

多种药剂对橘小实蝇成虫的毒力测定及田间抗性监测

何凤梅, 安长成, 张永魁, 李远富, 谭辉华*

(广西农业环境与农产品安全重点实验室, 广西大学农学院, 南宁 530004)

摘要 为筛选出能有效防治橘小实蝇的药剂, 采用药膜法测定 16 种药剂对橘小实蝇成虫的触杀毒力, 同时测定了田间种群对 6 种药剂的抗性水平。结果表明, 处理 24 h 后各供试药剂的毒力大小依次为: 毒死蜱>甲维盐>辛硫磷>马拉硫磷>高效氯氟菊酯>噻虫胺>吡虫啉>乙基多杀菌素>多杀霉素>噻虫嗪>氟戊菊酯>溴氰菊酯>阿维菌素>氯氟菊酯>虫螨腈>杀虫单。抗生素类药剂随着时间的延长, 触杀活力明显提高。田间抗药性检测结果显示, 广西 4 个地区的橘小实蝇均对高效氯氟菊酯产生了中等抗性, 玉林和桂林地区种群对阿维菌素也达到中抗水平。本试验明确了多种杀虫剂对橘小实蝇的毒力和田间抗性水平, 可为化学防治橘小实蝇提供参考。

关键词 橘小实蝇; 杀虫剂; 毒力测定; 抗性监测; 广西

中图分类号: S 48; S 436.67 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019292

Toxicity of insecticides to adults of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and insecticides resistance in field populations in Guangxi

HE Fengmei, AN Changcheng, ZHANG Yongkui, LI Yuanfu, TAN Huihua*

(Guangxi Key Laboratory of Agro-Environment and Agro-Products Safety, College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract In order to get effective and safe insecticides for controlling oriental fruit fly, dry residue film bioassay method was used to test the toxicity of 16 insecticides to the adults of susceptible strain of *Bactrocera dorsalis* (Hendel). Resistance of field populations of *B. dorsalis* from Guangxi to six insecticides was also determined simultaneously by vial residue analysis in the laboratory. The results showed that the toxicity of sixteen insecticides to *B. dorsalis* adults from high to low was as follows: chlorpyrifos, emamectin benzoate, phoxim, malathion, β -cypermethrin, clothianidin, dinotefuran, spinetoram, spinosad, thiamethoxam, fenvalerate, deltamethrin, abamectin, cypermethrin, chlorfenapyr and monosultap. However, with the extension of time, the contact toxicity of antibiotic insecticide was obviously increased. Resistance test demonstrated that four field populations of *B. dorsalis* were all showed mid-resistance to *beta*-cypermethrin, and Yulin and Guilin populations also showed mid-resistance to abamectin. The results provide a guidance for chemical control against the pest.

Key words *Bactrocera dorsalis*; insecticides; toxicity; resistance monitoring; Guangxi

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 也称柑橘小实蝇, 英文名为 oriental fruit fly, 是热带亚热带地区水果上的重要害虫。其寄主广泛, 21 世纪前其可为害的果蔬、花卉作物达 46 个科 250 种^[1]。随着全球气候变化和人类活动, 原先的不适区也逐渐成为了橘小实蝇的适生为害区。而我国实施改革开放后特别是加入世界贸易组织以来, 作物结构发生了巨大变化, 与国际上的经济贸易往来更加频繁, 为橘

小实蝇的大量繁殖和扩散提供了条件。据 CoFFHI (2016. <https://coffhi.cphst.org/>) 记录, 目前橘小实蝇可为害的寄主种类在原来的基础上新增了 363 种, 总共 627 种, 最适宜的寄主有 478 种, 隶属 76 个科 211 个属^[2-3]。广西地处亚热带, 盛产多种特色水果, 如南宁香蕉、沃柑、火龙果, 桂林砂糖橘、恭城月柿, 百色芒果, 玉林番石榴等。近年来, 橘小实蝇已成为影响广西特色水果产业发展的重要害虫之一, 严重阻碍

