。张帅等<sup>[20]</sup>于 2013—2015 年连续对华北地区棉花主要害虫进行抗药性监测,在明确主要害虫棉铃虫、绿盲蝽和棉蚜对杀虫剂抗药性水平的基础上,实施以轮换用药为主的抗性治理示范,每 667 m<sup>2</sup> 减少 3 次用药后增加棉花产量 7.53%,节本增收 109.16 元。张小磊等<sup>[21]</sup>于 2009—2014 年研究表明,湖北稻区褐飞虱田间种群对噻虫嗪、噻嗪酮抗性上升明显,对吡虫啉抗性也有上升的趋势,因此建议田间暂停吡虫啉、噻嗪酮在水稻上防治褐飞虱,严格限制吡蚜酮在水稻上的使用次数,醚菊酯可作为吡虫啉、噻嗪酮和吡蚜酮的替代药剂或轮换药剂。为了掌握主要农作物病虫害抗药性状况,从而针对具体抗性情况提出治理对策,我国农技推广服务中心从 2008 至今连续多年牵头监测与发布水稻、棉花、玉米和蔬菜等重要农业有害生物抗药性监测报告与治理对策<sup>[22-24]</sup>。害

虫抗药性主要是随着杀虫剂的连续使用而逐渐产生。因此,害虫对某种药剂有无抗药性,只是相对比较<sup>[25]</sup>,所以在对害虫进行抗药性监测前,必须建立可靠的敏感毒力基线,只有具备了敏感基线,才能确定区分剂量和准确地判断田间害虫种群是否已经产生抗药性及抗药性的程度和范围<sup>[26]</sup>。敏感基线(sensitivity baseline)是通过生物测定方法得到的害虫敏感品系(或种群)对杀虫剂的剂量反应曲线<sup>[27]</sup>,其测定方法是用一系列药剂剂量或浓度处理供试生物,以剂量对数值和相应死亡率概率值绘图,求其直线回归方程、斜率( $b$  值)及 LD<sub>50</sub> 等毒力分析数据。研究和评估害虫抗药性的发展水平,采用的测定方式不同则表示方法不同,如一般点滴法采用半数致死量(LD<sub>50</sub>)来表示比较,药膜法、饲毒法和浸叶法等采用致死中浓度(LC<sub>50</sub>)来表示,还有半数击倒量(KD<sub>50</sub>)和半数击倒时间(KT<sub>50</sub>)等表示方法,但所有的表示方式其抗性水平求法基本相同<sup>[28]</sup>。

由于瓜实蝇幼虫在瓜果内蛀食为害,药剂难于接触,所以田间药剂主要针对其成虫进行防治,目前国内外有关瓜实蝇成虫对杀虫剂敏感基线的研究已有部分报道。Hsu 等<sup>[17]</sup>以室内饲养超过 300 代的试虫为敏感品系,分别采用点滴法和饲毒法建立了瓜实蝇成虫对多杀霉素的敏感基线。谷世伟等<sup>[18]</sup>以室内饲养 24 代的试虫为敏感品系,采用药膜法建立了瓜实蝇对敌百虫、氯氟氰菊酯、高效氯氟菊酯、甲维盐、阿维菌素、多杀霉素的敏感基线。随着田间用药种类的增加,为了补充更多数据以用于田间瓜实蝇抗药性监测,笔者的研究以室内标准化连续饲养 63 代的瓜实蝇为相对敏感品系,采用点滴法和饲毒法测定了田间常见的 17 类 30 种杀虫剂对瓜实蝇成虫的毒力及建立相对敏感基线,并比较分析了 2 种方法对阿维菌素抗性品系的抗性水平测定结果的差异,以期对瓜实蝇的田间抗药性监测和抗药性综合治理提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试昆虫:瓜实蝇敏感品系(susceptible strain, SS)是 2012 年采自广西南宁郊区苦瓜上,在室内标准化连续饲养至 2022 年已 63 代的种群。饲养条件为温度(26±1)°C,湿度(75±5)%,光周期 L/D=14 h/10 h。用削皮后的南瓜(市售)接卵和饲养幼虫,成虫采用酵母与蔗糖混合物饲养( $w_{\text{酵母}}:w_{\text{糖}}=1:3$ )。瓜实蝇抗阿维菌素品系(resistant strain,

