

调 查 研 究

Investigations

橘小实蝇在郑州地区的发生规律及防控技术研究

袁彬乔, 赵向杰, 张金勇, 王 丽, 黄天祥, 涂洪涛*

(中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009)

摘要 为探明橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 在北方落叶果树产区的寄主范围、发生规律及为害程度等,对橘小实蝇在郑州地区果园的发生、为害及防控技术进行了研究。利用橘小实蝇性诱剂对成虫进行监测;测定了菊酯类、有机磷类、烟碱类、微生物类和氨基甲酸酯类共 12 种杀虫剂对橘小实蝇的室内毒力;并开展了诱杀法田间防治橘小实蝇研究。结果显示,橘小实蝇在郑州地区一年发生 4~5 代,为害时期为 6 月—11 月。敌百虫和毒死蜱对橘小实蝇成虫毒力最高。诱杀法中性诱剂黄板和实蝇生物诱捕剂的引诱作用持效期约为 7 d。在苹果采收前后,香蕉精油和苹果精油对橘小实蝇的诱集效果最佳。在郑州地区需要在 6 月前对橘小实蝇的发生做好监测防范工作,单一使用诱杀法效果不佳,需在高峰期使用化学防治配合其他措施进行防治。

关键词 橘小实蝇; 发生规律; 毒力测定; 诱杀技术

中图分类号: S 436.66 文献标识码: A DOI: 10.16688/j.zwbh.2021618

Occurrence regularity and control technology of *Bactrocera dorsalis* in Zhengzhou

YUAN Binqiao, ZHAO Xiangjie, ZHANG Jinyong, WANG Li, HUANG Tianxiang, TU Hongtao*

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China)

Abstract This study aims to investigate the host range of *Bactrocera dorsalis* in northern deciduous fruit tree producing areas, and understand the occurrence regularity and damage degree of *B. dorsalis*. The occurrence, damage and control technology of *B. dorsalis* were studied in orchards in Zhengzhou. The occurrence regularity was monitored by using pheromone, and the indoor toxicity of 12 kinds of pyrethroids, organophosphorus, nicotine, microorganisms and carbamates against fruit fly were determined. The results showed that *B. dorsalis* occurred 4—5 generations a year in Zhengzhou, and the harm period was from June to November. Trichlorfon and chlorpyrifos had the highest toxicity to the adults of *B. dorsalis*. The attractant effect of pheromone yellow board and fruit fly biological trap lasted about seven days. Banana essential oil and apple essential oil had the best attractant effect on *B. dorsalis* around harvesting in apple orchard. It is necessary to monitor and prevent the occurrence of *B. dorsalis* before June in Zhengzhou. The single use of trapping and killing method has poor effect. Chemical control should be used in the peak period with other measures.

Key words *Bactrocera dorsalis*; occurrence regularity; virulence test; trapping and killing technology

橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 属双翅目实蝇科, 又称东方果实蝇、柑橘小实蝇等^[1]。橘小实蝇是一种为害严重的世界性蛀果类害虫, 食性复杂, 适应能力强, 其寄主包括番石榴、芒果、柑橘、石榴、枣、桃、梨、苹果、无花果、枇杷、茄子、丝瓜、辣椒等 46 科 250 多种水果和蔬菜^[2]。橘小实蝇在国外

主要分布于印度、菲律宾、泰国、美国、澳大利亚等国; 国内分布在台湾、香港、广东、云南等地, 台湾地区于 1911 年首次发现, 内地于 1937 年有记载, 随后, 该虫在国内外迅速传播与扩散^[2-4]。

此前大量研究认为橘小实蝇主要发生在长江以南地区, 1 月平均温度在 -1℃ 以下地区为不适宜发

收稿日期: 2021-11-08

修订日期: 2022-04-07

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFE0135600); 长江猕猴桃产业技术研究中心研发计划(CJZX20210109)

