

氟吡呋喃酮与 8 种杀虫剂复配对温室白粉虱的联合毒力

金永玲^{#,*}, 刘媛媛[#], 王星宇, 李加奇, 陈云, 张祖铭, 相龙鑫

(黑龙江八一农垦大学, 黑龙江省作物-有害生物互作生物学及生态防控重点实验室,
国家杂粮工程技术研究中心, 大庆 163319)

摘要 为了筛选出对温室白粉虱高效的农药复配组合,本试验选择 9 种杀虫单剂对田间采集的温室白粉虱进行了毒力测定,并利用共毒因子和共毒系数对氟吡呋喃酮与 8 种杀虫剂复配组合的联合毒力进行评价,同时对筛选出的药剂进行田间药效试验。结果表明:杀虫单剂毒力测定中,LC₅₀最低的为鱼藤酮,最高的为螺虫乙酯,48 h LC₅₀分别为 0.43 μg/mL 和 78.59 μg/mL;毒力大小顺序为鱼藤酮>氟啶虫胺睛>除虫菊素>苦参·印楝素>*d*-柠檬烯>氟吡呋喃酮>啶虫脒>高效氯氟菊酯>螺虫乙酯。共毒系数大于 120 的复配组合为氟吡呋喃酮与 *d*-柠檬烯 5:1、氟吡呋喃酮与苦参·印楝素 1:2 和 1:5,共毒系数分别为 268.31、247.80 和 241.46,LC₅₀分别为 5.76、4.51 μg/mL 和 4.34 μg/mL。氟吡呋喃酮与 *d*-柠檬烯 5:1 复配增效作用明显,为最佳配比。田间药效试验表明,10 d 后,17% 氟吡呋喃酮可溶液剂与 1% 苦参·印楝素乳油、5% *d*-柠檬烯可溶液剂复配对温室白粉虱的防效达到 83.5%~83.9%,均高于 3 种杀虫剂单独使用的效果。

关键词 温室白粉虱; 毒力; 共毒因子; 共毒系数; 增效作用

中图分类号: S 482.3 文献标识码: B DOI: 10.16688/j.zwbh.2022038

Joint toxicity of flupyradifurone with eight insecticides against *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)

JIN Yongling^{#,*}, LIU Yuanyuan[#], WANG Xingyu, LI Jiaqi, CHEN Yun, ZHANG Zuming, XIANG Longxin

(Heilongjiang Bayi Agricultural University, Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Crop-Pest Interaction Biology and Ecological Control, National Coarse Cereals Engineering Research Center, Daqing 163319, China)

Abstract In order to screen out the combinations of insecticides with synergism to *Trialeurodes vaporariorum*, the toxicity of nine single insecticides was determined to *T. vaporariorum* collected in the field, and the combined toxicity of flupyradifurone and eight insecticides was evaluated by co-toxicity factor and co-toxicity coefficient, meanwhile, field efficacies of selected agents were also investigated. The results showed that rotenone had the highest LC₅₀ values, while spirotetramat was the lowest in the bioassay test of single insecticide, with the LC₅₀ values of 0.43 μg/mL and 78.59 μg/mL, respectively 48 h after treatment. The order of toxicity was rotenone> sulfoxaflor> pyrethrins> sophoraflavescens · azadirachtin> *d*-limonene> flupyradifurone> acetamiprid> beta-cypermethrin> spirotetramat. The combination with cotoxicity coefficient greater than 120 is flupyradifurone and *d*-limonene 5:1, flupyradifurone and sophoraflavescens · azadirachtin 1:2 and 1:5, the cotoxicity coefficients were 5.76, 4.51 μg/mL and 4.34 μg/mL respectively, LC₅₀ were 5.76, 4.51 μg/mL and 4.34 μg/mL. The synergistic effect of the 5:1 combination of flupyradifurone and *d*-limonene was obviously the best ratio. The field efficacy test showed that after ten days, the control effect of flupyradifurone 17% SL combined with sophoraflavescens · azadirachtin 1% EC and *d*-limonene 5% SL on *T. vaporariorum* reached 83.5%—83.9%, which was higher than that of the three insecticides alone.