RS),以上述采自野外的种群室内经饲毒法选育至33代后获得。

供试药剂:笔者研究所用药剂及来源见表1,其

他试剂为丙酮分析纯(成都市科隆化学品有限公司),吐温-80[生工生物工程(上海)股份有限公司]。

表1 试验所用药剂

药剂类型	药剂名称	药剂类型	药剂名称	
微生物源	97%阿维菌素 TC	植物源	98%鱼藤酮 TC	
	95%甲维盐 TC		95.1%D-柠檬烯 TC	
	90%多杀霉素 TC		97%苦参碱 TC	
菊酯类	98%溴氰菊酯 TC	三嗪类	95%灭蝇胺 TC	
	96%高效氯氰菊酯 TC		吡啶酰胺类	95%氟啶虫酰胺 TC
	95%高效氟氯氰菊酯 TC			非萜烯类
有机磷类	98%乐果 TC	苯甲酰胺类	98%氟啶脲 TC	
	90%辛硫磷 TC	吡唑类	97.24%唑虫酰胺 TC	
	95%马拉硫磷 TC	双酰胺类	97.4%溴氰虫酰胺 TC	
烟碱类	95%噁虫嗪 TC	氨基甲酸酯类	98%仲丁威 TC	
	95%啶虫脒 TC	吡咯类	95%虫螨腈 TC	
	95%呋虫胺 TC	硫脲类	96%丁醚脲 TC	
	97%噁虫胺 TC	季酮酸类	96%螺虫乙酯 TC	
	95%烯啶虫胺 TC	噁二嗪类	95%茚虫威 TC	
	95%吡虫啉 TC	吡啶类	96%吡蚜酮 TC	

注:表中药剂95.1%D-柠檬烯、97.4%溴氰虫酰胺、97.24%唑虫酰胺和96%螺虫乙酯来源于广西田园生化股份有限公司,其余试剂均购自南京生利德生物科技有限公司。后表仅标名称,不再标注含量和剂型。

## 1.2 生物测定

1.2.1 点滴法毒力测定 参考农业部发布的方法<sup>[29]</sup>和Hsu等<sup>[17]</sup>所述方法进行。具体步骤如下:首先用丙酮把原药溶解配制成母液,然后在预试验的基础上将母液用丙酮等比稀释成5~6个系列工作浓度。取羽化4~5d的瓜实蝇成虫(雌虫:雄虫=1:1),CO<sub>2</sub>气体迷晕后,用镊子夹住其翅膀,采用微量点滴仪(Burkard, 英格兰)把1 μL药剂点滴于前胸背板,点滴后的试虫放置于自制的养虫杯中,杯中放入水和饲料,饲养条件同1.1中所述。每处理4个重复,每重复20头虫,以点滴等量丙酮的瓜实蝇成虫为空白对照处理。

1.2.2 饲毒法毒力测定 参考Hsu<sup>[30]</sup>和Kakani等<sup>[31]</sup>的方法略有改动。具体操作如下:用丙酮把原药溶解配制成母液,然后在预试验的基础上将母液用含0.5%吐温-80和10%蜂蜜的水溶液等比稀释成5~7个系列工作浓度。在自制的养虫杯底部放置1个15 mm×15 mm规格的称量杯,称量杯中放置脱脂棉球。然后在棉球中加入2 mL不同浓度的药液使其完全湿润。杯中放入羽化4~5d已饥饿24h的瓜实蝇成虫20头(雌虫:雄虫=1:1),取食药剂处理24h后,取出药剂,换用正常的水和食物饲养,饲养条件同前述。每处理4次重复,每个重复20头

虫。以不含药剂的上述稀释药剂用溶液作为空白对照处理。

上述2种方法生物测定中,灭蝇胺、氟啶虫酰胺、苯氧威和氟啶脲96h后统计处理死亡虫数<sup>[32]</sup>,其他药剂处理后48h统计死亡虫数。处理后的试虫以不能移动或用毛笔反转后5s内不能翻身判断为死亡。2种方法敏感基线测定所用试虫均为敏感品系63代种群,在连续的时间内完成测定。

