



陈吉祥, 于伟丽, 苏磊, 白倩, 魏成彩, 陈乐乐, 王广友, 吴培. 6种复配杀虫剂对七星瓢虫的毒力测定及风险评估[J]. 环境昆虫学报, 2021, 43 (5): 1265–1272.

6种复配杀虫剂对七星瓢虫的毒力测定及风险评估

陈吉祥, 于伟丽, 苏磊, 白倩, 魏成彩, 陈乐乐, 王广友, 吴培*

(山东省农药科学研究院/山东省化学农药重点实验室, 济南 250000)

摘要: 采用药膜法分别测定了10%甲维盐·茚虫威悬浮剂、12%甲维盐·虫螨腈悬浮剂、12%虫螨腈·虱螨脲悬浮剂、14%呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂、22%吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂和6%吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂6种复配杀虫剂对七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus 幼虫急性毒性, 并进行了初级风险评估。结果显示, 6种药剂对七星瓢虫48 h的 LR_{50} (半致死用量, Median lethal rate) 分别为0.812、2.255、4.082、22.735、6.755和0.00467 g a.i./hm²。在农田内暴露场景下, 6种复配杀虫剂对七星瓢虫风险均不可接受; 在农田外暴露场景下, 仅有14%呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂和22%吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂对七星瓢虫风险可接受, 其它均不可接受。结果表明在田间最大推荐用量下, 6种药剂对七星瓢虫的初级风险评价均存在高风险。

关键词: 复配杀虫剂; 七星瓢虫; 毒力; 风险评估

中图分类号: Q965.9; S476

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2021) 05-1265-08

Toxicity and risk assessment of six compound insecticides to *Coccinella septempunctata*

CHEN Ji-Xiang, YU Wei-Li, SU Lei, BAI Qian, WEI Cheng-Cai, CHEN Le-Le, WANG Guang-You, WU Pei* (Shandong Academy of Pesticide Sciences, Key Laboratory of Chemical Pesticide of Shandong Province, Jinan 250000, China)

Abstract: The acute toxicity of six compound insecticides to the 2nd instar larvae of *Coccinella septempunctata* was tested by the method of drug film in the laboratory. And the primary risk of six compound insecticides in and out of farmland was assessed respectively. The results showed that the median lethal rate (LR_{50}) of 10% Emamectin benzoate · Indoxacarb SC, 12% Emamectin benzoate · Chlorfenapyr SC, 12% Chlorfenapyr · Lufenuron SC, 14% Dinotefuran · Spirotetramat SC, 22% Imidacloprid · Spirotetramat SC and 6% Imidacloprid · Lambda-Cyhalothrin SC were 0.812, 2.255, 4.082, 22.735, 6.755 and 0.00467 g a.i./hm² at 48 h, respectively. The primary risk assessment results showed that the risk of six compound insecticides in farmland was unacceptable; the risk of 14% Dinotefuran · Spirotetramat SC and 22% Imidacloprid · Spirotetramat SC outside farmland was acceptable, and others was unacceptable. The results indicated that the six compound insecticides had a high risk for the primary risk assessment of *C. septempunctata* in the maximum recommended dosage of the farmland.

Key words: Compound insecticide; *Coccinella septempunctata*; toxicity; risk assessment

基金项目: 山东省农业科学院农业科技创新工程 (CXGC2021A17)

作者简介: 陈吉祥, 男, 山东日照人, 硕士, 助理工程师, 研究方向农药生物活性测定和环境毒理研究, E-mail: chenjx1023@126.com

* 通讯作者 Author for correspondence: 吴培, 女, 山东济南人, 研究员, 研究方向农药分析检测与管理, E-mail: 2435724260@qq.com