Key words *Trialeurodes vaporariorum*; toxicity; co-toxicity factor; co-toxicity coefficient; synergism

收稿日期: 2022-01-19 修订日期: 2022-04-14

基金项目: 黑龙江八一农垦大学研究生创新科研项目(2021019);黑龙江八一农垦大学国家级大学生创新创业项目(201710223013)

* 通信作者 E-mail: gygjyl08@163.com

为并列第一作者

温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) 属半翅目 Hemiptera, 粉虱科 Aleyrodidae。其寄主广泛, 是全球性园艺和观赏植物的主要害虫。温室白粉虱为刺吸式口器, 于叶片背面为害, 并分泌大量蜜液影响植物的光合作用^[1], 同时也能引起植物煤污病, 使蔬菜失去商品价值^[2], 导致蔬菜等经济作物减产。

由于长期大量、不合理地使用化学药剂防治温室白粉虱, 1983年北京郊区白粉虱种群已对马拉硫磷、敌敌畏和溴氰菊酯等产生了抗性, 温室白粉虱成虫对阿维菌素抗性已达中抗水平^[3]; 2011年山西晋中、临汾、运城的温室白粉虱种群对啶虫脒已达到中抗水平, 晋中地区和青岛地区温室白粉虱种群对吡虫啉亦产生中等水平抗性^[4-5]; 杨巍民^[6]和胡学雄等^[7]研究报道温室白粉虱对新烟碱类杀虫剂抗性在逐渐增强, 且抗性增长速率大于其他类杀虫剂, 抗药性直接导致温室白粉虱的田间防治效果降低。

开发新型杀虫剂的研发周期较长, 且投资巨大, 因此, 将不同作用机制的杀虫单剂进行科学复配是防治温室白粉虱的新选择。不仅可以有效防治害虫, 还可以延缓抗药性的产生, 有效延长药剂使用寿命^[8]。氟吡呋喃酮 (flupyradifurone) 是拜耳作物科学公司开发的一种新型新烟碱类杀虫剂, 对刺吸式口器害虫, 如蚜虫、叶蝉、稻飞虱、粉虱等高效, 与吡虫啉、噻虫胺等相比, 其突出特点是对蜜蜂等传粉昆虫低毒^[9]。目前还没有温室白粉虱田间种群对氟吡呋喃酮产生抗性的报道。为了筛选出对温室白粉虱联合毒力较强的最佳药剂配比, 增加氟吡呋喃酮的杀虫毒力, 延缓抗药性的产生, 本研究将氟吡呋喃酮与 8 种杀虫剂复配, 根据等效线法设置配比浓度, 利用共毒因子和共毒系数分析复配组合的增效作用, 寻找到混配药剂的最适配比, 为温室白粉虱的化学防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试虫源及田间试验地点

温室白粉虱采集于黑龙江省大庆市大同区黑龙江八一农垦大学航天育种基地番茄种植区, 带回实验室用于毒力试验。田间药效试验地点同上。

1.1.2 供试药剂

原药: 96% 高效氯氰菊酯和 98% 氟啶虫胺脒, 江苏蓝丰生物化工股份有限公司; 96% 螺虫乙酯

和 96% 氟吡呋喃酮, 拜耳作物科学(中国)有限公司; 98.6% 啶虫脒, 中化宁波有限公司; 50% 除虫菊素, 广州宏程生物科技有限公司; 95% 鱼藤酮, 广西施乐农化科技开发有限公司; 92% *d*-柠檬烯, 奥罗阿格瑞国际有限公司。

制剂: 17% 氟吡呋喃酮可溶液剂 (SL), 拜耳作物科学(中国)有限公司; 1% 苦参·印楝素乳油 (EC), 云南光明印楝产业开发股份有限公司; 5% *d*-柠檬烯可溶液剂 (SL), 奥罗阿格瑞国际有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 不同杀虫剂对温室白粉虱毒力测定