### 1.3 抗阿维菌素品系抗药性水平测定

采用点滴法和饲毒法分别测定阿维菌素对RS品系的毒力,比较分析2种方法测定的抗性品系对阿维菌素的抗药性水平是否存在较大差异。测定方法同1.2,每处理均设4个重复,每重复20头虫。抗药性水平计算方法:抗药性品系致死中浓度(lethal concentration of 50%, LC<sub>50</sub>)/敏感品系致死中浓度(LC<sub>50</sub>)(饲毒法)或抗药性品系致死中量(lethal dose of 50%, LD<sub>50</sub>)/敏感品系致死中量(LD<sub>50</sub>)(点滴法)。

### 1.4 数据分析

根据剂量对数和死亡概率值直线回归法,采用SPSS 19软件进行统计分析,为了消除虫体本身或环境因素引起的试虫死亡率太高,导致试验数据偏差,设置所有处理空白对照组死亡率小于10%为有

效数据<sup>[32]</sup>,统计计算  $LD_{50}$  或  $LC_{50}$  值及其 95%置信区间、毒力回归线斜率值及其标准误(SE)、卡方值( $\chi^2$ )、自由度( $df$ )及  $P$  值。

## 2 结果与分析

### 2.1 点滴法测定瓜实蝇对杀虫剂的相对敏感基线

由表 2 可以看出,点滴法结果表明,瓜实蝇成虫对微生物源类的甲维盐、阿维菌素和多杀霉素最敏感, $LD_{50}$  值在 3.422~5.117  $ng \cdot head^{-1}$ ;3 个菊酯类  $LD_{50}$  值在 39.902~56.698  $ng \cdot head^{-1}$ ;有机磷类乐果和辛硫磷农药  $LD_{50}$  值为 20.929、41.692  $ng \cdot head^{-1}$ ;吡唑类啉虫酰胺、1 个有机磷类农药马拉硫磷及吡咯类虫

螨腈的  $LD_{50}$  值在 104.789~196.840  $ng \cdot head^{-1}$ ;4 个烟碱类农药  $LD_{50}$  值较为接近,其值介于 266.456~274.348  $ng \cdot head^{-1}$  之间;双酰胺类溴氰虫酰胺、氨基甲酸酯类仲丁威和植物源农药鱼藤酮  $LD_{50}$  值在 341.080~576.842  $ng \cdot head^{-1}$ 。除了上述 18 种农药,其他包括烟碱类的烯啶虫胺和吡虫啉、植物源农药 D-柠檬烯和苦参碱、硫脲类的丁醚脲,季酮酸类螺虫乙酯,噁二嗪类茚虫威,三嗪类灭蝇胺,吡啶酰胺类氟啶虫酰胺,非萜烯类苯氧威,苯甲酰脲类氟啶脲和吡啶类吡蚜酮等 12 种农药因瓜实蝇成虫极为不敏感,无法测出其毒力。同时根据毒力  $LD_{50}$  测定结果,瓜实蝇对不同杀虫剂敏感性排序为甲维盐>多杀霉素>阿维菌素>乐果>高效氯氟菊酯>溴氰菊

表 2 瓜实蝇对不同杀虫剂敏感基线(点滴法)

