

文章编号: 1674 - 7054(2019)03 - 0278 - 05

## 氟啶虫胺胍与茚虫威对褐飞虱的协同作用

蔡永凤<sup>1,3</sup>, 肖彩云<sup>1,3</sup>, 吴 帅<sup>1,3</sup>, 郑茂彬<sup>1,3</sup>, 李明<sup>1,2,3</sup>, 李荣玉<sup>1,2,3</sup>

(1. 贵州大学 作物保护研究所, 贵阳 550025; 2. 贵州省山地农业病虫害重点实验室, 贵阳 550025;  
3. 贵州大学 农学院, 贵阳 550025)

**摘 要:** 采用稻苗浸渍法测定贵州3地(黄平、湄潭、惠水)褐飞虱田间种群和相对敏感种群等对氟啶虫胺胍和茚虫威的敏感性。结果表明,褐飞虱敏感种群对氟啶虫胺胍和茚虫威的相对敏感毒力基线的 $LC_{50}$ 值分别为: 1.83, 17.57  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。与敏感种群相比,贵州3地(黄平、湄潭、惠水)褐飞虱种群对氟啶虫胺胍及茚虫威的抗性还处于敏感水平,抗性倍数分别在1.73~4.65和1.23~3.44之间。氟啶虫胺胍与茚虫威在1:1时协同效应最明显,共毒系数为186.85。

**关键词:** 褐飞虱; 氟啶虫胺胍; 茚虫威; 协同作用

**中图分类号:** S 482.3      **文献标志码:** A      **DOI:** 10.15886/j.cnki.rds wxb.2019.03.014

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是一种单食性刺吸式害虫,也是水稻上最重要的害虫之一,可通过产卵、直接刺吸、泌露、传播植物病毒等方式对水稻进行为害,具有体型小、繁殖力强、迁飞等特点,易爆发成灾<sup>[1-2]</sup>。每年,亚洲水稻因褐飞虱造成的减产所导致的经济损失高达3亿美元<sup>[3]</sup>。化学防治是褐飞虱的主要防治手段<sup>[4]</sup>。由于褐飞虱的高适应力和繁殖潜能以及杀虫剂长期大量、单一的不合理使用,褐飞虱对多种常用杀虫剂产生了较高水平的抗性,其中包括了氨基甲酸酯类(异丙威)、拟除虫菊酯类(醚菊酯)、昆虫生长调节剂(噻嗪酮)、新烟碱类(吡虫啉、噻虫嗪)、吡啶类(吡蚜酮)、苯基吡唑类(氟虫腓、丁烯氟虫腓)<sup>[5-7]</sup>。褐飞虱的抗药性问题是褐飞虱防治中的一大难题,抗药性的产生会缩短药剂使用寿命,导致田间施用时增加药剂浓度、加大施用量、降低防治效果、增加防治成本<sup>[8]</sup>;新药的研发需要耗费大量的人力、财力、物力及时间,药剂的合理组合具有节约成本、扩大防治谱、延缓抗药性、减少药剂使用量等优点,是延缓褐飞虱抗药性的一种有效手段<sup>[9-10]</sup>。茚虫威(indoxacarb)是一种新型噁二嗪类杀虫剂,作用于害虫神经细胞中的钠离子通道<sup>[11-13]</sup>。氟啶虫胺胍(sulfoxaflor)属于砜亚胺类杀虫剂,作用于昆虫神经系统,通过激活烟碱型乙酰胆碱受体(nAChRs)内独特的结合位点而发挥作用<sup>[14-15]</sup>。2013—2016褐飞虱抗性监测结果表明:褐飞虱对氟啶虫胺胍产生了低到中等水平抗性,褐飞虱对氟啶虫胺胍有产生抗性的风险<sup>[6,16]</sup>。茚虫威在水稻上主要用于鳞翅目害虫的防治,对部分同翅目及鞘翅目害虫也有一定的效果<sup>[17]</sup>。目前,有关氟啶虫胺胍与茚虫威组合对褐飞虱的作用研究未见报道。为充分利用氟啶虫胺胍与茚虫威,笔者选择两者进行组合,旨在寻找防治褐飞虱更为有效的组合药剂及其配比。