参照王俊平等^[10]的毒力测定方法, 并根据 Cahill^[11-12]、Dittrich^[13]的方法改进。首先称取适量供试原药, 用丙酮进行预溶, 随后加入蒸馏水制备成高浓度的药液, 再进行稀释, 最后每个药剂设置 9 个浓度及 1 组空白对照。将 10 mL 离心管用液润洗一遍, 使用金属打孔器将新鲜黄瓜叶片打成直径为 1 cm 的小圆片, 浸入药液内 15 s, 自然晾干。

将琼脂加入蒸馏水中加热煮沸溶解, 随后放置室温冷却至 60℃ 左右, 用移液器吸取 1 mL 加入到药液润洗过的 10 mL 离心管底部, 注意不要沾染离心管管壁, 也尽量避免离心管底部产生气泡; 待 20 min 后, 琼脂冷却凝固。将晾干的 1 cm 圆形叶片背面朝上粘到琼脂上, 并完全覆盖琼脂胶, 以免琼脂胶接触粉虱影响粉虱的存活。

温室白粉虱处理: 将粘有叶片的 10 mL 离心管倒置 (粉虱习惯在叶背面生活), 并将事先备好的温室白粉虱装入小离心管, 每管 30 头。使小离心管管口向上并稍微倾斜放进 10 mL 离心管中, 轻拍小离心管以利于粉虱从管中爬出, 至其完全爬出将小离心管拿出, 并将 10 mL 离心管管口盖好, 置于 (25 ± 1)℃, 光周期 L//D = 14 h//10 h 的光照培养箱内, 48 h 后检查各处理的死亡数和存活数。每个处理重复 3 次。求出测试药剂的毒力回归方程及 LC₅₀。

1.2.2 共毒因子测定

参照 Mansour 等^[14]的方法。将各供试杀虫剂单剂配制成 48 h LC₅₀ 的浓度药液, 以氟吡呋喃酮 LC₅₀ 药液为 a, 其他杀虫剂单剂 LC₅₀ 浓度药液为 b, 按照 a:b 为 1:5、1:2、1:1、2:1、5:1 的体积比混合, 对照组加等量的丙酮及水, 其浓度分别为 (a+5b)/6、(a+2b)/3、(a+b)/2、(2a+b)/3、(5a+b)/6。按照 1.2.1 的方法测定混剂对温室白粉虱的毒力。实测死亡率是实际试验测得的死亡率; 理论死亡率是已

知药剂浓度,根据药剂的直线方程计算出来的死亡率;计数 48 h 各处理温室白粉虱的死亡数和存活数,根据死亡率计算共毒因子。

$$\text{共毒因子} = \frac{(\text{实测死亡率} - \text{理论死亡率})}{\text{理论死亡率}} \times 100.$$

共毒因子 > 20 表示有增效作用, $-20 \leq$ 共毒因子 ≤ 20 表示相加作用, 共毒因子 < -20 表示拮抗作用。

1.2.3 共毒系数测定

参照 Sun 等^[15]的方法,在上述共毒因子 > 20 的比例范围内进一步细化配比,并根据死亡率设置 9 个浓度梯度,测定各复配组合对温室白粉虱在 48 h 的联合毒力,方法同 1.2.1。求出测试药剂的毒力回归方程、斜率及 LC_{50} ,计算共毒系数,筛选出共毒系数 > 120 的最佳配比。共毒系数 > 120 表示增效作用, $80 \leq$ 共毒系数 ≤ 120 表示相加作用, 共毒系数 < 80 表示拮抗作用。计算时以复配组合中 LC_{50} 较大的杀虫剂单剂为标准杀虫剂。

$$\text{相对毒力指数(TI)} = \frac{\text{标准药剂 } LC_{50}}{\text{供试药剂 } LC_{50}} \times 100;$$

$$\text{混剂实际毒力指数(ATI)} = \frac{\text{标准药剂 } LC_{50}}{\text{混剂 } LC_{50}} \times 100;$$