药剂类型	药剂名称	供试虫数	$LD_{50}$ (95%置信区间)/( $ng \cdot head^{-1}$ )	斜率 $\pm$ SE	$\chi^2$	$df$	$P$ 值
微生物源	阿维菌素	480	5.117(4.615~5.539)	5.486 $\pm$ 0.520	1.914	3	0.590
	甲维盐	480	3.422(3.027~3.832)	3.366 $\pm$ 0.268	6.560	3	0.087
	多杀霉素	480	5.110(4.042~6.157)	2.918 $\pm$ 0.238	0.250	3	0.969
菊酯类	溴氰菊酯	560	41.236(37.639~44.348)	6.244 $\pm$ 0.494	0.868	4	0.929
	高效氯氟菊酯	560	39.902(36.836~42.645)	6.829 $\pm$ 0.564	4.262	4	0.372
	高效氯氟菊酯	560	56.698(51.709~61.311)	4.521 $\pm$ 0.439	0.268	4	0.992
有机磷类	乐果	560	20.929(19.178~22.146)	9.164 $\pm$ 0.723	8.550	4	0.073
	辛硫磷	560	41.692(36.017~45.985)	5.555 $\pm$ 0.443	1.960	4	0.743
	马拉硫磷	480	160.842(128.411~181.693)	5.993 $\pm$ 0.528	0.486	3	0.922
烟碱类	噻虫嗪	560	266.456(185.948~323.970)	1.821 $\pm$ 0.157	13.649	4	0.009
	啉虫脲	480	274.129(112.639~399.253)	2.686 $\pm$ 0.513	3.131	3	0.372
	呋虫胺	480	274.348(203.608~335.724)	2.758 $\pm$ 0.401	4.671	3	0.097
	噻虫胺	480	268.355(173.148~365.453)	1.976 $\pm$ 0.267	4.338	3	0.227
吡唑类	啉虫酰胺	560	104.789(81.569~115.217)	5.194 $\pm$ 0.497	13.329	4	0.010
双酰胺类	溴氰虫酰胺	480	341.080(268.020~400.937)	3.636 $\pm$ 0.316	5.290	3	0.152
氨基甲酸酯类	仲丁威	560	445.109(397.606~479.991)	5.165 $\pm$ 0.418	1.814	4	0.770
吡咯类	虫螨腈	480	196.840(171.417~221.055)	4.478 $\pm$ 0.532	5.687	3	0.128
植物源	鱼藤酮	480	576.842(494.181~661.092)	3.467 $\pm$ 0.472	2.931	3	0.402

注:D-柠檬烯、丁醚脲、螺虫乙酯、苦参碱、茚虫威、灭蝇胺、烯啶虫胺、苯氧威、吡蚜酮、氟啶脲、氟啶虫酰胺、吡虫啉 12 种药剂对瓜实蝇成虫毒力较低,采用点滴法无法测出其毒力。毒力测定所用种群为敏感(SS)种群。

酯>辛硫磷>高效氯氟菊酯>啉虫酰胺>马拉硫磷>虫螨腈>噻虫嗪>噻虫胺>啉虫脲>呋虫胺>溴氰虫酰胺>仲丁威>鱼藤酮。

### 2.2 饲毒法测定瓜实蝇对杀虫剂的相对敏感基线

由表 3 可以看出,饲毒法结果有 21 种药剂测出了  $LC_{50}$  值。在这 21 种药剂中除鱼藤酮  $LC_{50}$ =60.542  $mg \cdot L^{-1}$  外,其他药剂  $LC_{50}$  值均低于 27.000  $mg \cdot L^{-1}$ ,其中甲维盐、阿维菌素和多杀霉素 3 个生物源农药  $LC_{50}$  值在 0.035~0.123  $mg \cdot L^{-1}$ ;3 个菊

酯类药剂  $LC_{50}$  值较为接近,在 1.090~1.695  $mg \cdot L^{-1}$ ;有机磷类乐果  $LC_{50}$ =0.302  $mg \cdot L^{-1}$ 、辛硫磷和马拉硫磷  $LC_{50}$  分别为 3.479  $mg \cdot L^{-1}$  和 4.710  $mg \cdot L^{-1}$ 。6 个烟碱类药剂中,烯啶虫胺  $LC_{50}$ =26.507  $mg \cdot L^{-1}$ 、吡虫啉  $LC_{50}$ =13.972  $mg \cdot L^{-1}$ ,其余 4 种药剂  $LC_{50}$  在 1.399~6.350  $mg \cdot L^{-1}$ ;双酰胺类溴氰虫酰胺、吡咯类虫螨腈、吡唑类啉虫酰胺、氨基甲酸酯类仲丁威和噁二嗪类茚虫威的  $LC_{50}$  值分别为 1.396、6.403、11.552、18.535、18.810  $mg \cdot L^{-1}$ 。其他包括植物源农药 D-柠檬烯和苦参碱,硫脲类的丁醚脲,季酮酸类

螺虫乙酯,三嗪类灭蝇胺,吡啶酰胺类氟啶虫酰胺,非茚烯类苯氧威,苯甲酰胺类氟啶脲和吡啶类吡蚜酮等9种农药因瓜实蝇成虫对其极为不敏感,无法测出其毒力。同时根据毒力LC<sub>50</sub>测定结果,瓜实蝇对不同杀虫剂的敏感性由高到低排序为甲维盐>