收稿日期: 2019-06-13 修订日期: 2019-07-19

基金项目: 广西科技重大专项(桂科 AA17202017)

* 通信作者 E-mail: tanhh@gxu.edu.cn

了我国水果产业链和社会经济的健康发展。

橘小实蝇因其为害严重、防治困难等成为国内外许多学者的研究对象。我国对该虫的研究以田间发生动态和防治手段居多。将化学防治、物理防治、生物防治、农业防治和政府参与等措施结合可取得较好的防效^[4]。在众多防控手段中,化学防治是最便捷、见效最快且不可或缺的措施。21 世纪初,我国使用化学农药防治橘小实蝇已非常普遍,相关研究在我国台湾比大陆早。Hsu 等^[5]测定了橘小实蝇对 7 种杀虫剂的敏感性,随后赵菊鹏等^[6-8]用药膜法和浸虫法测定了 4 种不同类型的农药对橘小实蝇成虫、幼虫和蛹的毒力,结果表明有机磷类毒力最高。因部分有机磷杀虫剂具有高毒、高风险等特性,带来了许多安全隐患,相继在一些作物上被禁用或限制使用。田间防治主要选择阿维菌素、高效氯氰菊酯和敌百虫等药剂,但是随着药剂的大量和长期使用,橘小实蝇抗药性也不断产生并上升^[9-10]。为寻找更环保安全且有效的防治药剂,国内外研究者在测定方法、药剂选择、作用方式及抗性机制等方面做了大量研究,同时也在不断开发、研制和引进新型杀虫剂^[11-14]。但许多药剂对橘小实蝇的毒力尚不明确,近些年田间种群的抗药性现状也鲜见报道。

为了明确这些药剂对橘小实蝇的毒杀效果,获得相应的敏感基线,作者采用药膜法测定多种类型杀虫剂对室内敏感种群的毒力,同时采集并测定广西不同地区的 4 个橘小实蝇田间种群对 6 种药剂的抗药性水平,为今后化学防治橘小实蝇、评估广西及其他地区田间种群的抗性动态提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

室内敏感种群:从广西玉林北流市新圩镇(22°72'N,110°35'E)未采取防控措施的番石榴园采集虫果,带回广西大学农学院昆虫研究所,置于温度为 25~28℃,湿度为 65%~85%,光照周期 L//D=14 h//10 h 的空调室内饲养。将带虫果放置在有 5~7 cm 河沙的塑料盆中,果内幼虫老熟后跳入沙子化蛹,沙子的湿度保持在 20%左右。将羽化后的成虫收集于自制的养虫笼内(规格 45 cm×45 cm×45 cm),用人工饲料(酵母膏:白糖=1:3, *m/m*)饲喂,湿棉花团提供水分。成虫性成熟后用香蕉、番石榴、杨桃等水果诱集产卵,结合幼虫人工饲料连续饲养繁殖至 27 代左右,饲养期间不接触任何药剂,建立相对敏感品系,以饲养的 3~5 日龄健康成虫作为供试虫源。

田间种群:2018 年 6 月—8 月从广西南宁(以下简称 NN,22°48'N,108°22'E)、玉林(以下简称 YL,22°37'N,110°10'E)、百色(以下简称 BS,23°45'N,106°54'E)和桂林(以下简称 GL,24°51'N,110°49'E)4 个地区采集田间受害果实及落果,带回实验室饲养至 F₂~F₃ 代,饲养条件同上。

供试药剂:均为原药。95%呋虫胺,湖州南浔农慧达化工有限公司;98%噻虫胺,江苏中旗科技股份有限公司;97%噻虫嗪,邯郸市瑞田农药有限公司;96.8%高效氯氰菊酯,江苏优士化学有限公司;98%溴氰菊酯,95%氯氰菊酯,苏州诚合化工有限公司;97%毒死蜱,90%马拉硫磷,89.2%辛硫磷,湖北仙隆化工股份有限公司;98%虫螨腈,江苏维尤纳特精细化工有限公司;97.6%阿维菌素,河北威远生物化工有限公司;71.7%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(以下简称甲维盐),大庆志飞生化化工有限公司;92.5%多杀霉素,齐鲁制药(内蒙古)有限公司;81.2%乙基多杀菌素,美国陶氏益农公司;95%杀虫单,91.5%氰戊菊酯,山东大成生物化工有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 毒力测定方法