混剂理论毒力指数(TTI) = $TI_A \times$ 药剂 A 在混剂中百分含量 + $TI_B \times$ 药剂 B 在混剂中百分含量;

$$\text{共毒系数(CTC)} = \frac{\text{混剂实际毒力指数}}{\text{混剂理论毒力指数}} \times 100.$$

1.2.4 田间药效试验

将温室划分 6 个小区,每个小区 100 m²,以喷清

水为对照区,其他区分别喷施 17% 氟吡呋喃酮水剂 76.5 mL/hm² (有效成分用量,下同), 1% 苦参·印楝素乳油 9.0 mL/hm², 5% *d*-柠檬烯可溶液剂 75.0 mL/hm², 17% 氟吡呋喃酮水剂 25.5 mL/hm² + 1% 苦参·印楝素乳油 6.0 mL/hm², 17% 氟吡呋喃酮水剂 68.0 mL/hm² + 5% *d*-柠檬烯可溶液剂 20.0 mL/hm², 利用背负式电动喷雾器,喷液量为 300 L/hm²。喷药前每个小区随机调查 5 点,选择番茄上中下 6 片叶统计温室白粉虱数量,喷药后 1、3、5、10 d,采用同样方法调查,计算防效。

防效 = (处理区虫口退减率 - 对照区虫口退减率) / (1 - 对照区虫口退减率) × 100%。

1.3 数据处理

利用 SPSS 软件及 Microsoft Excel 2016 软件分析试验数据,求出各药剂的毒力回归方程、致死中浓度(LC_{50})和 95% 置信区间。

2 结果与分析

2.1 毒力测定

9 种药剂对温室白粉虱成虫 48 h 的毒力测定结果如表 1 所示,9 种杀虫剂对温室白粉虱的 LC_{50} 值在 0.43 ~ 78.59 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 之间,其中以鱼藤酮毒力最高, LC_{50} 为 0.43 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。新型烟碱类杀虫剂氟吡呋喃酮杀虫活性处于中等水平,氟啶虫胺胍和除虫菊素也表现较高的活性,而高效氯氰菊酯和螺虫乙酯在 9 种杀虫剂中对温室白粉虱的毒力相对较低。

表 1 不同杀虫剂对温室白粉虱的毒力(48 h)

Table 1 Toxicity of different pesticides on *Trialeurodes vaporariorum* (48 h)

药剂 Pesticides	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	$LC_{50}/\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	95% 置信区间/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 95% confidence interval	χ^2 (df=3)
高效氯氰菊酯 <i>beta</i> -cypermethrin	1.57 ± 0.11	40.65	24.74 ~ 66.78	0.18
螺虫乙酯 spirotriamat	1.12 ± 0.05	78.59	62.71 ~ 98.48	0.25
啶虫脒 acetamiprid	0.50 ± 0.22	29.97	19.97 ~ 44.99	0.04
氟啶虫胺胍 sulfoxaflor	0.78 ± 0.14	1.92	1.02 ~ 3.60	0.18
氟吡呋喃酮 flupyradifurone	0.51 ± 0.07	15.54	11.33 ~ 21.31	0.04
除虫菊素 pyrethrins	1.44 ± 0.08	2.38	1.50 ~ 3.78	1.04
鱼藤酮 rotenone	1.45 ± 0.19	0.43	0.18 ~ 1.00	0.19
<i>d</i> -柠檬烯 <i>d</i> -limonene	2.12 ± 0.05	14.80	12.04 ~ 18.19	0.22
苦参·印楝素 <i>sophoraflavescens</i> · <i>azadirachtin</i>	0.57 ± 0.12	9.83	5.72 ~ 16.89	0.16

2.2 共毒因子法定量筛选

氟吡呋喃酮与 8 种药剂各比对温室白粉虱的共毒因子测定结果如表 2 所示,试验药剂配比组合中,共毒因子大于 20 的有 6 组:氟吡呋喃酮与 *d*-柠

檬烯 1:1、5:1 复配时,共毒因子为 27.10、24.16;与高效氯氰菊酯 5:1 复配时,共毒因子为 24.59;与苦参·印楝素 1:5、1:2、1:1 复配时,共毒因子为 29.97、28.09、26.01。