* 通信作者 E-mail: tuhongtao@caas.cn

生区^[5],近年来受物流业的飞速发展、全球气候变化及农业生产模式和种植结构调整、栽培模式改变等因素的影响,南虫北移现象时有发生。调查发现,橘小实蝇在一些非适生区连年发生,并已在局部地区造成严重危害^[6-7]。在生产实践中发现,橘小实蝇繁殖能力强、扩散速度快、寄主范围广、为害程度重,由于其卵产于果实内部,防治难度大,在北方落叶果树产区扩散为害趋势明显^[8-9]。近几年橘小实蝇在河南、山东、河北、北京等地为害逐年加重,为害苹果、梨、桃、枣等多种落叶果树,造成严重的经济损失^[10-12]。从当前局部发生情况分析橘小实蝇在北方落叶果树上的危害显著大于常见的桃小食心虫 *Carposina sasakii* Matsumura 或梨小食心虫 *Grapholita molesta* (Busck),橘小实蝇新发生区域缺乏自然天敌的有效抑制,未建立有效的区域性防治技术体系,对北方落叶果树产业存在很大的潜在风险。目前国内对省区间的病虫害检疫已经将橘小实蝇从检疫对象中删除,这些变化都将加大实蝇对北方地区果蔬生产安全的威胁。掌握橘小实蝇在我国北方落叶果树上的发生传播情况和为害特点,是制定整体防控策略和选择有效防控技术的前提和基础,需要根据橘小实蝇发生区域环境特点、在落叶果树上的发生规律等,探明橘小实蝇在北方落叶果树上的寄主适应性、种群发生动态、发生传播规律,找出限制扩散因素,研究有效控制技术,延缓橘小实蝇在北方落叶果树上扩散为害的态势,建立持续控制技术体系,在橘小实蝇发生区有效控制其为害,保障果品安全、高效生产。

目前对橘小实蝇的防治主要是诱杀和化学防治,诱杀法在北方防治橘小实蝇的效果尚无报道,北方种群对不同化学农药的敏感性需要进一步明确。本文报道了对橘小实蝇在郑州地区果园的发生规律、寄主范围及防控技术的研究,以期对北方橘小实蝇持续控制技术体系的建立提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

供试橘小实蝇于 2019 年 8 月采自中国农业科学院郑州果树研究所试验苹果园,采集后在室内使用人工饲料连续饲养 5 代以上。室内饲养条件为温度 $(28\pm 1)^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $(75\pm 5)\%$,光周期 $L/D=14\text{ h}/10\text{ h}$ 。

1.2 供试药剂

97%毒死蜱原药,山东绿霸化工股份有限公司;95%啶虫脒原药,内蒙古灵圣作物科技有限公司;97.2%阿维菌素原药,河北威远生物化工股份有限公司;90%联苯菊酯原药,河北赛丰生物科技有限公司;98%溴氰菊酯原药,江苏丰登作物保护股份有限公司;90%丁硫克百威原药,江苏常隆农化有限公司;97%马拉硫磷原药,江苏省农用激素工程技术研究中心有限公司;94%丙溴磷原药、97%敌百虫原药,山东潍坊润丰化工股份有限公司;90%氰戊菊酯原药,江苏耕耘化学有限公司;96%高效氯氟氰菊酯原药,江苏龙灯化学有限公司;95%高效氯氟菊酯原药,江苏皇马农化有限公司。甲基丁香酚购自金坛激素研究所,性诱剂诱杀黄板购自广州瑞丰科技有限公司,实蝇生物诱捕剂(主要成分为解淀粉芽孢杆菌的发酵产物)购自云南省微生物发酵工程研究中心。

1.3 试验方法

1.3.1 橘小实蝇发生规律和为害情况

人工调查橘小实蝇在不同寄主果园的为害情况,在橘小实蝇发生时期利用性诱剂对橘小实蝇成虫在郑州地区发生规律进行监测,在果园均匀悬挂实蝇专用诱捕器进行诱捕,每周统计引诱成虫数量。于 8 月份果实成熟期调查果园虫果数量,包括二七区侯砦镇高垌村‘皇冠’梨园和马寨镇孔河村‘红星’苹果园和荥阳市广武镇‘黄金蜜 3 号’桃园,每个果园一次取 200 个果实调查,重复 4 次。

1.3.2 杀虫剂对橘小实蝇的室内毒力测定

选用 12 种杀虫剂测定其对橘小实蝇成虫的毒力。采用药膜法^[13]对羽化 3 d 后的成虫进行测定。首先将原药用丙酮分别配制成药剂含量为 1%的母液,然后用丙酮稀释为系列浓度的药液,分别吸取系列浓度的药液 500 μL 加入 2 cm $\times$ 10 cm 的玻璃管中,将玻璃管横放并滚动至药液均匀覆盖玻璃管内壁,待丙酮挥发后,取健康橘小实蝇成虫 30 头进行处理,雌雄虫分别处理,处理后置于温度 $(28\pm 1)^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $(75\pm 5)\%$,光周期 $L/D=14\text{ h}/10\text{ h}$ 的人工气候箱,每个浓度重复 3 次,丙酮处理作为空白对照,48 h 后观察结果。

室内毒力试验结果采用 DPS 12.0 进行毒力回归方程拟合,死亡率和校正死亡率根据 Abbott 氏公式计算,计算出毒力回归方程式、 LD_{50} (mg/cm^2) 等。