维菌素>多杀霉素>乐果>溴氰菊酯>高效氯氰菊酯>溴氰虫酰胺>噻虫胺>高效氯氟氰菊酯>噻虫嗪>呋虫胺>辛硫磷>马拉硫磷>啶虫脒>虫螨腈>啉虫酰胺>吡虫啉>仲丁威>茚虫威>烯啶虫胺>鱼藤酮。

表3 瓜实蝇对不同杀虫剂敏感基线(饲毒法)

药剂类型	药剂名称	供试虫数	LC <sub>50</sub> (95%置信区间)/(mg·L <sup>-1</sup> )	斜率±SE	χ <sup>2</sup>	df	P值
微生物源	阿维菌素	560	0.087(0.075~0.097)	3.515±0.231	25.969	4	0.000
	甲维盐	480	0.035(0.031~0.040)	3.028±0.240	1.018	3	0.797
	多杀霉素	560	0.123(0.107~0.137)	4.216±0.303	9.845	4	0.043
菊酯类	溴氰菊酯	480	1.090(0.686~1.410)	3.103±0.291	4.561	3	0.207
	高效氯氰菊酯	480	1.228(0.930~1.484)	3.544±0.262	4.384	3	0.223
	高效氯氟氰菊酯	560	1.695(1.460~1.900)	3.094±0.213	11.410	4	0.023
有机磷类	乐果	480	0.302(0.289~0.382)	7.685±0.623	6.111	4	0.191
	辛硫磷	560	3.479(2.941~3.934)	5.162±0.374	5.957	4	0.202
	马拉硫磷	560	4.710(4.180~5.164)	5.021±0.465	1.111	4	0.893
烟碱类	噻虫嗪	480	2.533(2.004~2.928)	3.571±0.251	5.716	3	0.126
	啶虫脒	640	6.350(4.656~7.663)	2.785±0.205	3.037	5	0.694
	呋虫胺	480	3.457(2.788~4.043)	3.068±0.210	1.772	3	0.621
	噻虫胺	480	1.399(1.127~1.624)	3.5795±0.251	0.207	3	0.976
	吡虫啉	480	13.972(10.186~17.581)	2.141±0.163	1.173	3	0.760
	烯啶虫胺	560	26.507(22.743~29.516)	4.560±0.575	2.774	4	0.596
吡啶类	啉虫酰胺	560	11.552(10.589~12.369)	5.769±0.622	12.090	4	0.017
双酰胺类	溴氰虫酰胺	640	1.396(0.967~1.742)	2.967±0.223	0.950	5	0.967
氨基甲酸酯类	仲丁威	560	18.535(16.984~19.852)	6.143±0.460	14.354	4	0.006
噁二嗪类	茚虫威	560	18.810(16.107~20.882)	5.575±0.397	1.692	4	0.792
吡咯类	虫螨腈	560	6.403(5.681~6.985)	4.380±0.364	12.090	4	0.017
植物源	鱼藤酮	480	60.542(36.620~81.247)	2.878±0.438	5.000	3	0.172

注:D-柠檬烯,丁醚脲,螺虫乙酯,苦参碱,灭蝇胺,苯氧威,吡蚜酮,氟啶脲,氟啶虫酰胺9种药剂对瓜实蝇成虫毒力较低,采用饲毒法无法测出其毒力。毒力测定所用种群为敏感(SS)种群。

### 2.3 抗阿维菌素品系抗药性水平测定

采用点滴法和饲毒法测得的瓜实蝇抗阿维菌素品系抗性水平见表4,由表中结果可知点滴法

测得的抗性水平为18.22倍,饲毒法测得的抗性水平为17.37倍,2种方法测得的抗性水平结果相接近。

表4 瓜实蝇对阿维菌素抗性测定

方法	品系	供试虫数	LD <sub>50</sub> (95%置信区间)/(ng·头 <sup>-1</sup> )或LC <sub>50</sub> /(mg·L <sup>-1</sup> )	斜率±SE	χ <sup>2</sup>	df	P值	抗性水平
点滴法	抗性品系	480	93.279(52.591~127.319)	2.434±0.441	1.692	3	0.639	18.22
	敏感品系	480	5.117(4.615~5.539)	5.486±0.520	1.914	3	0.590	
饲毒法	抗性品系	560	1.512(1.200~1.807)	2.281±0.287	9.404	4	0.052	17.37
	敏感品系	560	0.087(0.075~0.097)	3.515±0.231	25.969	4	0.000	