收稿日期 Received: 2020-06-09; 接受日期 Accepted: 2020-08-04

七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Linnaeus 作为重要的捕食性天敌昆虫,被广泛用于害虫的生物防治 (Skouras *et al.*, 2019), 其具有食谱范围广、生存能力强、繁殖速度快和种群易于扩张等特点,成虫和幼虫均能持续控制蔬菜、果树、作物上的蚜虫、粉虱、蓟马、介壳虫等害虫 (Ashraf *et al.*, 2010; 郭志芯等, 2017; 周宇航等, 2019)。化学农药在农业害虫防治中使害虫得到有效控制的同时,也对环境中非靶标天敌昆虫带来一些负效应。研究发现化学农药可以严重影响七星瓢虫的存活、捕食、搜索、孵化等行为 (Skouras *et al.*, 2019)。我国把七星瓢虫作为重要的捕食性天敌代表物种,在农药登记与环境安全性评价中,农药对七星瓢虫毒性和风险评估是考核的重要指标之一。

农药施用到作物上后,农田内的非靶标生物通过作物表面等累积残留和直接接触而暴露于农药,也可导致农田外的非靶标生物因农药的挥发、飘移等而暴露于农药 (Ahmad *et al.*, 2011)。因此,在害虫综合防控时,应该使用一些对天敌昆虫毒性小的杀虫剂。复配杀虫剂不仅扩大杀虫谱,降低用药量,延缓昆虫的抗药性,而且可以影响农药对环境生物的安全性 (徐华强等, 2014; 赵怡楠等, 2014; 董文阳等, 2019), 如阿维菌素·噻虫嗪、阿维菌素·吡虫啉和阿维菌素·虫螨腈 3 种药剂对玉米螟赤眼蜂的毒性都较阿维菌素单剂的毒性升高,而阿维菌素·吡蚜酮和阿维菌素·哒螨灵对玉米螟赤眼蜂的毒性则降低 (徐华强等, 2014)。

当农药使用不能排除非靶标节肢动物受农药暴露影响时,应进行风险评估。农药对非靶标节肢动物的初级暴露分析分为农田内暴露场景和农田外暴露场景。农田内的物种丰富度较低,主要评估保护非靶标节肢动物种群的功能 (如捕食和寄生等); 农田外物种丰富度较高,主要评估保护非靶标节肢动物的群落多样性 (姜辉等, 2018)。本研究通过药膜法测定了 6 种复配杀虫剂对七星瓢虫毒性,并对风险性做出初步评价,旨在为复配杀虫剂的研发和害虫的可持续防控提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

七星瓢虫饲养于山东省农药科学研究院测试中心实验室气候箱内。饲养条件: 温度 $25^{\circ}\text{C} \pm$

1°C , 相对湿度 $70\% \pm 5\%$, 光周期 16 L:8 D, 每天更换携有充足蚜虫的豆苗。试验选择大小基本一致、活力强的七星瓢虫 2 龄幼虫进行生物测定。

1.2 供试药剂

6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂、22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂、10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂、12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂、12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂、14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂均由山东省农药科学研究院测试中心提供。

1.3 急性毒力试验方法

参照《化学农药天敌 (瓢虫) 急性接触毒性试验准则》,采用指形管药膜法对七星瓢虫进行急性毒力的测定 (中华人民共和国农业部, 2017)。将供试药剂用纯水稀释至一定浓度的储存液; 在预试验基础上,按一定的级差 (级差为 2.2 以内), 分别用纯水将储存液稀释至相应的 5 个质量浓度梯度, 所设梯度如表 1。选择内表面积为 38.5 cm^2 (直径 1.5 cm, 高 7.8 cm) 的指形管, 定量加入 0.5 mL 配置好的供试药液, 滚膜机上滚动至晾干制成均匀药膜管, 然后选取大小一致的七星瓢虫 2 龄幼虫接入药膜管中, 1 头/管, 并以纱布封紧管口, 每天清理管内残物, 并添加充足的豆蚜, 直至羽化。以纯水处理作为对照, 每个处理 10 头, 重复 3 次。观察并记录七星瓢虫每天的死亡数。对照组死亡率不能超过 20%, 根据校正死亡率计算毒力回归方程和 LR_{50} 。 $r = N_D/N \times 100\%$, 式中 r 为死亡率, N_D 为死亡虫数, N 为接虫总数。 $r_A = (r_T - r_{CK}) / (1 - r_{CK}) \times 100\%$, 式中 r_A 为校正死亡率, r_T 为处理组死亡率, r_{CK} 为对照组死亡率 (袁锐等, 2018)。