1.3.3 诱杀法防治橘小实蝇

在苹果园橘小实蝇成虫发生高峰期分别采用橘小实蝇性诱剂黄板和实蝇生物诱捕剂进行诱杀防治,果园面积约 5.33 hm²,品种为‘华硕’‘华瑞’等中早熟品种,平均分为 3 个地块处理:1)性诱剂黄板每 667 m² 悬挂 10 张,另悬挂 2 个装有甲基丁香酚的性诱剂诱捕器监测橘小实蝇发生量;2)参照说明书将引诱橘小实蝇的实蝇生物诱捕剂倒入两边打有直径 2 cm 孔的矿泉水瓶中制作成诱杀器,每 667 m² 悬挂 10 个,另悬挂 2 个性诱剂诱捕器监测橘小实蝇发生量;3)仅悬挂 2 个性诱剂诱捕器用于监测成虫发生数量(对照)。以上处理均悬挂于树体 2/3 高度背阴面。每 3 d 调查诱捕量,分别在 5、10、15 d 后调查防治效果。采用五点取样法调查,一次取 200 个果实调查,重复 4 次。采用 SPSS 20.0 软件统计分析。计算公式参照桃小食心虫田间药效试验农业行业标准^[14]。

新增虫果率=(药后的蛀果数量-药前的蛀果数量)/调查总果数×100%;

防治效果=(对照区新增虫果率-处理区新增虫果率)/对照区新增虫果率×100%。

1.3.4 水果精油诱集橘小实蝇

采用水蒸气蒸馏法从苹果、梨、桃、菠萝、荔枝、芒果、橙、杨梅、柠檬、香蕉等多种水果中提取精油。取新鲜水果洗净切碎,称取 500 g 进行水蒸气蒸馏,馏速保持在 60~70 滴/min,蒸馏 2 h。蒸馏液用 100 mL 重蒸二氯甲烷分 4 次进行萃取。萃取液用

无水硫酸钠干燥静置 30 min,转入旋转蒸发器的茄型瓶中进行浓缩,水浴锅温度设置为 45℃,浓缩至体积约 5 mL 左右,溶剂自然挥发后用重蒸二氯甲烷稀释定容至浓度为 100 g/mL(即每 mL 浓缩液相当于 100 g 植物材料)。将 1 mL 提取液均匀滴于直径 3 cm 的定性滤纸上,待溶剂挥发后放入实蝇诱捕器中,均悬挂于树体 2/3 高度背阴面,每 3 d 调查诱捕量,每处理重复 3 次。

2 结果与分析

2.1 橘小实蝇发生规律和为害情况

对郑州市的橘小实蝇果园受害情况进行调查,发现橘小实蝇寄主范围包括苹果、梨、桃、柿子、猕猴桃、石榴、枣、核桃等,其中橘小实蝇为害较重的水果主要是一些晚熟品种,包括桃、梨、柿子、枣及软枣猕猴桃等。6 月中旬始见为害果,7 月中下旬进入为害高峰期,由图 1 可以看出,2020 年监测果园 5 月 31 日诱到橘小实蝇成虫,直到 6 月底一直保持较低的发生量,7 月份开始发生数量急剧上升,7 月下旬成熟的桃蛀果率超过 50%。8 月份对郑州市中原区和二七区有橘小实蝇为害的果园进行调查,二七区马寨镇苹果园虫果率为 91.28%,侯砦镇高垌村梨园的虫果率为 98.69%,荥阳市广武镇桃园虫果率为 97.43%,调查果实发现橘小实蝇为害率均超过 90%。进入 10 月份后果实大量采收,发生虫量迅速下降,成虫发生期至 11 月中旬结束,在郑州地区橘小实蝇 1 年可发生 4~5 代,世代重叠现象严重。