## 3 讨论与结论

化学杀虫剂防治田间害虫时,需考虑药剂作用于靶标对象的方式(触杀、胃毒等)、靶标害虫种群在田间对药剂的耐受性、不同类型杀虫剂对种群抗

药性水平的影响等<sup>[27]</sup>。目前生产上化学防治果实蝇类害虫主要采用喷洒杀虫剂和悬挂或定点投放毒饵等<sup>[16,33-34]</sup>,根据瓜实蝇成虫生活习性特征,喷雾防治以触杀为主兼顾胃毒,毒饵诱杀以胃毒为主兼顾触杀。对害虫的药剂敏感性或抗性进行测定时,不

同的生物测定方法会测得不同的毒力结果<sup>[19]</sup>。点滴法主要测定杀虫剂的触杀作用,定量精确。饲毒法主要测定杀虫剂胃毒作用兼顾触杀作用。因此2种方法虽均可测定出大部分药剂对害虫的毒力,在抗药性监测和机制研究中广泛应用,但也需要根据测定目的和药剂的作用方式来选择合适的方法<sup>[32]</sup>。

在笔者的研究中,点滴法试验结果表明,瓜实蝇成虫对吡虫啉、茚虫威、烯啶虫胺不敏感,无法测出其毒力。而采用饲毒法,上述3种药剂表现出对瓜实蝇具有一定的毒力,说明这3种药剂对瓜实蝇具有胃毒作用,无触杀活性。另外采用2种方法测定的药剂毒力排序也发生了一定变化,如溴氰虫酰胺在点滴法中相对排序第16位, $LD_{50}=341.080\text{ ng}\cdot\text{头}^{-1}$ ,而饲毒法中排序为第7位, $LC_{50}=1.396\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。辛硫磷和啉虫酰胺点滴法中排序分别为第7位和第9位, $LD_{50}$ 值分别为41.692、104.789  $\text{ng}\cdot\text{头}^{-1}$ ,饲毒法中两种药剂排序分别为第12位和第16位,说明相对于其他药剂,溴氰虫酰胺对瓜实蝇胃毒作用要优于触杀,而辛硫磷和啉虫酰胺触杀作用优于其胃毒作用。因此,在生产上建议研发瓜实蝇药剂时如溴氰虫酰胺可优先以毒饵剂型为主,而辛硫磷和啉虫酰胺则可开发以触杀作用的剂型为主。同时,采用点滴法和饲毒法测定室内选育的阿维菌素抗药性品系,结果显示,2种方法测得的抗性水平分别为18.22倍、17.37倍,较为接近,因此在应用中可以根据实际情况选择适合的方法进行抗药性监测,如点滴法要求需要精密的点滴仪,操作起来相对较繁琐,而饲毒法对操作仪器无要求,操作简便,可以优先选择。

室内生测建立害虫对不同杀虫剂的敏感性基线,结合田间抗药性水平监测,可以为害虫田间化学防治药剂选择提供参考。根据笔者研究的点滴法和饲毒法测定的瓜实蝇对不同杀虫剂的相对敏感基线结果,2种方法中微生物源类农药甲维盐、阿维菌素和多杀霉素及有机磷类的乐果均表现出对瓜实蝇成虫较高的毒力,其次是菊酯类、有机磷类和烟碱类,因此建议生产中可轮换使用上述几类药剂,但是上述几种类型药剂间是否存在交互抗药性需要注意观察和进一步研究。烟碱类的吡虫啉和烯啶虫胺,采用点滴触杀时并未表现出毒力,虽然饲毒法对瓜实蝇有一定毒性,但相对其他4个烟碱类杀虫剂其 $LC_{50}$ 值较高,因此建议田间选择烟碱类杀虫剂应避免选择这2种药剂。植物源农药D-柠檬烯和苦参碱、硫脲类的丁醚脲、季酮酸类螺虫乙