1.4 数据处理

采用 SPSS Statistics 22.0 对数据分析。根据剂量对数值和校正死亡率进行分析 (Probit analysis), 计算 48 h 和成虫前 (18 d) 毒力回归方程和 LR_{50} 。

1.5 风险评估

七星瓢虫在农田内的暴露途径是直接接触残留药物, 与化学药剂的施药剂量、施药次数、施药间隔相关; 农田外暴露主要是通过农药的挥发、施药时气候条件 (温度、风力等)、飘移等使其受到影响, 进而影响物种的多样性。由于农田外的物种丰富度较高, 所以在评估中引入了不确定因子, 《农药登记环境风险评估指南第 7 部分: 非靶标节肢动物》规定该不确定因子 (UF) 为 5 (姜辉等, 2018)。

表 1 6 种复配杀虫剂对七星瓢虫的急性毒力测试浓度梯度 (g a. i /hm²)

Table 1 Application concentrations of six compound insecticides test on <i>Coccinella septempunctata</i> in laboratory condition						
组别 Group	10% 甲维盐· 茚虫威悬浮剂 10% Eamectin benzoate· Indoxacarb SC	12% 甲维盐· 虫螨腈悬浮剂 12% Eamectin benzoate· Chlorfenapyr SC	12% 虫螨腈· 虱螨脲悬浮剂 12% Chlorfenapyr· Lufenuron SC	14% 呋虫胺· 螺虫乙酯悬浮剂 14% Dinotefuran· Spirotetramat SC	22% 吡虫啉· 螺虫乙酯悬浮剂 22% Imidacloprid· Spirotetramat SC	6% 吡虫啉· 高效 氯氟氰菊酯悬浮剂 6% Imidacloprid· Lambda- Cyhalothrin SC
1	0.10	0.33	0.96	3.25	1.41	0.0010
2	0.20	0.65	1.63	6.50	2.81	0.0018
3	0.40	1.30	2.77	13.00	5.63	0.0032
4	0.80	2.60	4.71	26.00	11.30	0.0058
5	1.60	5.20	8.00	52.00	22.50	0.0105

1.5.1 农田内暴露场景

(1) 农田内预测暴露量 (PER_{in}) 计算公式如下:

$$PER_{in} = AR \times MAF$$

式中: PER_{in} : 农田内预测暴露量, 单位为 g a. i. /hm²; AR : 推荐的农药有效成分单位面积最高施药量, 单位为 g a. i. /hm²; MAF : 多次施药因子。

(2) MAF 按下式进行计算:

$$MAF = \frac{1 - e - n \times k \times i}{1 - e - k \times i}$$

式中: k : 农药在植株表面的降解速率常数;
 n : 施药次数; i : 施药间隔, 单位为 d。

(3) k 值按以下公式计算:

$$k = \frac{\ln 2}{DT_{50}}$$

式中: DT_{50} : 农药在植株表面的降解半衰期, 单位为 d。当缺少实测数据时, 采用默认值 10 d。本次评估采用默认值。

1.5.2 农田外暴露场景

农田外暴露场景计算公式如下:

$$PER_{off} = \frac{AR \times MAF \times PDF}{VDF}$$

式中: PER_{off} : 农田外预测暴露量, 单位为 g a. i. /hm²; PDF : 农药飘移因子, 见《农药登记环境风险评估指南 第 7 部分: 非靶标节肢动物》附表 B.1 – B.8 中距离耕地作物边界 1 m 或果园边界 3 m 距离确定, 见表 4; VDF : 农药植被分布因子, 当缺少实测数据时, 采用默认值 5。