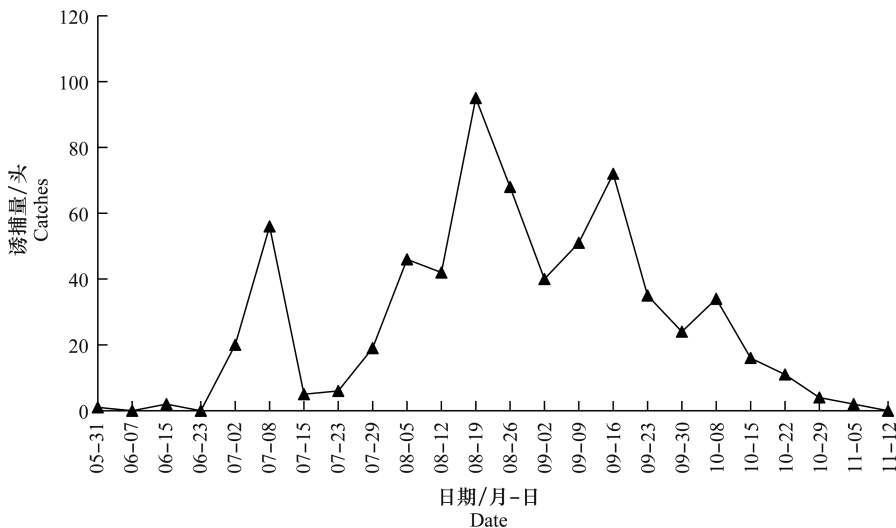


图 1 2020 年桃园橘小实蝇发生动态调查(性诱剂诱捕法)

Fig. 1 Dynamic of *Bactrocera dorsalis* in peach orchard in 2020 (pheromone trapping method)

2.2 杀虫剂对橘小实蝇的室内毒力

选取 12 种常见杀虫剂分别对橘小实蝇成虫进行室内毒力测定,结果(表 1)表明,不同杀虫剂对橘小实蝇成虫的杀虫活性差异较大。在 12 种供试杀虫剂中,敌百虫的活性最高,对橘小实蝇成虫的 LD₅₀ 为 0.018 mg/cm²,啉虫脒的活性最低,LD₅₀ 为

4.391 mg/cm²。在菊酯类杀虫剂中,以高效氯氟氰菊酯的活性最高,LD₅₀ 为 0.043 mg/cm²,高效氯氰菊酯的活性最低 LD₅₀ 为 0.107 mg/cm²;在有机磷类杀虫剂中,以毒死蜱的活性最高,对橘小实蝇成虫的 LD₅₀ 为 0.029 mg/cm²,马拉硫磷对橘小实蝇成虫的活性最低,LD₅₀ 为 0.191 mg/cm²。

表 1 12 种杀虫剂对橘小实蝇成虫的毒力
Table 1 Toxicity of 12 insecticides to adults of *Bactrocera dorsalis*

药剂 Insecticide	斜率±标准误 b±SE	致死中量/mg·cm ⁻² LD ₅₀	χ ²	df	P
毒死蜱 chlorpyrifos	3.511±0.444	0.029	1.408	3	0.704
啉虫脒 acetamiprid	2.139±0.515	4.391	0.187	2	0.911
阿维菌素 abamectin	1.530±0.212	0.158	2.204	3	0.531
联苯菊酯 bifenthrin	1.409±0.178	0.085	1.359	3	0.715
溴氰菊酯 deltamethrin	1.221±0.160	0.071	3.453	3	0.327
丁硫克百威 carbosulfan	0.889±0.159	0.196	0.125	3	0.989
马拉硫磷 malathion	2.240±0.193	0.191	4.818	4	0.307
丙溴磷 profenofos	1.159±0.174	0.169	1.392	3	0.707
敌百虫 trichlorfon	1.378±0.121	0.018	5.850	5	0.321
氰戊菊酯 fenvalerate	1.459±0.267	0.077	0.977	3	0.807
高效氯氟氰菊酯 beta-cypermethrin	0.993±0.172	0.107	1.544	3	0.672
高效氯氟氰菊酯 lambda-cyhalothrin	1.319±0.188	0.043	4.793	3	0.188

2.3 诱杀法防治橘小实蝇效果评价

由图 2 可以看到,处理 3 d 后,性诱剂黄板的诱捕量最大,平均每张诱捕到 15 头橘小实蝇,实蝇生物诱捕剂诱捕到 12 头;处理 6 d 后,诱捕数量增加,其中实蝇生物诱捕剂的诱捕量最大,为 17 头,性诱剂黄板为 13 头;处理 9 d 后,性诱剂黄板与实蝇生物诱捕剂处理的诱捕量均显著减少($t=5.965, P<0.01$),而各处理中悬挂的性诱剂诱捕器诱捕量显著

增加,说明果园里橘小实蝇发生量是在不断增加的,但 9 d 后性诱剂黄板和实蝇生物诱捕剂的诱捕效果均显著降低。

对两种诱杀法防治苹果园橘小实蝇的蛀果率和防治效果调查显示(表 2),在处理 5 d 后,悬挂性诱剂黄板和实蝇生物诱捕剂的处理区仅发现极少量蛀果,蛀果率低于 1%,防效较好;处理 10 d 后,蛀果量明显增加,对照区蛀果量呈线性增长趋势,各处理防