### 1 材料与方 法

1.1 供试虫源 供试虫源见表1。敏感种群(SS)为华中农业大学所赠。田间采集的虫源于室内用养虫

收稿日期: 2019-07-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200500); 国家自然科学基金(31701816, 31460480); 贵州省科学技术基金项目(黔科合基础[2017]1083); 贵州大学引进人才科研项目[贵大人基合字(2015)07号]

作者简介: 蔡永凤(1996-),女,贵州大学农学院2015级植物保护专业本科生. E-mail: 1441993094@qq.com

通信作者: 李荣玉(1984-),男,副教授. 研究方向: 农药毒理学及农产品质量安全. E-mail: lirongyu0328@126.com

笼( 稻苗) 隔离进行无毒饲养。

表 1 供试褐飞虱种群

Tab. 1 The populations of *Nilaparvata lugens* under test

种群名称	虫源地	采集时间	采集虫态
SN	黄平县旧州镇	2016-09	若虫、成虫
HP	黄平县旧州镇	2018-08	若虫、成虫
MT	湄潭县永兴镇	2018-08	若虫、成虫
HS	惠水好花红镇	2018-08	若虫、成虫

1.2 供试仪器及药剂 96% 氟啶虫胺胍原药( 湖北正兴源精细化工有限公司); 90% 茚虫威原药( 湖北正兴源精细化工有限公司); Tween-20( 天津市科密欧化学试剂有限公司); 丙酮( 重庆川东化工有限公司)。RXM 型智能人工气候箱( 宁波江南仪器厂)。

用丙酮将氟啶虫胺胍与茚虫威原药配制成  $10\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  的母液, 于  $4\ ^\circ\text{C}$  冰箱中保存备用。

1.3 供试稻苗 水稻种子( 金优 785, 贵州金农科技有限责任公司) 用营养液( Kimura B 营养液<sup>[18]</sup>, 使用蒸馏水制备) 栽培成稻苗供试。

1.4 氟啶虫胺胍和茚虫威对褐飞虱的毒力测定 实验采用稻苗浸渍法<sup>[19]</sup>。取健康且长势一致的长约 10 cm 的带根稻苗, 洗净根部, 每组 15 株, 静置晾干至表面无水痕。将母液用含 0.5% Tween-20 的蒸馏水稀释成系列浓度梯度的药液。把晾干的稻苗浸泡于各浓度的药液中, 约 30 s 后取出晾干表面药液; 用医用脱脂棉将稻苗根部包裹住并放入培养杯中, 培养杯中加入少许营养液, 以防止稻苗枯黄。用吸虫器吸取长势一致的褐飞虱 3 龄若虫, 将试虫小心放入培养杯中, 每杯 15 头, 重复 3 次, 共 45 头; 接虫后以纱布封住杯口, 防止试虫逃逸; 以含 0.5% Tween-20 的蒸馏水为对照。将培养杯放入相对湿度 89%、温度为  $(28 \pm 1)\ ^\circ\text{C}$ 、光周期 L:D = 16:8 的人工气候箱中饲养。72 h 后调查试虫死亡率, 用 0 号毛笔笔尖轻触试虫, 试虫无任何反应即视为死亡。

1.5 氟啶虫胺胍和茚虫威对褐飞虱的协同作用 组合药剂参考单剂  $LC_{50}$  值设置多个配比的系列浓度, 试验方法参照单剂毒力测定。

根据孙云沛法计算共毒系数, 评价组合药剂协同作用的可行性<sup>[20]</sup>。

共毒系数 (CTC)  $\leq 80$  为拮抗作用; 80 ~ 120 为相加作用;  $\geq 120$  为增效作用。

1.6 数据处理 使用 Execl 2010 机率值法来进行数据处理, 并计算毒力回归方程,  $LC_{50}$  值, 相关系数 (R) 和  $LC_{50}$  值及 95% 置信限。

抗性倍数的计算公式: 抗性倍数 = 田间种群的  $LC_{50}$  值 / 敏感基线的  $LC_{50}$  值;

抗性水平分级标准: 抗性倍数 5.0 倍以下为敏感; 5.1 ~ 10.0 倍为低水平抗性; 10.1 ~ 100.0 倍为中等水平抗性;  $> 100.1$  倍为高水平抗性<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与分析

2.1 褐飞虱敏感种群对氟啶虫胺胍和茚虫威的敏感性分析 以褐飞虱敏感种群作为试虫, 测得褐飞虱对氟啶虫胺胍及茚虫威的敏感基线结果( 表 2)。从表 2 可知, 褐飞虱对氟啶虫胺胍的  $LC_{50}$  较低 ( $1.83\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), 对茚虫威的  $LC_{50}$  较高 ( $17.57\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )。