采用药膜法测定各供试药剂对成虫的毒力。根据预试验结果,将供试药剂用丙酮(杀虫单原药用水溶解)配制成母液,并用丙酮(杀虫单母液用水稀释)稀释成 5~7 个浓度。移取 5 mL 药液于 250 mL 三角瓶中,摇晃使瓶壁上形成均匀药膜后倒掉药液。待瓶中丙酮或水分完全挥发后,引入橘小实蝇成虫,并放入 10%蜜糖水湿润的棉球,然后用纱布封住瓶口,橡皮圈扎紧,倒立放置于温度为 25~28℃,相对湿度为 65%~85%,L//D=14 h//10 h 的空调室内,设丙酮或水为空白对照,每个浓度处理 3 次重复,每重复 20 头。根据药剂作用特点 24 h 或 72 h(杀虫单和抗生素类)后观察各瓶中试虫的死亡情况,用毛笔触动虫体 30 s 内无反应为死亡标准,记录死亡数量并计算死亡率,对照死亡率小于 10%为有效测定。

1.2.2 抗性检测方法

与毒力测定方法相同,采用药膜法。将测定结果与室内相对敏感种群的毒力测定结果比较得出抗性倍数(resistant ratio,RR)。抗性等级的划分:RR≤3 表明仍为处于敏感阶段,在 3.1~10 之间说明产生了低水平抗性,10.1~40 之间表明达到了中抗水平,40.1~160 表明达到了高抗水平,>160 则为极高水平抗性^[13]。

1.3 数据处理与统计分析

使用 Excel 处理各数据后用生物统计软件 SPSS 17.0 进行数据分析,得出供试药剂毒力回归方程的斜率和标准误、致死中浓度(LC₅₀)及 95%置信限、卡方值 χ^2 、P 值等参数。

$$\text{死亡率} = \frac{\text{试虫死亡数}}{\text{试虫总数}} \times 100\%;$$
$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理组死亡率} - \text{对照组死亡率}}{1 - \text{对照组死亡率}} \times 100\%;$$
$$\text{抗性倍数(RR)} = \frac{\text{供试种群的 LC}_{50}}{\text{敏感种群的 LC}_{50}}。$$

2 结果与分析

2.1 16 种药剂对橘小实蝇成虫的触杀毒力

在室内采用药膜法测定 16 种药剂对 3~5 日龄橘小实蝇成虫的触杀毒力,结果(表 1)表明,处理 24 h 的触杀毒力由大到小依次为:毒死蜱(1.017 mg/L)>

甲维盐(1.702 mg/L)>辛硫磷(1.876 mg/L)>马拉硫磷(4.579 mg/L)>高效氯氰菊酯(6.243 mg/L)>噻虫胺(7.611 mg/L)>呋虫胺(7.659 mg/L)>乙基多杀菌素(12.698 mg/L)>多杀霉素(17.950 mg/L)>噻虫嗪(19.517 mg/L)>氰戊菊酯(24.294 mg/L)>溴氰菊酯(27.808)mg/L>阿维菌素(34.081 mg/L)>氯氰菊酯(66.002 mg/L)>虫螨腈(88.409 mg/L)>杀虫单(408.571 mg/L)。根据杀虫单和抗生素类药剂的作用特点,延长了处理后的观察时间。结果显示,处理 72 h 后甲维盐的致死中浓度为 0.059 mg/L,多杀霉素、阿维菌素和乙基多杀菌素的致死中浓度分别为 0.995、2.695、2.865 mg/L,表明随着处理时间的延长,此类药剂对敏感品系橘小实蝇的触杀活性均较 24 h 有明显提高。而杀虫单处理 72 h 后的致死中浓度(234.598 mg/L)虽然相对 24 h(408.571 mg/L)有明显的下降,但其触杀毒力仍然较差。