酯、三嗪类灭蝇胺、吡啶酰胺类氟啶虫酰胺、非蒽烯类苯氧威、苯甲酰脲类氟啶脲和吡啶类吡蚜酮9种杀虫剂采用2种方法无法测出其瓜实蝇成虫的毒力,同时噁二嗪类茚虫威采用点滴法也不能测出其致死中量,表明瓜实蝇成虫对上述10种药剂较为不敏感,生产中也应避免用于防治瓜实蝇成虫。

毒力敏感基线的建立是抗药性水平监测的重要依据和基础工作,而敏感品系的获得是建立敏感基线的基础。笔者的研究所用敏感品系为在室内饲养近10年至今已63代的虫源,相比于田间种群其对各种农药的相对敏感性较高和稳定,如Hsu等<sup>[17]</sup>采用点滴法对室内饲养超过300代的敏感品系瓜实蝇成虫测定其对多杀霉素的毒力敏感性,结果显示, $LD_{50}$ 值为3.16  $\text{ng}\cdot\text{头}^{-1}$ ,笔者所用瓜实蝇敏感品系测得的 $LD_{50}$ 值为5.117  $\text{ng}\cdot\text{头}^{-1}$ ,推测造成差异的原因是笔者研究用种群在室内饲养代数63代可能还未达到完全敏感,但2个种群对多杀霉素的 $LD_{50}$ 差异不是太大,显示笔者研究所用的瓜实蝇已经相对敏感,建立的相对敏感基线可以为瓜实蝇抗药性监测相关研究提供参考依据。下一步笔者计划以此研究建立的敏感基线为基础,对我国不同地区田间瓜实蝇种群抗药性进行调查和监测,以期为该虫综合防控提供数据支撑。

瓜实蝇作为果蔬上的一种主要害虫,长期以来的田间用药情况和抗药性水平数据缺乏,因此笔者采用点滴法和饲毒法分别建立了瓜实蝇成虫对18种和21种杀虫剂的相对敏感基线,对今后长期系统监测其抗药性发展,指导合理用药,避免农药的滥用和抗性综合治理具有重要的参考价值。

### 参考文献

- [1] 许佳丹,王书平,蒋费涛,等.我国口岸瓜实蝇监测样本的SSR分子标记分析[J].生物安全学报,2019,28(4):259-268.
- [2] VAYSSIERES J, REY J, TRAORE L. Distribution and host plants of *Bactrocera cucurbitae* in west and central Africa[J]. Fruits, 2007, 62(6):391-396.
- [3] 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.
- [4] 李貌,张金龙,闫振华,等.不同寄主对瓜实蝇和南亚实蝇生长发育和产卵选择的影响[J].植物保护,2022,48(3):151-158.
- [5] LEBLANC L, VUETI E T, DREW R, et al. Host plant records for fruit flies (Diptera: Tephritidae: *Dacini*) in the Pacific Islands: 2. Infestation statistics on economic hosts[J]. Proceedings of The Hawaiian Entomological Society, 2013, 44: 11-53.
- [6] 马兴莉,李志红,胡学难,等.橘小实蝇、瓜实蝇和南亚实蝇对广东省造成的经济损失评估[J].植物检疫,2013,27(3):50-56.