表 2 氟啶虫胺胍和茚虫威对褐飞虱敏感种群的毒力

Tab. 2 Toxicity of sulfoxaflo and indoxacarb against susceptible populations of *Nilaparvata lugens*

药剂名称	种群	毒力回归方程	$LC_{50} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	95% 置信区间 / $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	相关系数 R
氟啶虫胺胍	SS	$y = 4.131\ 0 + 3.308\ 5x$	1.83	1.587\ 6 ~ 2.111\ 5	0.969\ 4
茚虫威	SS	$y = 3.815\ 1 + 0.952\ 0x$	17.57	10.783\ 8 ~ 28.615\ 4	0.948\ 6

2.2 贵州3地褐飞虱种群对氟啶虫胺脒和茚虫威的敏感性分析 从表3可知,贵州黄平、湄潭、惠水3地褐飞虱种群对氟啶虫胺脒和茚虫威的敏感性存在微弱的差异。贵州3地褐飞虱对氟啶虫胺脒和茚虫威均较为敏感,氟啶虫胺脒对黄平、湄潭、惠水褐飞虱种群的 $LC_{50}$ 分别为:8.52,3.35,3.16  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;茚虫威对黄平、湄潭、惠水褐飞虱种群的 $LC_{50}$ 分别为:59.66,43.36,21.35  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。与敏感种群相比,贵州3地褐飞虱种群对氟啶虫胺脒和茚虫威的抗性还处于敏感水平,抗性倍数分别在1.73~4.65和1.23~3.44之间。

表3 氟啶虫胺脒和茚虫威对贵州3地褐飞虱田间种群的毒力

Tab. 3 Toxicity of sulfoxaflor and indoxacarb against different populations of *Nilaparvata lugens* in Guizhou

药剂名称	种群	毒力回归方程	$LC_{50}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	95% 置信区间/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	相关系数 $R$	抗性倍数
氟啶虫胺脒	HP	$y = 3.3696 + 1.7528x$	8.52	6.5036 ~ 11.1498	0.9501	4.65
	MT	$y = 4.0345 + 1.8398x$	3.35	2.6641 ~ 4.2076	0.9898	1.83
	HS	$y = 3.9586 + 2.0843x$	3.16	2.5649 ~ 3.8919	0.9841	1.73
茚虫威	HP	$y = 1.3932 + 2.0312x$	59.66	48.9806 ~ 72.6800	0.9688	3.44
	MT	$y = 1.4012 + 2.1983x$	43.36	33.5200 ~ 52.9211	0.9927	2.50
	HS	$y = 2.2464 + 2.0713x$	21.35	15.0480 ~ 30.2897	0.9683	1.23

2.3 氟啶虫胺脒与茚虫威对褐飞虱的协同作用 氟啶虫胺脒与茚虫威协同作用结果(表4)表明:氟啶虫胺脒和茚虫威对褐飞虱(SN)的毒力存在差异, $LC_{50}$ 分别为3.70  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和46.39  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,氟啶虫胺脒对褐飞虱毒力较高。氟啶虫胺脒和茚虫威质量比为1:1,1:2,1:4,4:1时均有增效作用,共毒系数分别为186.85,160.03,129.91,173.86。其中,氟啶虫胺脒和茚虫威1:1时增效作用最为明显。

表4 氟啶虫胺脒与茚虫威对褐飞虱的协同作用

Tab. 4 Synergistic effect of sulfoxaflor and indoxacarb on *Nilaparvata lugens*

氟啶虫胺脒:茚虫威	毒力回归方程	$LC_{50}/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	95% 置信区间/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	相关系数 $R$	CTC
1:0	$y = 1.7631 + 5.7013x$	3.70	3.4072 ~ 4.0095	0.9623	
0:1	$y = 0.9685 + 2.4193x$	46.39	39.1000 ~ 55.0390	0.9318	
8:1	$y = 3.9878 + 1.6938x$	3.96	3.1145 ~ 5.0334	0.9710	104.09
5:1	$y = 3.7330 + 2.2497x$	3.66	3.0039 ~ 4.4537	0.9870	119.48
4:1	$y = 4.6751 + 0.7803x$	2.61	1.5613 ~ 4.3572	0.9105	173.86
2:1	$y = 3.6290 + 2.0114x$	4.80	3.7783 ~ 6.1093	0.9688	111.09
1:1	$y = 3.8075 + 2.1129x$	3.67	2.9254 ~ 4.5986	0.9733	186.85
1:2	$y = 3.4186 + 2.0357x$	5.98	4.9398 ~ 7.2438	0.9565	160.03
1:4	$y = 2.6191 + 2.3042x$	10.80	8.6894 ~ 13.4141	0.9528	129.91
1:5	$y = 0.7036 + 3.6697x$	14.82	13.1446 ~ 16.7023	0.9831	107.11
1:8	$y = 3.0541 + 1.4021x$	24.43	17.7810 ~ 33.5628	0.9128	83.22