1.6 效应分析

采用计算危害商值 (HQ) 的方法进行 6 种复

配杀虫剂在不同场景 (农田内、农田外) 下对七星瓢虫的 HQ 。根据《农药登记 环境风险评估指南 第 7 部分: 非靶标节肢动物》规定, 若 $HQ \leq 5$, 则风险可接受, 若 $HQ > 5$, 则风险不可接受 (姜辉等, 2018)。计算公式如下:

(1) 农田内场景危害商值 (HQ_{in}):

$$HQ_{in} = \frac{PER_{in}}{LR_{50}}$$

(2) 农田外场景危害商值 (HQ_{off}):

$$HQ_{off} = \frac{PER_{off} \times UF}{LR_{50}}$$

2 结果与分析

2.1 急性毒力

以处理 48 h 和成虫前 (18 d) 七星瓢虫死亡数为参考标准, 计算 7 种供试复配杀虫剂对七星瓢虫 2 龄幼虫的毒力, 结果发现, 不同类型复配杀虫剂对七星瓢虫的急性毒力差异明显, 6 种复配杀虫剂对七星瓢虫 2 龄幼虫的毒力大小依次为: 6% 吡虫啉· 高效氯氟氰菊酯悬浮剂 > 10% 甲维盐· 茚虫威悬浮剂 > 12% 甲维盐· 虫螨腈悬浮剂 > 12% 虫螨腈· 虱螨脲悬浮剂 > 22% 吡虫啉· 螺虫乙酯悬浮剂 > 14% 呋虫胺· 螺虫乙酯悬浮剂 (表 2)。

2.2 暴露分析

6 种杀虫剂对捕食性天敌七星瓢虫在农田内和农田外的预测环境暴露量 PER 计算结果显示, 10% 甲维盐· 茚虫威悬浮剂、12% 甲维盐· 虫螨腈悬浮剂、12% 虫螨腈· 虱螨脲悬浮剂、14% 呋

表 2 6 种复配杀虫剂对七星瓢虫 2 龄幼虫的毒力

Table 2 Toxicity of six compound insecticides against 2nd instar larvae of *Coccinella septempunctata*

处理时间 (h) Treatment time	供试药剂 Tested insecticides	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LR ₅₀ (g a.i./hm ²)	95% 置信区间 95% CL	卡方 Chi-Square
48 h	10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂 10% Emamectin benzoate·Indoxacarb SC	$y = 1.854x - 0.168$	0.812	0.492 ~ 2.051	0.967
	12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂 12% Emamectin benzoate·Chlorfenapyr SC	$y = 2.281x - 0.806$	2.255	1.462 ~ 4.089	0.892
	12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂 12% Chlorfenapyr·Lufenuron SC	$y = 2.504x - 1.530$	4.082	2.801 ~ 7.112	1.235
	14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂 14% Dinotefuran·Spirotetramat SC	$y = 2.441x - 3.312$	22.735	15.015 ~ 39.598	0.430
	22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂 22% Imidacloprid·Spirotetramat SC	$y = 1.624x - 1.347$	6.755	3.671 ~ 14.047	0.336
	6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6% Imidacloprid·Lambda-Cyhalothrin SC	$y = 3.098x + 7.094$	0.00467	0.00368 ~ 0.00801	1.029
	10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂 10% Emamectin benzoate·Indoxacarb SC	$y = 2.159x + 1.043$	0.329	0.169 ~ 0.544	1.553
成虫前 (18 d)	12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂 12% Emamectin benzoate·Chlorfenapyr SC	$y = 3.420x - 0.166$	1.118	0.676 ~ 1.634	0.278
	12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂 12% Chlorfenapyr·Lufenuron SC	$y = 3.303x - 1.058$	2.091	1.308 ~ 2.923	0.565
	14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂 14% Dinotefuran·Spirotetramat SC	$y = 2.038x - 2.296$	13.385	6.901 ~ 23.499	0.266
	22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂 22% Imidacloprid·Spirotetramat SC	$y = 2.383x - 1.313$	3.554	1.787 ~ 5.603	0.920
	6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6% Imidacloprid·Lambda-Cyhalothrin SC	$y = 3.105x + 7.783$	0.00312	0.00220 ~ 0.00446	1.099