表 1 药膜法处理 24、48 h 或 72 h 后 16 种杀虫剂对敏感品系橘小实蝇的触杀毒力

Table 1 Contact toxicities of 16 insecticides to susceptible strain of *Bactrocera dorsalis* adults after 24 h, 48 h or 72 h

药剂类型 Insecticide type	药剂 Insecticide	时间/h Time	斜率±标准误 Slope±SE	LC ₅₀ (95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95% confidence interval)	卡方值 χ^2	自由度 df	P
沙蚕毒素类 Nereistoxin	杀虫单 monosultap	24	1.586±0.123	408.571(228.584~700.160)	12.273	5	0.031
		48	1.800±0.132	247.059(101.849~510.629)	25.506	5	0.001
		72	2.070±0.146	234.598(185.954~292.370)	4.636	5	0.462
有机磷类 Organophosphorus	毒死蜱 chlorpyrifos	24	4.617±0.347	1.017(0.762~1.352)	10.599	4	0.031
		24	1.630±0.125	4.579(3.880~5.374)	1.239	4	0.872
		24	2.572±0.216	1.876(1.626~2.132)	4.915	4	0.296
抗生素类 Antibiotics	阿维菌素 abamectin	24	0.932±0.090	34.081(23.765~53.359)	3.131	3	0.372
		48	1.740±0.110	8.197(6.248~12.850)	9.447	5	0.093
		72	1.762±0.135	2.695(2.042~3.559)	4.284	4	0.369
	甲维盐 emamectin benzoate	24	1.438±0.100	1.702(1.432~2.016)	1.751	5	0.882
		48	1.195±0.068	0.234(0.192~0.282)	5.393	8	0.715
		72	2.649±0.194	0.059(0.049~0.070)	8.199	6	0.224
	多杀霉素 spinosad	24	2.338±0.155	17.950(15.850~20.343)	5.685	4	0.224
		48	0.993±0.075	2.071(0.728~5.719)	10.667	3	0.014
		72	0.999±0.066	0.995(0.456~2.149)	12.806	4	0.012
	乙基多杀菌素 spinetoram	24	1.203±0.097	12.698(10.397~15.846)	3.601	5	0.608
		48	2.630±0.253	9.189(7.569~11.637)	2.845	4	0.584
		72	3.628±0.276	2.865(2.500~3.280)	2.320	4	0.677
新型吡咯类 New pyrrole	虫螨腈 chlorfenapyr	24	0.817±0.084	88.409(37.581~167.882)	8.989	4	0.061
新烟碱类 Neonicotinoids	呋虫胺 dinotefuran	24	1.467±0.140	7.659(5.514~10.622)	3.792	3	0.285
		24	1.019±0.087	7.611(2.849~16.411)	10.722	5	0.057
		24	2.744±0.208	19.517(16.433~22.931)	6.048	5	0.302
拟除虫菊酯类 Pyrethroid	高效氯氰菊酯 beta-cypermethrin	24	1.073±0.077	6.243(3.648~9.980)	10.164	5	0.071
		24	1.050±0.084	27.808(19.265~39.447)	8.034	6	0.236
		24	3.103±0.278	24.294(14.008~35.454)	15.650	3	0.001
		24	2.570±0.182	66.002(47.419~93.073)	9.197	5	0.101

2.2 广西不同地区橘小实蝇田间种群的抗药性测定结果

药膜法测定广西不同地区橘小实蝇田间种群对 6 种杀虫剂的抗性(表 2),结果发现南宁、玉林、桂林、白色的橘小实蝇田间种群对甲维盐、毒死蜱、马

硫磷和乙基多杀菌素还处于敏感或低水平抗性阶段,但对高效氯氰菊酯的抗性均已达中抗水平,抗性倍数分别为 30.2、11.5、20.7、18.1 倍。桂林和玉林地区的橘小实蝇对阿维菌素的抗性也达到中抗水平,抗性倍数分别为 23.8 倍和 10.4 倍。