表 2 氟吡呋喃酮与其他药剂复配组合对温室白粉虱的共毒因子(48 h)

Table 2 Co-toxicity factor of flupyradifurone and other agents against *Trialeurodes vaporariorum* (48 h)

复配组合 Composite formulation	配制比例 Preparation proportion	查自 LC-P 线死亡率/% Mortality from the LC-P		理论死亡率/% Predicted mortality	实际死亡率/% Actual mortality	共毒因子 Co-toxicity factor
		A	B			
氟吡呋喃酮+啮虫脒 flupyradifurone+acetamiprid	1:5	30.50	45.10	75.60	65.38	-13.52
	1:2	34.20	40.30	74.50	71.88	-3.52
	1:1	38.00	35.60	73.60	71.43	-2.95
	2:1	41.90	31.20	73.10	73.33	0.31
	5:1	45.90	27.00	72.90	62.50	-14.27
氟吡呋喃酮+除虫菊素 flupyradifurone+pyrethrins	1:5	30.50	46.40	76.90	46.15	-39.99
	1:2	34.20	42.80	77.00	86.67	12.56
	1:1	38.00	39.30	77.30	83.65	8.21
	2:1	41.90	35.80	77.70	68.00	-12.48
	5:1	45.90	32.50	78.40	76.47	-2.46
氟吡呋喃酮+螺虫乙酯 flupyradifurone+spirotetramat	1:5	30.50	36.20	66.70	65.22	-2.22
	1:2	34.20	24.00	58.20	62.50	7.39
	1:1	38.00	14.40	52.40	61.54	17.44
	2:1	41.90	7.80	49.70	43.48	-12.52
	5:1	45.90	3.80	49.70	55.88	12.43
氟吡呋喃酮+d-柠檬烯 flupyradifurone+d-limonene	1:5	30.50	33.90	64.40	73.62	14.32
	1:2	34.20	20.40	54.60	62.65	14.74
	1:1	38.00	10.70	48.70	61.90	27.10
	2:1	41.90	4.90	46.80	55.65	18.91
	5:1	45.90	1.90	47.80	59.35	24.16
氟吡呋喃酮+氟啉虫腈 flupyradifurone+sulfoxaflor	1:5	30.50	45.90	76.40	76.92	0.68
	1:2	34.20	44.40	78.60	70.59	-10.19
	1:1	38.00	43.00	81.00	72.41	-10.60
	2:1	41.90	41.60	83.50	71.88	-13.92
	5:1	45.90	40.10	86.00	89.66	4.26
氟吡呋喃酮+高效氯氟菊酯 flupyradifurone + beta-cypermethrin	1:5	30.50	33.70	64.20	75.33	17.34
	1:2	34.20	20.00	54.20	63.75	17.62
	1:1	38.00	10.40	48.40	56.50	16.74
	2:1	41.90	4.60	46.50	54.27	16.71
	5:1	45.90	1.80	47.70	59.43	24.59
氟吡呋喃酮+苦参·印楝素 flupyradifurone + sophoraflavescens · azadirachtin	1:5	30.50	46.30	76.80	99.82	29.97
	1:2	34.20	42.60	76.80	98.37	28.09
	1:1	38.00	38.90	76.90	96.90	26.01
	2:1	41.90	35.40	77.30	77.65	0.45
	5:1	45.90	32.00	77.90	72.50	-6.93
氟吡呋喃酮+鱼藤酮 flupyradifurone+rotenone	1:5	30.50	53.60	84.10	85.00	1.07
	1:2	34.20	57.10	91.30	74.07	-18.87
	1:1	38.00	60.40	98.40	83.02	-15.63
	2:1	41.90	64.00	105.90	90.77	-14.29
	5:1	45.90	67.30	113.20	88.33	-21.97