虫胺·螺虫乙酯悬浮剂、22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂和 6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6 种复配杀虫剂农田内 PER_{in} 值分别为 45、81、90、75、60 和 65.43 g a.i./hm²。七星瓢虫在农田外农作物或蔬菜场景预测环境暴露量 PER_{off} 农作物和 蔬菜 值分别为 0.249、0.449、0.499、0.416、0.332 和 0.311 g a.i./hm²，在农田外果树场景预测环境暴露量 PER_{off} 果树 值分别为 2.628、4.730、5.256、4.380、3.504 和 3.341 g a.i./hm² (表 3 ~ 表 4)。

2.3 风险性评价

捕食性天敌七星瓢虫在农田内场景下的危害

商值 (HQ) 计算结果显示，在最大田间推荐用量作用下，10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂、12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂、12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂、14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂、22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂和 6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6 种复配杀虫剂的农田内的 HQ_{in} 值均大于 5，其中 6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂的 HQ_{in} 值高达 21810，远超出触发值 5。表明 6 种农药在农田内对七星瓢虫均属于高风险药剂，风险均不可接受。需要进一步进行高级评估或者采取合理的风险降解措施来降低风险 (表 5)。

表 3 农田内 6 种杀虫剂对七星瓢虫 2 龄幼虫的暴露评估

Table 3 Exposure assessment of six compound insecticides for the 2nd instar larvae of *Coccinella septempunctata* in the farmland

药剂 Pesticides	田间推荐施用量 AR (g a. i. /hm ²) Recommended application rates	施用次数 (次) Number of appliactions	施用间 隔期 (i/d) Application Interval	半衰期 (DT ₅₀) (d) Half life	多次施 药因子 MAF	PER _{in} (g a. i. / hm ²)
10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂 10% Emamectin benzoate·Indoxacarb SC	30 ~ 45	1	—	10	1	45
12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂 12% Emamectin benzoate·Chlorfenapyr SC	72 ~ 81	1	—		1	81
12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂 12% Chlorfenapyr·Lufenuron SC	54 ~ 90	1	—		1	90
14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂 14% Dinotefuran·Spirotetramat SC	60 ~ 75	1	—		1	75
22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂 22% Imidacloprid·Spirotetramat SC	48 ~ 60	1	—		1	60
6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6% Imidacloprid·Lambda-Cyhalothrin SC	27 ~ 40.5	2	7		1.62	65.43

表 4 农田内 6 种杀虫剂对七星瓢虫 2 龄幼虫的暴露评估

Table 4 Exposure assessment of six compound insecticides for the 2nd instar larvae of *Coccinella septempunctata* off in the farmland

药剂 Pesticides	PDF _{农作物或蔬菜} (%)	PDF _{果树} (%)	农药植被分 布因子 VDF	DT ₅₀ (d)	PER _{off农作物或蔬菜} (g a. i. /hm ²)	PER _{off果树} (g a. i. /hm ²)
10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂 10% Emamectin benzoate·Indoxacarb SC	2.77	29.20	5	10	0.249	2.628
12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂 12% Emamectin benzoate·Chlorfenapyr SC	2.77	29.20	5	10	0.449	4.730
12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂 12% Chlorfenapyr·Lufenuron SC	2.77	29.20	5	10	0.499	5.256
14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂 14% Dinotefuran·Spirotetramat SC	2.77	29.20	5	10	0.416	4.380
22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂 22% Imidacloprid·Spirotetramat SC	2.77	29.20	5	10	0.332	3.504
6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6% Imidacloprid·Lambda-Cyhalothrin SC	2.38	25.53	5	10	0.311	3.341

在农田外的暴露场景下,捕食性天敌七星瓢虫对于在农作物或蔬菜和果树危害商值 (HQ_{off}) 计算结果显示,14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂和 22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂在农田外 HQ_{off} 农作物或蔬菜和 HQ_{off} 果树 值均小于 5,风险可接受;10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂、12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂和 12%