表 2 各地区橘小实蝇田间种群对 6 种药剂的抗药性测定结果¹⁾
Table 2 Resistance of field population in different areas to six insecticides

药剂 Insecticide	种群 Population	斜率 ± 标准误差 Slope ± SE	LC ₅₀ (95%置信限)/mg · L ⁻¹ LC ₅₀ (95% confidence interval)	卡方值 χ^2	自由度 df	P	抗性倍数(RR) Resistance ratio
甲维盐 emamectin benzoate	NN	2.522±0.176	0.149(0.122~0.182)	7.176	5	0.208	2.5
	YL	1.940±0.146	0.176(0.140~0.220)	6.522	5	0.259	3.0
	GL	2.475±0.214	0.243(0.142~0.425)	15.191	4	0.004	4.1
	BS	2.174±0.156	0.263(0.181~0.380)	9.070	5	0.106	4.5
	SS	2.649±0.194	0.059(0.049~0.070)	8.199	6	0.224	1.0
毒死蜱 chlorpyrifos	NN	4.502±0.410	3.462(3.073~3.834)	1.306	4	0.860	3.4
	YL	5.809±0.461	1.743(1.571~1.937)	1.805	4	0.771	1.7
	GL	—	—	—	—	—	—
	BS	4.304±0.326	1.499(1.326~1.698)	5.304	4	0.257	1.5
	SS	4.617±0.347	1.017(0.762~1.352)	10.599	4	0.031	1.0
阿维菌素 abamectin	NN	1.236±0.093	2.941(1.278~6.436)	14.546	5	0.012	1.1
	YL	2.223±0.175	27.954(23.269~33.835)	5.530	5	0.355	10.4
	GL	1.777±0.140	64.233(48.521~83.496)	0.459	4	0.977	23.8
	BS	2.674±0.178	6.996(5.976~8.211)	2.955	6	0.814	2.6
	SS	1.762±0.135	2.695(2.042~3.559)	4.284	4	0.369	1.0
高效氯氰菊酯 beta-cypermethrin	NN	2.015±0.138	188.887(129.647~273.724)	19.499	7	0.007	30.2
	YL	2.042±0.146	71.685(47.326~108.702)	17.075	6	0.009	11.5
	GL	1.466±0.110	129.108(90.191~187.596)	11.009	7	0.138	20.7
	BS	1.938±0.144	113.363(73.925~182.175)	17.693	6	0.007	18.1
	SS	1.073±0.077	6.247(3.523~9.846)	10.164	5	0.071	1.0
乙基多杀菌素 spinetoram	NN	—	—	—	—	—	—
	YL	2.664±0.224	4.397(3.722~5.221)	3.239	4	0.519	1.5
	GL	3.601±0.257	3.680(3.205~4.209)	5.119	5	0.402	1.3
	BS	2.552±0.168	3.560(3.080~4.085)	2.077	3	0.557	1.2
	SS	3.628±0.276	2.865(2.500~3.280)	2.320	4	0.677	1.0
马拉硫磷 malathion	NN	—	—	—	—	—	—
	YL	2.354±0.158	35.166(31.075~39.867)	2.838	4	0.585	7.7
	GL	2.520±0.173	18.565(11.378~28.988)	21.963	4	0.000	4.1
	BS	1.795±0.137	7.054(3.660~13.297)	9.947	4	0.041	1.5
	SS	1.630±0.125	4.579(3.841~5.354)	1.239	4	0.872	1.0

1) NN、YL、GL、BS 分别为南宁、玉林、桂林、白色的首字母缩写。SS:相对敏感品系。
NN, YL, GL, BS are acronyms of Nanning, Yulin, Guilin and Baise respectively. SS:Relative susceptible strain.