2.3 共毒系数法定量筛选

在上述筛选出的共毒因子大于 20 的复配组合基础上,进一步测定其共毒系数来确定各复配的增效作用,结果如表 3 所示:氟吡呋喃酮与 d-柠檬烯配比为 5:1 时增效作用显著,共毒系数为 268.31,配比为 1:1 时,共毒系数为 114.57,表现为相加作用;氟

吡呋喃酮与苦参·印楝素配比为 1:2 和 1:5 均具有增效作用,其中配比为 1:2 时增效作用最显著,共毒系数为 247.80,配比为 1:5 时共毒系数为 241.46,配比为 1:1 时为相加作用,共毒系数为 110.42;氟吡呋喃酮与高效氯氟菊酯配比为 1:1 时,共毒系数小于 80,为 68.25,表现为拮抗作用。

表 3 氟吡呋喃酮与其他药剂复配组合对温室白粉虱的共毒系数(48 h)

Table 3 Co-toxicity coefficient of flupyradifurone and other agents against *Trialeurodes vaporariorum* (48 h)

复配组合 Composite formulation	配制比例 Preparation proportion	斜率±标准误差 Slope±SE	χ^2 ($df=3$)	LC ₅₀ (95%置信区间)/ $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ (95% confidence interval)	共毒系数 Co-toxicity coefficient
氟吡呋喃酮+d-柠檬烯 flupyradifurone+d-limonene	1:1 5:1	0.85±0.14 1.58±0.08	0.08 0.06	13.23(6.99~25.01) 5.76(4.03~8.23)	114.57 268.31
氟吡呋喃酮+高效氯氰菊酯 flupyradifurone+ <i>beta</i> -cypermethrin	5:1	0.76±0.17	0.01	25.39(11.78~54.71)	68.25
氟吡呋喃酮+苦参·印楝素 flupyradifurone+sophoraflavescens·azadirachtin	1:1 1:2 1:5	0.98±0.22 1.43±0.09 1.63±0.08	0.01 0.10 0.05	10.90(4.10~28.97) 4.51(3.03~6.71) 4.34(3.04~6.20)	110.42 247.80 241.46

2.4 田间药效试验

氟吡呋喃酮、苦参·印楝素、*d*-柠檬烯及其混剂对温室白粉虱成虫田间试验结果如表 4 所示:药后 1 d, 17%氟吡呋喃酮可溶液剂对温室白粉虱防效最高,为 53.4%,其他处理的防效在 31.5%~47.3%之间。药后 3 d, 17%氟吡呋喃酮可溶液剂防效为

90.0%, 17%氟吡呋喃酮可溶液剂与 5%*d*-柠檬烯可溶液剂复配处理防效高达 90.3%,两者显著优于其他处理。药后 10 d, 17%氟吡呋喃酮可溶液剂与 1%苦参·印楝素乳油复配、5%*d*-柠檬烯可溶液剂复配的防效分别为 83.9%和 83.5%,均高于这 3 种制剂单独施用对温室白粉虱成虫的防治效果,但无显著差异。

表 4 3 种药剂及其复配对温室白粉虱成虫田间防效¹⁾Table 4 Field control effect of three insecticides and their combination on adults of *Trialeurodes vaporariorum*