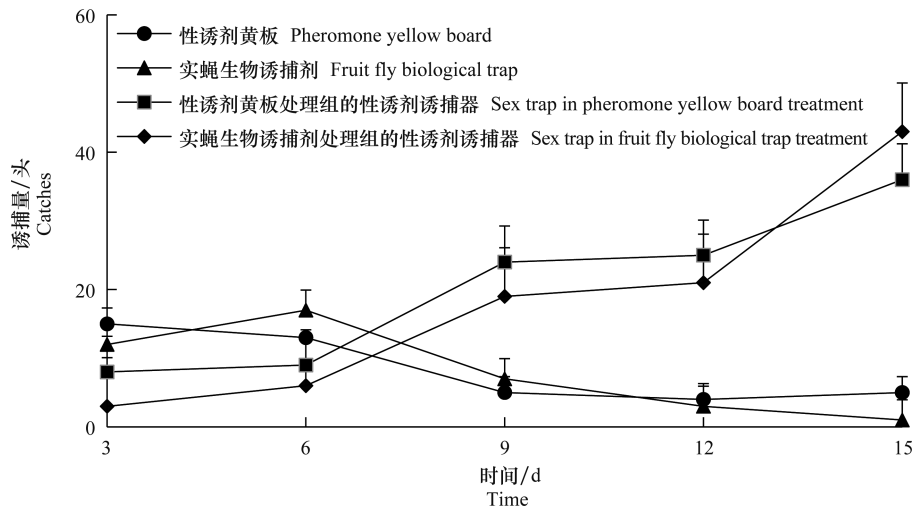


图 2 不同诱杀方法对橘小实蝇的诱捕量
Fig. 2 Trapping amount of *Bactrocera dorsalis* by different trapping and killing methods

效呈下降趋势,处理 15 d 后,蛀果率开始大幅度增加,防效显著降低。整体蛀果率随时间增加呈上升趋势,与蛀果量变化呈一致结果,同样也反映了防治效果的下降。

表 2 不同诱杀方法处理苹果园中橘小实蝇的蛀果率和防效¹⁾

Table 2 Fruit decay rate and control effect of *Bactrocera dorsalis* in apple orchard under different trapping and killing methods

处理 Treatment	调查果数/个 Number of surveyed fruit	药后 5 d 5 DAT		药后 10 d 10 DAT		药后 15 d 15 DAT	
		新虫果率/% Rate of new infected fruit	防效/% Control efficacy	新虫果率/% Rate of new infected fruit	防效/% Control efficacy	新虫果率/% Rate of new infected fruit	防效/% Control efficacy
性诱剂黄板 Pheromone yellow board	200	(0.25±0.25)b	(81.25±20.73)a	(3.38±1.08)b	(64.06±13.53)a	(10.25±2.61)b	(41.75±12.97)a
实蝇生物诱捕剂 Fruit fly biological trap	200	(0.5±0.35)b	(68.75±20.73)a	(3.38±0.82)b	(65.75±4.86)a	(11.88±1.24)b	(31.7±9.20)a
对照 CK	200	(1.5±0.5)a	—	(9.75±1.68)a	—	(17.63±2.36)a	—

1) 表中数据为平均值±标准差;数据后小写字母表示经 Duncan 氏法检验差异显著($P<0.05$)。DAT:药后处理天数。
Data are mean±SD, and those followed by small letters are significantly different ($P<0.05$) by Duncan's test. DAT: Day after treatment.

2.4 水果精油诱集橘小实蝇效果研究

提取了香蕉、橘子、柠檬、苹果、梨、橙、桃、荔枝、菠萝、杨梅 10 种水果精油作为引诱剂观察,结果如表 3 所示。在苹果果实采收前香蕉精油对橘小实蝇的诱集效果最好,显著高于其他水果精油的诱捕量,而果实采收结束后,苹果精油的诱集效果较好,显著

高于其他水果精油的诱捕量,这可能与橘小实蝇苹果种群的适应性有关,具体行为生态学需要进一步研究。同时对不同水果精油引诱的雌雄虫对比统计,采用独立样本 t 测验分析显示,所有精油对橘小实蝇雌雄虫引诱量差异不显著,显示出水果精油对橘小实蝇雌虫也有较好的引诱效果。

表 3 不同水果精油对橘小实蝇的引诱作用

Table 3 Attractiveness of different fruit essential oils to *Bactrocera dorsalis*