2003 年—2008 年南宁市橘小实蝇种群对药剂抗药性动态研究资料显示(表 3),南宁市橘小实蝇对高效氯氰菊酯的抗性变化幅度较小,5 年间抗性倍数由 1.4 上升至 5.0,仅提高 2.57 倍,仍处于敏感至低抗水平之间。对阿维菌素的抗性变化则较大,抗性倍数从 2005 年的低抗水平(8.3 倍)到 2008 年上升至

高抗水平(44.3 倍),上升速度较快,期间曾由中抗下降至低抗后继续上升至高抗水平。对敌百虫的抗性发展则相对稳定,由敏感逐渐上升至低抗、中抗水平,至 2008 年时又下降至低抗水平。将 2008 年与 2018 年抗药性测定结果相比较,发现 2018 年南宁市橘小实蝇对高效氯氰菊酯的抗性倍数为 30.2 倍,从 2008

年的低抗水平上升至中等抗性,参照 2008 年的敏感基线(2.49),则已达高抗水平,抗性倍数为 75.9 倍。而对阿维菌素的抗性相对于 10 年前则表现为明显的下降现象,抗性倍数从 2008 年的 44.3 下降至 1.1~4.3 倍,由原来的高抗水平降至低抗或敏感水平。15

年来南宁市橘小实蝇对高效氯氰菊酯和阿维菌素的抗性变化可能与 2008 年橘小实蝇对阿维菌素的抗性较高,农户相继选择高效氯氰菊酯进行防治,减少了阿维菌素的使用,从而加快了对高效氯氰菊酯产生抗性的速度,而对阿维菌素的敏感性则增加。

表 3 南宁市橘小实蝇种群对 3 种杀虫剂的抗性动态¹⁾

年份 Year	高效氯氰菊酯 <i>beta</i> -cypermethrin			阿维菌素 abamectin			敌百虫 trichlorfon			文献来源 Reference
	LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	SS-LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	抗性倍数 Resistance ratio	LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	SS-LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	抗性倍数 Resistance ratio	LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	SS-LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	抗性倍数 Resistance ratio	
2003/2004	4.514	3.201	1.4	—	—	—	5.222	1.861	2.8	[15]
2005	7.551	2.516	3.0	5.706	0.688	8.3	7.301	1.602	4.6	[16]
2006	14.575	3.096	4.7	12.957	0.607	21.3	16.478	1.602	10.3	[17]
2007	7.95	2.49	3.2	2.92	0.68	4.3	25.08	1.602	15.7	[18]
2008	12.5	2.49	5.0	30.11	0.68	44.3	11.87	1.602	7.4	[18]
2018	188.887	6.247	30.2	2.941	2.695	1.1	—	—	—	—
	188.887	2.49*	75.9	2.941	0.68	4.3	—	—	—	—

1) SS:相对敏感品系。* 表示该数据为 2008 年高效氯氰菊酯对敏感种群的 LC₅₀。
SS:relative susceptible strain. *: SS-LC₅₀ value come from 2008.

3 讨论

在有害生物防控中,化学药剂防控技术作为一项应急防控措施在害虫防治方面有着不可或缺的地位,有机磷类、拟除虫菊酯类、抗生素类以及新烟碱类药剂是目前使用较普遍的杀虫剂类型。本文研究结果表明,毒死蜱、甲维盐、辛硫磷、马拉硫磷、高效氯氰菊酯、噻虫胺、呋虫胺对橘小实蝇敏感品系的触杀活性明显高于其他供试药剂。但是,田间抗性监测结果显示,广西橘小实蝇田间种群已对高效氯氰菊酯产生中等抗性,部分地区对阿维菌素的抗性也达到中抗水平,而对甲维盐和乙基多杀菌素的抗性还处于敏感或低抗水平。因此,在田间应用时,可选择使用抗生素类药剂与上述其他药剂轮换使用,以避免抗性进一步上升^[19-22]。新烟碱类杀虫剂是近年发展较快,可有效防治刺吸式口器害虫的一类新颖杀虫剂。当前国内外对该类药剂在蚜虫、飞虱等害虫^[23-24]和蜜蜂^[25]等益虫上的研究报道较多,但对橘小实蝇的毒力研究报道很少。本研究发现呋虫胺和噻虫胺对橘小实蝇有较好的触杀活性,此结果与前人研究新烟碱药剂作用于其他害虫的活性结果一致^[26-27]。杀虫单对橘小实蝇的触杀作用不显著,可能与药剂本身的理化性质和作用方式有关。药剂混