- [7] 张全胜. 瓜实蝇生物学特性及其防治[J]. 中国蔬菜, 2002(3): 38-39.
- [8] DHILLON M K, SINGH R, NARESH J S, et al. The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: A review of its biology and management[J]. Journal of Insect Science, 2005, 5:40.
- [9] 曾宪儒, 覃江梅, 龙秀珍, 等. 我国主要瓜类实蝇的生物防治研究进展[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3):416-425.
- [10] YOSIAKILTO I, HIROYUKI K, MASASKI Y, et al. Eradication of the melon fly, *Bactrocera cucurbitae*, from Okinawa, Japan, by means of the sterile insect technique, with special emphasis on the role of basic studies[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2003, 6(2):119-130.
- [11] 李磊, 陈泰运, 牛黎明, 等. 苦瓜套袋防治瓜实蝇和南瓜实蝇的效果评价[J]. 植物保护, 2015, 41(6):225-229.
- [12] BACCI L, CRESPO A L, GALVAN T L, et al. Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its natural enemies[J]. Pest Management Science, 2007, 63(7): 699-706.
- [13] VARGAS R I, MIYASHITA D, NISHIDA T. Life history and demographic parameters of three laboratory-reared tephritids (Diptera: Tephritidae)[J]. Annals of the Entomological Society of America, 1984, 77(6):651-656.
- [14] 蔡波, 孟瑞, 黄振, 等. 西沙永兴岛果蔬实蝇种类及发生动态研究[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(9):85-87.
- [15] VARGAS R I, STARK J D, NINSHIDA T. Population dynamics, habitat preference, and seasonal distribution patterns of oriental fruit fly and melon fly (Diptera: Tephritidae) in an agricultural area[J]. Environmental Entomology, 1990, 19(6):1828-1980.
- [16] VONTAS J, HERNÁNDEZ- CRESPO P, MARGARITOPoulos J T, et al. Insecticide resistance in Tephritid flies[J]. Pesticide Biochemistry & Physiology, 2011, 100(3):199-205.
- [17] HSU J C, HAYMER D S, CHOU M Y, et al. Monitoring resistance to spinosad in the melon fly (*Bactrocera cucurbitae*) in Hawaii and Taiwan[J/OL]. Scientific World Journal, 2012: 750576. <https://doi.org/10.1100/2012/750576>. DOI: 10. 1100/2012/750576.
- [18] 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.
- [19] 王欢欢, 吕圣兰, 赵瑞, 等. 草地贪夜蛾幼虫对常用杀虫剂相对敏感基线的建立[J]. 昆虫学报, 2021, 64(12):1427-1432.
- [20] 张帅, 马艳, 闵红, 等. 华北棉区主要害虫抗药性监测与治理技术示范[J]. 昆虫学报, 2016, 59(11):1238-1245.
- [21] 张小磊, 廖逊, 毛凯凯, 等. 湖北稻区褐飞虱田间种群对常用杀虫剂抗药性监测[J]. 昆虫学报, 2016, 59(11):1222-1231.
- [22] 任宗杰, 秦萌, 郭永旺, 等. 2021年全国农业有害生物抗药性监测报告与治理对策(水稻、玉米部分)[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(3):54-60.
- [23] 全国农业技术推广服务中心. 2008年全国农业有害生物抗药性监测结果[J]. 中国植保导刊, 2009, 29(5):40-42.
- [24] 任宗杰, 秦萌, 郭永旺, 等. 2021年全国农业有害生物抗药性监测报告与治理对策(小麦、棉花、蔬菜部分)[J]. 中国植保导刊, 2022, 42(4):68-73.
- [25] 龚坤元. 测定农业害虫抗药性的几种方法[J]. 植物保护, 1964, 2(2):86-87.
- [26] 吴益东, 陈松, 净新娟, 等. 棉铃虫抗药性监测方法: 浸叶法敏感毒力基线的建立及其应用[J]. 昆虫学报. 2001, 44(1): 56-61.
- [27] 中华人民共和国农业部. 蔬菜夜蛾类害虫抗药性监测技术规范: NY/T 2361—2013[M]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [28] 唐振华, 张泰平. 几种农业害虫抗药性测定方法[J]. 应用昆虫学报, 1974, 11(4):35-39.
- [29] 中华人民共和国农业部. 农药室内生物测定试验准则 杀虫剂第1部分 触杀活性试验点滴法: NY/T 1154.1—2006[M]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [30] HSU J C, FENG H T. Development of resistance to spinosad in oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in laboratory selection and cross-resistance[J]. Journal of Economic Entomology, 2006, 99(3):931-936.
- [31] KAKANI E G, ZYGOURIDIS N E, TSOUMANI K T, et al. Spinosad resistance development in wild olive fruit fly *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae) populations in California[J]. Pest Management Science, 2010, 66(4):447-453.
- [32] 文礼章. 昆虫学研究方法与技术导论[M]. 北京: 科学出版社, 2010:372-379.
- [33] BARRY J D, MILLER N W, PIÑERO J C, 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.
- [34] VARGAS R I, MAU R F L, JANG E B, et al. The Hawaii fruit fly areawide pest management programme[M]. KOUL O, CUPERUS G, ELLIOTT N. Areawide Pest Management: Theory and Implementation, Wallingford UK: CABI, 2008:300-326.