精油类型 Essential oil type		每点诱虫量/头·d ⁻¹ Insect trapping amount persito	
		苹果采收前 Before apple harvest	苹果采收后 After apple harvest
菠萝精油	Pineapple essential oil	(6.67±1.70)bc	(83.67±37.85)bc
梨精油	Pear essential oil	(2.67±1.25)cde	(92.67±30.09)b
苹果精油	Apple essential oil	(6.33±2.36)bc	(167.67±26.08)a
杨梅精油	<i>Myrica rubra</i> essential oil	(8.33±3.30)b	(52.67±22.05)bcd
鲜橙精油	Orange essential oil	(5.67±2.49)bcd	(19.00±9.63)d
柠檬精油	Lemon essential oil	(1.00±0.82)e	(9.33±7.72)d
橘子精油	Tangerine essential oil	(1.33±1.25)de	(8.00±3.27)d
桃精油	Peach essential oil	(0.67±0.94)e	(51.00±48.91)bcd
荔枝精油	Litchi essential oil	(6.33±2.62)bc	(10.33±3.77)d
香蕉精油	Banana essential oil	(26.67±11.44)a	(31.67±22.29)cd

3 结论与讨论

橘小实蝇寄主范围较广,调查显示涵盖了多数北方落叶果树种类,在郑州地区发生时期为 6 月—11 月,一般可发生 4~5 代。橘小实蝇主要以幼虫为害果实,实验室观察发现在 26℃ 条件下,成虫羽化后产卵前期长达 10 d 以上,雌成虫将卵产在新鲜果实的表皮下,通过喷洒农药很难对果实中的卵和

幼虫起到防治作用,且产卵同时造成机械损伤,为其他病菌的入侵提供了有利条件,抓住成虫产卵前期进行成虫防治,可有效控制橘小实蝇的危害。橘小实蝇卵孵化后在受害果实内生长发育至老熟幼虫,随后入土化蛹,基本不转果为害,所以防治橘小实蝇的另一个关键时期是老熟幼虫脱果化蛹期。

郑州地区橘小实蝇作为新发生害虫,其种群来源尚未明确,对其成虫进行室内毒力测定,对郑州本

地防治工作是有参考意义的,目前对橘小实蝇室内毒力研究较多,但方法不统一,结果差异较大。张倩楠等^[15]测定了多种杀虫剂对橘小实蝇幼虫的毒力,结果显示噻虫胺、噻虫嗪等新烟碱类的农药活性较强,但实际应用中幼虫在果实内,难以防治,对幼虫的毒力测定结果参考意义较小。何凤梅等^[16]测定了多种杀虫剂对橘小实蝇成虫的毒力,结果显示毒死蜱、甲维盐、辛硫磷、马拉硫磷等药剂的活性较高,且不同地区橘小实蝇种群对不同药剂的抗性有显著差异。本研究采用药膜法分别测定了 12 种常用杀虫剂对郑州地区橘小实蝇种群雌雄成虫的毒力,试验结果表明,以敌百虫和毒死蜱的活性最高,与何凤梅等^[16]的结果相符,啉虫脒的活性最低,菊酯类杀虫剂中以高效氯氟氰菊酯的活性最高。本研究可为郑州地区橘小实蝇化学防治提供参考。而同种药剂对橘小实蝇雌雄成虫间有显著差异或许与雌、雄成虫间的解毒能力有关系,具体原因还需进一步研究。

目前在我国南方果园中广泛使用诱杀法防治橘小实蝇,蒋素容等^[17]、李国平等^[18]采用黄板和甲基丁香酚、“稳粘”诱粘剂等诱杀法防治橘小实蝇取得了良好的防效。因此,本研究选择了在南方地区防治橘小实蝇广泛使用的性诱剂黄板和实蝇生物诱捕剂两种诱杀方法进行防治研究,处理 7 d 内性诱剂黄板和实蝇生物诱捕剂诱杀均取得了良好的诱捕效果和防治效果,而在 7 d 后诱捕量显著下降,持效期只有 7 d 左右,分析其主要原因可能为性诱剂挥发较快,也可能与郑州地区的温度湿度等气候因素有关,郑州 7、8 月份温度高达 40℃ 左右且湿度低,7 d 后黄板上性诱剂几乎完全挥发,因此持效期短。实蝇生物诱捕剂或许是因为在高温环境下很快挥发干燥,后期无法持续诱集,两种方法若想持续获得较好的防治效果,需每周更换性诱剂黄板或添加实蝇生物诱捕剂,但防治成本会大大增加,因此在北方落叶果树产区防治橘小实蝇还需进一步研究防治方法。汪未根等^[19]在浙江桃园采用橘小实蝇膏状饵剂或 3F 实蝇饵剂袋取得了 80% 以上的防治效果,张艳等^[20]采用甲基丁香酚加蛋白饵剂诱杀、郑思宁等^[21]采用寄生蜂和不育雄虫防治橘小实蝇取得了良好的防治效果,但这些方法在北方地区的生态环境下是否适用还需要进一步研究。于文惠^[22]研究发现,经过某一寄主水果培养经历的橘小实蝇在该水果寄主上的产卵量明显高于其他寄主水果。本研究结果显