配可达到增效和减缓抗药性的发展,本文仅对单一药剂进行了毒力测定,未来防治橘小实蝇的药剂可考虑将药剂按一定比例混合使用。

毒力敏感基线是评价田间抗性水平的主要依据,本研究采用药膜法测定了 16 种药剂对橘小实蝇敏感品系的毒力,得到广西橘小实蝇对 16 种药剂的毒力敏感基线,其结果与前人相似^[28-30]。每年橘小实蝇数量于 6 月—7 月迅速上升,8 月—10 月达到盛期^[31],农户在这期间的用药相对更多,本试验在此时段采集 2018 年田间种群测定其对 6 种常规药剂的敏感性,根据敏感基线确定了广西橘小实蝇田间抗药性情况,丰富了广西地区田间种群的抗药性数据。值得注意的是,橘小实蝇田间种群的抗性发展动态及抗性机制的研究还有待进一步深入,以更好地进行田间抗性治理。

本试验确定了 16 种杀虫剂对橘小实蝇敏感品系的毒力和田间种群对 6 种常规药剂的抗药性水平,其结果对田间防治药剂选择、延缓抗药性发展、提高防治效果和减少药剂选择压力、保护环境等方面具有重要意义,可为化学防治橘小实蝇提供参考。

参考文献

[1] 梁广勤,章士美,徐伟. 我国南方部分地区实蝇记述及 2 种中

- 国新记录[J]. 江西农业大学学报, 1989(3): 14-20.
- [2] MCQUATE G T, SYLVA C D, LIQUIDO N J. Natural field infestation of *Mangifera casturi* and *Mangifera lalijuxa* by oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) [J/OL]. International Journal of Insect Science, 2017, 9: 1179543317717735. DOI: 10.1177/1179543317717735.
 - [3] LIQUIDO N, MCQUATE G, SUITER K. USDA Compendium of fruit fly host information (CoFFHI)[C]//Proceedings of 9th International Symposium on Fruit Flies of Economic Importance, 2016: 420-434.
 - [4] LIU Huan, ZHANG Dongju, XU Yijuan, et al. Invasion, expansion, and control of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) in China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18(4): 771-787.
 - [5] HSU Juchun, FENG Haitung. Insecticide susceptibility of the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis* (Hendel))(Diptera: Tephritidae) in Taiwan [J]. Chinese Journal of Entomology, 2000, 20: 109-118.
 - [6] 赵菊鹏, 田世尧, 梁广勤, 等. 几种杀虫剂对桔小实蝇蛹的毒力测定[J]. 江西农业大学学报(自然科学), 2004, 26(2): 286-288.
 - [7] 曾杨, 赵菊鹏, 林志雄, 等. 几种杀虫剂对桔小实蝇老熟幼虫的毒力测定[J]. 植物检疫, 2002, 16(3): 148-149.
 - [8] 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.
 - [9] 姚其, 曾玲, 梁广文, 等. 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[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(4): 791-799.
 - [10] 潘志萍, 陆永跃, 曾玲, 等. 桔小实蝇实验种群对敌百虫、高效氯氰菊酯和阿维菌素的抗性增长规律[J]. 昆虫学报, 2008, 51(6): 609-617.
 - [11] 林玉英, 曾玲, 陆永跃, 等. 杀虫剂对橘小实蝇毒力测定方法的筛选和应用[J]. 植物保护, 2011, 37(4): 158-162.
 - [12] WANG Jingjing, WEI Dong, WEI Dou, et al. Toxicities and synergistic effects of several insecticides against the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2013, 106(2): 970-978.
 - [13] ZHANG Ruimin, JANG E B, HE Shiyu, et al. Lethal and sublethal effects of cyantraniliprole on *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) [J]. Pest Management Science, 2015, 71(2): 250-256.