### 3 讨论

本实验测定了褐飞虱敏感种群对氟啶虫胺脒和茚虫威的敏感基线:氟啶虫胺脒和茚虫威对褐飞虱3龄若虫均存在活性,氟啶虫胺脒活性较高,茚虫威活性较低, $LC_{50}$ 分别为1.83,17.57  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。WU等和LIAO等<sup>[6,16]</sup>的抗性监测结果表明,2013—2016年,我国部分稻区的褐飞虱已经对氟啶虫胺脒产生了低到中水平抗性,部分地区仍处于敏感水平。本实验中,贵州黄平、贵州湄潭、贵州惠水3个地区褐飞虱种群对氟啶虫胺脒和茚虫威的敏感性测定结果表明:褐飞虱田间种群对氟啶虫胺脒和茚虫威抗性倍数分别为1.73~4.65和1.23~3.44,均处于敏感水平,抗性倍数最小的均为惠水种群,最大的均为黄平种群。此差

异的存在可能与地区之间的用药历史和虫源有关。

目前,在已发表的研究报道及专利中,尚未发现氟啶虫胺胍和茚虫威组合防治褐飞虱的相关报道。为了更好地延长氟啶虫胺胍和茚虫威的使用寿命,提高其对褐飞虱的防治效果,笔者采用稻苗浸渍法,结合杀虫剂的不同作用机理,选择茚虫威与氟啶虫胺胍进行不同组合的敏感性测定。结果表明,在9个组合中,氟啶虫胺胍与茚虫威按质量比1:1,4:1,1:2,1:4组合后均具有增效作用,其中,以1:1组合的增效最为显著,其他组合表现为相加或拮抗作用。室内筛选出的褐飞虱抗氟啶虫胺胍种群对呋虫胺、烯啶虫胺、噻虫嗪、噻虫胺、吡虫啉和环氧虫啉都表现出了明显的交互抗性,而与氨基甲酸酯类的异丙威没有明显的交互抗性<sup>[16]</sup>。二者组合有增效作用可能与其没有交互抗性有关。