示,在苹果园中苹果采收前香蕉精油诱集效果最好,可能表明其对香蕉具有明显趋向性;而采收后苹果精油的诱集效果好,这可能与橘小实蝇种群对苹果的适应性及学习性有关,具体行为生态学还需要进一步研究,试验筛选出对雌虫诱捕效果较好的水果精油为下一步研发食物诱剂奠定基础。

参考文献

- [1] 张彬,刘映红,赵岚岚,等. 桔小实蝇研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 391-397.
- [2] 李燕,蒋巧根,朱江涛,等. 桔小实蝇在果蔬上的发生规律及其防治方法[J]. 上海农业科技, 2018(1): 104-105.
- [3] WAN Xuanwu, LIU Yinghong, ZHANG Bin. Invasion history of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, in the Pacific-Asia region: two main invasion routes [J/OL]. PLoS ONE, 2012, 7(5): e36176. DOI: 10.1371/journal.pone.0036176.
- [4] 梁光红,陈家骅,杨建全,等. 桔小实蝇国内研究概况[J]. 华东昆虫学报, 2003, 12(2): 90-98.
- [5] 吴宇芬. 橘小实蝇的地理分布模型[J]. 福建农业大学学报, 2005, 34(2): 168-171.
- [6] 詹开瑞,赵士熙,朱水芳,等. 桔小实蝇在中国的适生性研究[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(4): 21-25.
- [7] 尹英超,王勤英. 警惕北方果园新害虫——桔小实蝇[J]. 河北农业, 2014(11): 48-49.
- [8] ZENG Yiyang, REDDY G V P, LI Zhihong, et al. Global distribution and invasion pattern of oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) [J]. Journal of Applied Entomology, 2019: 143:165-176.
- [9] 宋来庆,刘美英,赵玲玲,等. 桔小实蝇在烟台果树产区的监测与防控[J]. 烟台果树, 2019(2): 36-37.
- [10] 孙瑞红,官庆涛,叶宝华,等. 警惕柑桔小实蝇入侵危害山东果树[J]. 落叶果树, 2017, 49(6): 38-39.
- [11] 李建瑛,刘锦,迟宝杰,等. 不同树种果园桔小实蝇种群动态及六种杀虫剂对其室内毒力测定[J]. 山东农业科学, 2020, 52(8): 120-123.
- [12] 郭晓军,徐庆宣,王甦,等. 桃园橘小实蝇种群结构与发生危害调查[J]. 果树学报, 2021, 38(6): 967-974.
- [13] 王立,王芹芹,芮昌辉,等. 14 种杀虫剂对芹菜蚜的毒力及协同增效研究[J]. 农药科学与管理, 2021, 42(2): 32-37.
- [14] 中华人民共和国农业部. 田间药效试验准则(二): 第 65 部分 杀虫剂防治苹果桃小食心虫: GB/T 17980.65-2004[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [15] 张倩楠,余银芳,喻欢,等. 不同杀虫剂对橘小实蝇幼虫的毒力及混配联合作用[J]. 中国植保导刊, 2021, 41(3): 72-75.
- [16] 何凤梅,安长成,张永魁,等. 多种药剂对橘小实蝇成虫的毒力测定及田间抗性监测[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 270-275.