 - [14] HIDAYAT Y, FERERA R F, RAMADHAN A F, et al. Combination of edible vegetable oil and artificial fruit to reduce *Bactrocera dorsalis* oviposition in chilli fruits [J]. Journal of Applied Entomology, 2019, 143(1/2): 69-76.
 - [15] 潘志萍, 曾玲, 陆永跃. 华南地区桔小实蝇对几种农药的抗药性研究[J]. 华南农业大学学报, 2005, 26(4): 23-26.
 - [16] 章玉苹, 曾玲, 陆永跃, 等. 华南地区桔小实蝇抗药性动态监测[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(3): 20-23.
 - [17] 章玉苹, 曾玲, 陆永跃, 等. 华南地区桔小实蝇田间种群抗药性的监测[J]. 华中农业大学学报, 2008, 27(4): 456-459.
 - [18] JIN Tao, ZENG Ling, LIN Yuying, et al. Insecticide resistance of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in mainland China [J]. Pest Management Science, 2011, 67(3): 370-376.
 - [19] 刘旭, 刘虹玲, 夏先全. 抗生素类杀虫剂研究进展[J]. 西南农业学报, 2007, 20(6): 1383-1386.
 - [20] STARK J D, VARGA S R, MILLER N. Toxicity of spinosad in protein bait to three economically important tephritid fruit fly species (Diptera: Tephritidae) and their parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2004, 97(3): 911-915.
 - [21] 李培征, 陆永跃, 梁广文, 等. 桔小实蝇对多杀霉素的抗药性风险评估[J]. 环境昆虫学报, 2012, 34(4): 447-451.
 - [22] VARGAS R I, SOUDER S K, HOFFMAN K, et al. Attraction and mortality of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) to STATIC Spinosad ME weathered under operational conditions in California and Florida: A reduced-risk male annihilation treatment [J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 107(4): 1362-1369.
 - [23] 彭建红, 李耀发, 高占林, 等. 新烟碱类杀虫剂亚致死剂量对麦长管蚜和棉蚜取食行为的影响[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 91-96.
 - [24] 何玲, 王李斌. 新烟碱类杀虫剂吡虫啉的抗性研究进展[J]. 农药科学与管理, 2018, 39(1): 27-31.
 - [25] MITCHELL E, MULHAUSER B, MULOT M, et al. A worldwide survey of neonicotinoids in honey [J]. Science, 2017, 358(6359): 109-111.
 - [26] 孟臻, 王菲菲, 张典利, 等. 呋虫胺对不同虫态烟粉虱的室内毒力测定[J]. 生物灾害科学, 2018, 41(2): 131-133.
 - [27] 李兴涛, 佟晓楠, 段会会, 等. 新型杀虫剂噻虫胺对柑桔木虱的毒力和田间防治效果研究[J]. 中国南方果树, 2018, 47(6): 7-10.
 - [28] 林玉英, 金涛, 曾玲, 等. 3种杀虫剂对不同密度、日龄和性别桔小实蝇成虫的毒力[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(5): 737-743.
 - [29] 林玉英, 曾玲, 金涛, 等. 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[J]. 环境昆虫学报, 2010, 32(2): 215-219.
 - [30] LIN Yuying, JIN Tao, ZENG Ling, et al. Insecticide toxicity to oriental fruit fly *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) is influenced by environmental factors [J]. Journal of Economic Entomology, 2013, 106(1): 353-359.
 - [31] 朱俐遐, 李桂珍, 尧美英, 等. 攀枝花地区芒果园桔小实蝇成虫种群动态规律[J]. 中国南方果树, 2019, 48(2): 30-33.

(责任编辑: 杨明丽)