虫螨腈·虱螨脲悬浮剂在农田外 HQ_{off} 农作物或蔬菜 值均小于 5,风险可接受,而在农田外 HQ_{off} 果树 值均大于 5,风险不可接受;6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂在农田外 HQ_{off} 农作物或蔬菜和 HQ_{off} 果树 值均远大于 5,风险不可接受 (表 6)。

表 5 农田内 6 种复配杀虫剂对七星瓢虫 2 龄幼虫的风险评估

Table 5 Risk assessment of six compound insecticides to the 2nd instar larvae of *Coccinella septempunctata* in the farmland

药剂 Pesticides	LR ₅₀ (g a. i. /hm ²)	HQ _{in}	风险评估 Risk assessment
10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂 10% Emamectin benzoate · Indoxacarb SC	0.329	136.778	不可接受 Unacceptable
12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂 12% Emamectin benzoate · Chlorfenapyr SC	1.118	72.451	不可接受 Unacceptable
12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂 12% Chlorfenapyr · Lufenuron SC	2.091	43.042	不可接受 Unacceptable
14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂 14% Dinotefuran · Spirotetramat SC	13.385	5.603	不可接受 Unacceptable
22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂 22% Imidacloprid · Spirotetramat SC	3.554	16.882	不可接受 Unacceptable
6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6% Imidacloprid · Lambda-Cyhalothrin SC	0.00312	21810	不可接受 Unacceptable

表 6 农田外 6 种复配杀虫剂对七星瓢虫 2 龄幼虫的风险评估

Table 6 Risk assessment of six compound insecticides to the 2nd instar larvae of *Coccinella septempunctata* off the farmland

药剂 Pesticides	LR ₅₀ (g a. i. /hm ²)	不确定因子 Uncertainty factor (UF)	HQ _{off农作物或蔬菜}	风险评估 Risk assessment	HQ _{off果树}	风险评估 Risk assessment
10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂 10% Emamectin benzoate · Indoxacarb SC	0.329	5	3.784	可接受 Acceptable	34.468	不可接受 Unacceptable
12% 甲维盐·虫螨腈悬浮剂 12% Emamectin benzoate · Chlorfenapyr SC	1.118	5	2.008	可接受 Acceptable	21.154	不可接受 Unacceptable
12% 虫螨腈·虱螨脲悬浮剂 12% Chlorfenapyr · Lufenuron SC	2.091	5	1.193	可接受 Acceptable	12.568	不可接受 Unacceptable
14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂 14% Dinotefuran · Spirotetramat SC	13.385	5	0.155	可接受 Acceptable	1.636	可接受 Acceptable
22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂 22% Imidacloprid · Spirotetramat SC	3.554	5	0.467	可接受 Acceptable	4.930	可接受 Acceptable
6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂 6% Imidacloprid · Lambda-Cyhalothrin SC	0.00312	5	518.333	不可接受 Unacceptable	5568.333	不可接受 Unacceptable

3 结论与讨论

本试验通过药膜法模拟药剂喷施于植物表面后昆虫直接接触农药和取食接触药剂的蚜虫,通

过接触、胃毒、或拒食对其自身的毒性研究了6种复配杀虫剂对七星瓢虫毒性。研究表明6种复配杀虫剂对七星瓢虫2龄幼虫均表现出较高的毒性。其中6%吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂对七星瓢虫2龄幼虫急性毒性最高,研究发现七星瓢虫对

其单剂吡虫啉和高效氯氟氰菊酯悬均具有较高的敏感性 (金剑雪等, 2009; Skouras *et al.*, 2019)。郭志芯研究报道了 37% 联苯·噻虫胺悬浮剂、24% 溴虫腈·甲维盐悬浮剂、45% 吡虫·虫螨腈悬浮剂和 20% 甲维盐·茚虫威悬浮剂对七星瓢虫的 LR_{50} 分别为 0.0327、6.90、5.00 和 1.25 g a. i. / hm^2 , 同样均为高风险或极高风险 (郭志芯等, 2019)。在处理时间上发现, 这 6 种复配杀虫剂表现一致, 毒性随着处理时间的延长而升高。