氟啶虫胺胍与茚虫威对害虫的作用机理与靶标生物都不同,2种药剂组合不仅可以提高对褐飞虱的防治效果、减少药剂用量、减少用药成本;同时,可能还能兼顾鳞翅目害虫的防治。本试验初步探讨了氟啶虫胺胍和茚虫威不同组合对褐飞虱的毒力作用,得到具有增效作用的组合,为进一步研制组合剂进行水稻褐飞虱的田间防治提供了参考材料,对于增效组合对褐飞虱的田间防治效果及增效机制还需要进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 茆国锋,蒋娜娜,莫建初. 六种植物精油对褐飞虱和稻虱缨小蜂行为的影响[J]. 植物保护学报,2018,45(5):1005-1011.
- [2] 任学祥,叶正和,陈聪,等. 哒螨灵和仲丁威对稻飞虱的联合毒力测定[J]. 农药,2015,54(3):220-222.
- [3] MIN S, LEE S W, CHOI B R, et al. Insecticide resistance monitoring and correlation analysis to select appropriate insecticides against *Nilaparvata lugens* (Stål), a migratory pest in Korea [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2014, 17(4):711-716.
- [4] 李荣玉,李明,吴小毛,等. 贵州稻区褐飞虱种群对六种杀虫剂的抗性动态[J]. 昆虫学报,2016,59(11):1232-1237.
- [5] 张帅. 2017年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议[J]. 中国植保导刊,2018,38(4):52-56.
- [6] WU S F, ZENG B, ZHENG C, et al. The evolution of insecticide resistance in the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) of China in the period 2012—2016 [J]. Scientific Reports, 2018, 8(1):4586.
- [7] ZHANG X, LIAO X, MAO K, et al. Insecticide resistance monitoring and correlation analysis of insecticides in field populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in China 2012 - 2014 [J]. Pesticide Biochemistry & Physiology, 2016, 132:13-20.
- [8] 何祖钿,梁皇英. 农药的抗药性问题(一) [J]. 山西农业科学,1990(5):34-37.
- [9] 凌炎,钟勇,韦淑丹,等. 烯啶虫胺、醚菊酯及其混剂对褐飞虱的毒力测定[J]. 南方农业学报,2011,42(8):906-909.
- [10] 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.
- [11] WING K D, SACHER M, KAGAYA Y, et al. Bioactivation and mode of action of the oxadiazine indoxacarb in insects [J]. Crop Protection, 2000, 19(8/9/10):537-545.
- [12] 华乃震. 低风险、环境友好杀虫剂茚虫威[J]. 世界农药,2019,41(1):39-44.
- [13] 王建军,董红刚. 新型高效杀虫剂茚虫威毒理学研究进展[J]. 植物保护,2009,35(3):20-22.
- [14] BABCOCK J M, GERWICK C B, HUANG J X, et al. Biological characterization of sulfoxaflor, a novel insecticide [J]. Pest Management Science, 2011, 67(3):328-334.
- [15] 王立. 氟啶虫胺胍的杀虫作用机理及亚致死剂量影响昆虫生殖的研究进展[C]//中国植物保护学会. 绿色植保与乡村振兴——中国植物保护学会2018年学术年会论文集. 中国植物保护学会. 西安:中国植物保护学会,2018.
- [16] LIAO XUN, JIN RUOHENG, ZHANG XIAOLEI, et al. Characterization of sulfoxaflor resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) [J]. Pest Management Science, 2019, 75(6):1646-1654.
- [17] 张红梅. 茚虫威亚致死剂量对褐飞虱和二化螟保幼激素和保幼激素酯酶基因影响的比较研究[D]. 扬州:扬州大学,2015.
- [18] 张国良. 施硅增强水稻对纹枯病抗性的机制研究[D]. 扬州:扬州大学,2009.

- [19] 郑茂彬,肖彩云,吴帅,等. 烯啶虫胺与哒螨灵及其组合对贵州褐飞虱的毒力与防效[J]. 中国植保导刊,2019,39(5): 63-66.
- [20] 王欢欢,张春姣,刘梦铭,等. 氟啶虫胺脒等 11 种杀虫剂对瓜蚜的毒力及协同增效作用[J]. 农药学报,2019,21(2): 181-186.

## Synergistic Effect of Sulfoxaflor and Indoxacarb on Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* ( Stål)

CAI Yongfeng<sup>1,3</sup>, XIAO Caiyun<sup>1,3</sup>, WU Shuai<sup>1,3</sup>, ZHENG Maobin<sup>1,3</sup>, LI Ming<sup>1,2,3</sup>, LI Rongyu<sup>1,2,3</sup>

( ( 1. Institute of Crop Protection, Guizhou University, Guiyang GuiZhou 550025;

2. Guizhou Key Laboratory for Agricultural Pest Management in Mountainous Region, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025;

3. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025)

**Abstract:** Laboratory toxicity of sulfoxaflor and indoxacarb was determined by rice seedling dipping method. Populations of *Nilaparvata lugens* ( Stål) collected from 3 areas in Guizhou and susceptibility population were used to determine their susceptibility to sulfoxaflor and indoxacarb. The results showed that a baseline of relative susceptibility toxicity of *N. lugens* ( Stål) to sulfoxaflor and indoxacarb were established, with  $LC_{50}$  being 1.83 mg/L and 17.57 mg · L<sup>-1</sup>, respectively. Compared with the susceptible strain of *N. lugens*, the populations collected in Guizhou were sensitive to sulfoxaflor and indoxacarb, and their resistance ratios were 1.73—4.65 and 1.23—3.44, respectively. The mixture of sulfoxaflor and indoxacarb at a mass ratio of 1:1 had the best synergistic effect on the populations of *N. lugens* ( Stål) and its co-toxicity coefficient was 186.85.

**Keywords:** *Nilaparvata lugens*( Stål); sulfoxaflor; indoxacarb; synergistic effect

( 责任编辑: 潘学峰)