- agement for the Asian corn borer in China [J/OL]. PLoS ONE, 2016, 11 (12): e0168442. DOI: 0168410.0161371/journal.pone.0168442.
- [20] RASCO JR E T, MANGUBAT J R, BURGONIO A B, et al. Efficacy of insect protected maize (Bt11) against Asiatic corn borer (*Ostrinia furnacalis* Guenée) [J]. Philippine Journal of Crop Science, 2008, 33(3): 82–89.
- [21] 张丹丹, 吴孔明. 国产 Bt-Cry1Ab 和 Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa) 玉米对草地贪夜蛾的抗性测定[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 54–60.
- [22] 宋彦英, 周大荣, 何康来. 亚洲玉米螟无琼脂半人工饲料的研究与应用[J]. 植物保护学报, 1999, 26(4): 324–328.
- [23] FINNEY D J. Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1952.
- [24] SAYYED A H, GATSI R, IBIZA-PALACIOS M S, et al. Common, but complex, mode of resistance of *Plutella xylostella* to *Bacillus thuringiensis* toxins Cry1Ab and Cry1Ac [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2005, 71(11): 6863–6869.
- [25] CRESPO A L, SPENCER T A, TAN S Y, et al. Fitness costs of Cry1Ab resistance in a field-derived strain of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2010, 103(4): 1386–1393.
- [26] XIA Yaomin, LU Yanhui, SHEN Jun, et al. Resistance monitoring for eight insecticides in *Plutella xylostella* in central China [J]. Crop Protection, 2014, 63: 131–137.
- [27] SIGNORINI A M, ABRATTI G, GRIMI D, et al. Management of field-evolved resistance to Bt maize in Argentina: a multi-institutional approach [J/OL]. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 2018, 6. DOI: 10.3389/fbioe.2018.00067.
- [28] TRIGO E J, CAPE E J. Ten years of genetically modified crops in Argentine agriculture [R]. ArgenBio Report, 2006: 1–52.
- [29] PICKETT B R, GULZAR A, FERRÉ J, et al. *Bacillus thuringiensis* Vip3Aa toxin resistance in *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) [J/OL]. Applied and Environmental Microbiology, 2017, 83(9): e03506–e03516. DOI: 03510.01128/AEM.03506-03516.
- [30] YANG Jing, QUAN Yudong, SIVAPRASATH P, et al. Insecticidal activity and synergistic combinations of ten different Bt toxins against *Mythimna separata* (Walker) [J/OL]. Toxins, 2018, 10(11): 454. DOI: 410.3390/toxins10110454.
- [31] 李国平, 姬婷婕, 孙小旭, 等. 入侵云南草地贪夜蛾种群对 5 种常用 Bt 蛋白的敏感性评价[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 15–20.
- [32] GOMIS-CEBOLLA J, WANG Yueqin, QUAN Yudong, et al. Analysis of cross-resistance to Vip3 proteins in eight insect colonies, from four insect species, selected for resistance to *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2018, 155: 64–70.
- [33] CARRIÈRE Y, CRICKMORE N, TABASHNIK B E. Optimizing pyramided transgenic Bt crops for sustainable pest management [J]. Nature Biotechnology, 2015, 33(2): 161–168.
- [34] BERGAMASCO V, MENDES D, FERNANDES O, et al. *Bacillus thuringiensis* Cry1Ia10 and Vip3Aa protein interactions and their toxicity in *Spodoptera* spp. (Lepidoptera) [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2013, 112(2): 152–158.
- [35] WANG Zeyu, FANG Longfa, ZHOU Zishan, et al. Specific binding between *Bacillus thuringiensis* Cry9Aa and Vip3Aa toxins synergizes their toxicity against Asiatic rice borer (*Chilo suppressalis*) [J]. Journal of Biological Chemistry, 2018, 293(29): 11447–11458.
- [36] FIGUEIREDO C S, LEMES A N, SEBASTIÃO I, et al. Synergism of the *Bacillus thuringiensis* Cry1, Cry2, and Vip3 proteins in *Spodoptera frugiperda* control [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2019, 188(3): 798–809.
- [37] LEMES A R N, DAVOLOS C C, LEGORI P C B C, et al. Synergism and antagonism between *Bacillus thuringiensis* Vip3A and Cry1 proteins in *Heliothis virescens*, *Diatraea saccharalis* and *Spodoptera frugiperda* [J/OL]. PLoS ONE, 2014, 9(10): e107196. DOI: 107110.101371/journal.pone.0107196.
- [38] WIRTH M C, DELÉCLUSE A, WALTON W E. Cyt1Ab1 and Cyt2Ba1 from *Bacillus thuringiensis* subsp. *medellin* and *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* synergize *Bacillus sphaericus* against *Aedes aegypti* and resistant *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2001, 67(7): 3280–3284.

(责任编辑: 田 喆)

(上接 309 页)

- [17] 蒋素容, 刘琦, 王巧, 等. 几种防治措施对橘小实蝇防效的研究[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(10): 2006–2009.
- [18] 李国平, 边全乐, 何衍彪, 等. 三华李橘小实蝇诱杀试验初报[J]. 植物保护, 2011, 37(4): 170–172.
- [19] 汪末根, 古成彬, 刘灵敏, 等. 桃园橘小实蝇不同防治方法效果评价[J]. 浙江农业科学, 2021, 62(3): 567–569.
- [20] 张艳, 林明光, 汪兴鉴, 等. 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[J]. 中国南方果树, 2013, 42(3): 72–74.
- [21] 郑思宁, 黄居昌, 叶光禄, 等. 应用寄生蜂和不育雄虫防控田间橘小实蝇[J]. 生态学报, 2013, 33(6): 1784–1790.
- [22] 于文惠. 桔小实蝇对几种寄主果实的选择和嗅觉学习行为[D]. 重庆: 西南大学, 2013.

(责任编辑: 田 喆)