农药在室内对昆虫的急性毒力试验数据仅为农药对其风险评估提供参考, 不能代表该药剂在田间使用对非靶标生物的实际危害水平, 实际危害情况取决于毒性和暴露量, 而暴露量取决于田间实际用量、施药方法、气候条件等诸多环境因素 (Caihong *et al.*, 2014; 冯宏祖等, 2017; 李钊等, 2018)。本研究发现 6 种复配杀虫剂对非靶标生物七星瓢虫的安全性存在明显差异, 其中, 14% 呋虫胺·螺虫乙酯悬浮剂和 22% 吡虫啉·螺虫乙酯悬浮剂对七星瓢虫在农田外暴露场景下风险可接受, 可作为田间害虫防治优选药剂, 而 6% 吡虫啉·高效氯氟氰菊酯悬浮剂对七星瓢虫在农田内暴露场景下和农田外暴露场景下风险均不可接受, 因此在田间害虫防治时要慎重选择。

农药开发及使用时, 既要考虑对靶标生物的毒杀效果, 也需要考虑对环境中天敌种类的敏感性, 从保护天敌的角度, 根据施药场景选择安全性较好的药剂, 合理协调化学防治与生物防治的时间, 达到对害虫的最佳综合控制效果 (顾中言和林郁, 1987; Álvarez-Alfageme *et al.*, 2012)。本研究明确了 6 种复配制剂对七星瓢虫的急性毒性及安全性, 从保护天敌的角度合理使用农药, 为害虫综合防治提供依据。本研究仅对复配剂进行效应和暴露分析及风险表征, 后期有必要针对更多的不同类型的复配杀虫剂进行研究, 以便进一步明确不同复配杀虫剂对七星瓢虫的影响。

参考文献 (References)

- Ahmad M, Rafiq M, Arif MI, *et al.* Toxicity of some commonly used insecticides against *Coccinella undecimpunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2011, 43 (6): 1161–1165.
- Álvarez-Alfageme F, Pálkás Z, Bigler F, *et al.* Development of an early-tier laboratory bioassay for assessing the impact of orally-active insecticidal compounds on larvae of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) [J]. *Environmental Entomology*, 2012, 41 (6): 1687–1693.
- Ashraf M, Ishfaq M, Asif M, *et al.* A study on laboratory rearing of lady bird beetle (*Coccinella septempunctata*) to observe its fecundity and longevity on natural and artificial diets [J]. *International Journal of Biology*, 2010, 2 (1): 164–173.
- Caihong Y, Maoran F, Ronghua L, *et al.* Toxic effects of hexaflumuron on the development of *Coccinella septempunctata* [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, 21 (2): 1418–1424.
- Dong WY, Wang CJ, Sang MK, *et al.* Co-toxicity of abamectin with three chemical insecticides against *Schizaphis graminum* on wheat [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (2): 218–223. [董文阳, 王超杰, 桑梦科, 等. 阿维菌素与 3 种化学杀虫剂复配对麦二蚜的联合毒力 [J]. 植物保护, 2019, 45 (2): 218–223]
- Feng HZ, Liu J, Wang L, *et al.* Residual toxicity of seven pesticides to *Trichogramma dendrolimi* [J]. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 2017, 54 (1): 153–159. [冯宏祖, 刘军, 王兰, 等. 七种杀虫剂对松毛虫赤眼蜂的田间残留毒性 [J]. 应用昆虫学报, 2017, 54 (1): 153–159]
- Gu ZY, Lin Y. The function and principle of compound pesticide [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 1987, 11: 25–26. [顾中言, 林郁. 复配农药的作用及复配原则 [J]. 江苏农业科学, 1987, 11: 25–26]
- Guo ZR, Jiang HY, Zhang L, *et al.* Negative effects of the four insecticides on *Coccinella septempunctata* Linnaeus and *Trichogramma dendrolimi* Matsumura [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2019, 35 (4): 542–547. [郭志芯, 蒋红云, 张兰, 等. 四种杀虫剂对七星瓢虫和松毛虫赤眼蜂的负效应 [J]. 中国生物防治学报, 2019, 35 (4): 542–547]
- Jiang H, Tao CJ, Yuan SK, *et al.* Guidance on Environmental Risk Assessment for Pesticide Registration [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018: 78–87. [姜辉, 陶传江, 袁善奎, 等. 农药登记环境风险评估指南 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2018: 78–87]
- Jin JX, Cheng Y, Li ZY, *et al.* Sensitivity determination of the larvae of *Coccinella septempunctata* L. to insecticides [J]. *Modern Agrochemicals*, 2009, 8 (5): 49–51. [金剑雪, 程英, 李忠英, 等. 杀虫剂对七星瓢虫幼虫的敏感性测定 [J]. 现代农药, 2009, 8 (5): 49–51]
- Li Z, Zhang J, Wu YG, *et al.* Toxicity and safety evaluation of 23 pesticides on *Trichogramma dendrolimi* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2018, 40 (1): 224–230. [李钊, 张杰, 武玉国, 等. 23 种农药对松毛虫赤眼蜂的急性毒性及安全性评价 [J]. 环境昆虫学报, 2018, 40 (1): 224–230]
- Ministry of Agriculture of China. NY/T 3088–2017. Chemical pesticide. Guideline for natural enemy (ladybird beetles) acute contact toxicity test [S]. Beijing, 2017. [中华人民共和国农业部. NY/T 3088–2017. 化学农药 天敌 (瓢虫) 急性接触毒性试验准则 [S]. 北京, 2017]
- Skouras PJ, Stathas GJ, Demopoulos V, *et al.* The effect of five insecticides on the predators *Coccinella septempunctata* and