药剂处理 Reagent treatment	有效成分用量/ $\text{mL}\cdot(\text{hm}^2)^{-1}$ Active component content	药前平均虫口 基数/头 Average base number in field	药后 1 d 1 d after spraying		药后 3 d 3 d after spraying		药后 10 d 10 d after spraying	
			平均活虫数/头 Number of live insects	平均防效/% Control effect	平均活虫数/头 Number of live insects	平均防效/% Control effect	平均活虫数/头 Number of live insects	平均防效/% Control effect
17%氟吡呋喃酮 SL flupyradifurone 17% SL	76.5	112.5	56.9	53.4a	13.7	90.0a	29.3	80.8a
1%苦参·印楝素 EC sophoraflavescens·azadirachtin 1% EC	9.0	137.5	97.8	31.5c	49.8	70.4c	43.5	76.7a
5% <i>d</i> -柠檬烯 SL <i>d</i> -limonene 5% SL	75.0	75.0	51.8	36.4bc	20.8	77.4b	18.2	82.1a
17%氟吡呋喃酮 SL+1%苦参·印楝素 EC flupyradifurone 17%SL+sophoraflavescens·azadirachtin1%EC	25.5+6.0	142.5	92.6	40.2bc	19.2	68.2c	31.2	83.9a
17%氟吡呋喃酮 SL+5% <i>d</i> -柠檬烯 SL flupyradifurone 17% SL + <i>d</i> -limonene 5% SL	68.0+20.0	142.5	81.5	47.3ab	17.0	90.3a	31.8	83.5a
清水对照 CK	—	140.0	152.0	—	171.3	—	189.9	—

1) 表中不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 0.05 水平差异显著。

Different letters indicate significant differences at 0.05 level by Duncan's new multiple range test.

3 结论与讨论

本试验采用离心管饲喂法测定了 9 种杀虫剂对温室白粉虱的毒力,48 h 毒力大小为鱼藤酮>氟啶虫脒>除虫菊素>苦参·印楝素>*d*-柠檬烯>氟吡呋喃酮>啶虫脒>高效氯氰菊酯>螺虫乙酯,

LC₅₀在 0.43~78.59 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内。氟吡呋喃酮与 8 种杀虫剂复配对温室白粉虱的联合毒力表明,氟吡呋喃酮与 *d*-柠檬烯按 5:1、与苦参·印楝素按 1:2、1:5 进行复配均具有增效作用,氟吡呋喃酮与高效氯氰菊酯按 5:1 进行复配表现为拮抗作用。田间药效试验结果表明,17%氟吡呋喃酮可溶液剂与

1%苦参·印楝素乳油、5%*d*-柠檬烯可溶液剂相比,对温室白粉虱成虫防治效果最高;17%氟吡呋喃酮水剂分别与1%苦参·印楝素乳油、5%*d*-柠檬烯可溶液剂复配,药量较单剂降低,但是防治效果与单剂相当。

氟吡呋喃酮是一种新型丁烯酸内酯类杀虫剂,通过与昆虫烟碱乙酰胆碱受体(nAChR)可逆性结合而发挥作用。Jeschke通过家蝇 *Musca domestica* L. 头膜的放射配体结合研究和离体昆虫神经元的电生理记录,证明了氟吡呋喃酮对昆虫的烟碱乙酰胆碱受体有作用^[9]。氟吡呋喃酮对刺吸式害虫的作用非常迅速,并具有很高的预防植物病毒传播的潜力,在施药后易被植物的根茎叶吸收。延缓害虫对新型药剂抗性的最有效措施就是药剂的复配混用。复配可通过改变杀虫剂的物理性状、改变杀虫剂对害虫表皮的穿透速率、影响昆虫的生理代谢、干扰害虫的行为等达到增效作用^[16]。毛晓红等研究发现鱼藤酮与啮虫脘、噻虫嗪按不同比例进行混配,对烟粉虱 *Bemisia tabaci* Gennadius 和桃蚜 *Myzus persicae* Sulzer 的防治效果显著增加^[17];茚虫威和三氟苯嘧啶按照 5:1 进行复配时,对贵州 3 个地区褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål 种群协同增效作用显著^[18];目前关于氟吡呋喃酮混配研究和应用报道较少。按有效成分比计,阿维菌素与吡虫啉 1:7、与氟啉虫胺脒 2:1 进行混配对麦二叉蚜 *Schizaphis graminum* Rondani 的联合毒力显著增强^[19]。按质量比计,氟吡呋喃酮与高效氯氰菊酯 1:5、与氟啉虫胺脒 5:1、与螺虫乙酯 1:8 的药剂组合对棉蚜 *Aphis gossypii* Glover 增效作用均显著^[20]。但是本研究结果表明,氟吡呋喃酮与高效氯氰菊酯、螺虫乙酯混配没有表现出增效作用,可能作用的害虫种类不同所导致的,还需要进一步验证。