- hippodamia variegata* [J]. *Phytoparasitica*, 2019, 47 (2): 197 – 205.
- Xu HQ, Xue M, Zhao HP, *et al.* Safety evaluation of abamectin and its mixtures on *Trichogramma dendrolimi* [J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2014, 30 (3): 311 – 315. [徐华强, 薛明, 赵海朋, 等. 阿维菌素等药剂及其混配制剂对赤眼蜂的安全性评价 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30 (3): 311 – 315]
- Yu HP, Dai YF, Long GY, *et al.* Toxicity and safety evaluation of seven recommended insecticides against *Harmonia axyridis* (Pallas) in tobacco fields [J]. *Tobacco Science & Technology*, 2018, 51 (9): 14 – 19. [喻会平, 代园凤, 龙贵云, 等. 7 种杀虫剂对异色瓢虫幼虫的毒力及安全性评价 [J]. 烟草科技, 2018, 51 (9): 14 – 19]
- Yuan R, Li LL, Li C, *et al.* Toxicity and hazard assessment of six neonicotinoid insecticides on *Osmia excavata* (Hymenoptera: Megachilidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2018, 61 (8): 950 – 956. [袁锐, 李丽莉, 李超, 等. 六种新烟碱类杀虫剂对凹唇壁蜂的毒性及风险评估 [J]. 昆虫学报, 2018, 61 (8): 950 – 956]
- Zhao YN, Gao JL, Wang YJ, *et al.* Study on acute toxicity and hazard assessment of avermectin and its mixtures on *Apis cerana hainan* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2014, 36 (5): 744 – 748. [赵怡楠, 高景林, 王玉洁, 等. 阿维菌素及其混剂对海南中蜂的急性毒性测定及风险评估 [J]. 环境昆虫学报, 2014, 36 (5): 744 – 748]
- Zhou YH, Cheng Y, Jin JX, *et al.* Large scale production and release application of *Coccinella septempunctata* [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2017, 30 (3): 602 – 605. [周宇航, 程英, 金剑雪, 等. 七星瓢虫规模化生产与释放的应用效果 [J]. 西南农业学报, 2017, 30 (3): 602 – 605]