参考文献

- [1] 张红娟,王乐涛. 温室白粉虱综合防治[J]. 西北园艺(蔬菜), 2016, 11(6): 39-40.
- [2] 陈春丽, 邹军锐, 匡先钜, 等. 烟粉虱及温室白粉虱为害后对后续粉虱种群的影响[J]. 应用昆虫学报, 2015, 52(1): 104-112.
- [3] 李彦蓉, 任璐, 韩巨才. 温室白粉虱对常用杀虫剂的敏感性测定[J]. 山西农业大学学报, 2011, 31(2): 134-136.
- [4] 李彦蓉, 任璐, 韩巨才. 温室白粉虱对常用杀虫剂的抗药性监测[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2011, 31(3): 217-220.
- [5] 王俊平, 张爱霞, 郑长英, 等. 常用杀虫剂对烟粉虱和温室白粉虱的毒力测定[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2012, 29(3): 186-189.
- [6] 杨巍民. 关于温室白粉虱对新烟碱类杀虫剂吡虫啉的抗性报告[J]. 世界农药, 2007(6): 28-30.
- [7] 胡学雄, 白义川, 李晓炜, 等. 10 种杀虫剂对温室白粉虱成虫抗药性的检测[J]. 天津农业科学, 2006(1): 25-27.
- [8] 刘国强, 白冰, 毕于慧, 等. 辣椒碱与 3 种药剂对温室白粉虱的联合毒力[J]. 植物保护, 2021, 47(4): 305-309.
- [9] JESCHKE P, NAUEN R, GUTBROD O, et al. Flupyradifurone (SivantoTM) and its novel butenolidepharmacophore: Structural considerations [J]. Pesticide Biochemistry Physiology, 2015, 121: 31-38.
- [10] 王俊平, 张爱霞, 郑长英, 等. 常用杀虫剂对烟粉虱和温室白粉虱的毒力测定[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2012, 29(3): 186-189.
- [11] CAHILL M, GORMAN K, DAY S, et al. Baseline determination and detection of resistance to imidacloprid in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 1996, 86(4): 343-349.
- [12] CAHILL M, BYME F J, GORMAN K, et al. Pyrethroid and organophosphate resistance in the tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 1995, 85(2): 181-187.
- [13] DITTRICH V, ERNST G H, RUESCH O, et al. Resistance mechanisms in sweet potato whitefly (Homoptera, Aleyrodidae) populations from Sudan, Turkey, Guatemala, and Nicaragua [J]. Journal of Economic Entomology, 1990, 83: 1665-1670.
- [14] MANSOUR N A, ELDEFRAWI M E, TOPPOZADA A, et al. Toxicological studies on the Egyptian cotton leaf worm, *Prodenialitura*. VI. potentiation and antagonism of organophosphorus and carbamate insecticides [J]. Journal of Economic Entomology, 1966, 59(2): 307-311.
- [15] SUN Y P, JOHNSON E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies [J]. Journal of Economic Entomology, 1960, 53(5): 887-892.
- [16] 曹娜, 赵小云, 宋鲜梅, 等. 阿维菌素与常用杀虫剂复配对 Q 型烟粉虱的增效作用及田间防效[J]. 农药, 2019, 58(11): 849-855.
- [17] 毛晓红, 陈鹏, 曹长代, 等. 鱼藤酮与 3 种新烟碱类杀虫剂桶混对烟粉虱和烟蚜的联合毒力[J]. 中国农学通报, 2021, 37(30): 98-105.
- [18] 肖彩云, 吴帅, 廖逊, 等. 茚虫威与三氟苯嘧啶对贵州褐飞虱种群的协同作用及其解毒酶的影响[J]. 农药, 2020, 59(10): 722-726.
- [19] 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叉蚜的联合毒力[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 218-223.
- [20] 王欢欢. 九种杀虫剂对瓜蚜的毒力及协同增效剂筛选[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019.