

防治白背飞虱的农药复配增效配方筛选

金剑雪^{1,2}, 金道超^{1*}, 李文红², 程英², 李凤良², 曾义玲³, 刘莉³

(1. 贵州山地农业病虫害重点实验室, 贵州大学昆虫研究所, 贵阳 550025; 2. 贵州省植物保护研究所, 贵阳 550006; 3. 贵州省平塘县农村工作局, 平塘 558300)

摘要 农药复配制剂的研究对于延长新农药品种的使用寿命、缓解靶标生物的抗性、扩大防治谱、降低防治成本、提高药效和环境安全性等具有重要的意义。为筛选防治白背飞虱的农药增效复配配方, 采用稻茎浸渍法测定了 8 种农药单剂及复配剂对白背飞虱 3 龄若虫的毒力。利用共毒因子法定性筛选出 16 组共毒因子大于 20 的配比, 并对其中 15 组进一步利用共毒系数法定量筛选, 得到有增效作用的 5 组配比, 分别为烯啶虫胺与毒死蜱按 1:30 配比以及吡虫啉与异丙威分别按 7:40、7:200、7:400 和 7:1 000 配比; 其共毒系数分别为 112.5、242.1、212.4、638.1、417.7, 其中吡虫啉与异丙威按 7:400 配比具有最显著增效作用。

关键词 白背飞虱; 农药复配; 共毒因子法; 共毒系数法

中图分类号: S 482.3 **文献标识码:** B **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2017.01.037

Selection on synergetic ratio of combined insecticides to *Sogatella furcifera* (Horváth)

Jin Jianxue^{1,2}, Jin Daochao¹, Li Wenhong², Cheng Ying², Li Fengliang², Zeng Yiling³, Liu Li³

(1. The Provincial Key Laboratory for Agricultural Pest Management of Mountainous Regions, Institute of Entomology, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Guizhou Institute of Plant Protection, Guiyang 550006, China; 3. Bureau of Rural Work of Pingtang, Guizhou 558300, China)

Abstract The study on combination of insecticides are of great significance to extend the application life of new pesticides, slow down the resistance of target-organisms, expand control spectrum, reduce the control costs, improve control efficacy and enhance the environmental safety. The toxicities of eight single insecticides and their different combination to the 3rd instar nymph of *Sogatella furcifera* were determined with rice stem-dipping method under the laboratory condition. Sixteen mixtures with cotoxicity factor more than 20 were selected qualitatively by cotoxicity factor method. Among them five mixtures, including nitenpyram and chlorpyrifos with ratio of 1:30, imidacloprid and isoprocarb with ratios of 7:40, 7:200, 7:400 and 7:1 000, respectively, showed higher cotoxicity coefficient of 112.5, 242.1, 212.4, 638.1 and 417.7, respectively. Of which the mixture of imidacloprid and isoprocarb (7:400) showed the most significant synergism.

Key words *Sogatella furcifera*; combination of insecticides; cotoxicity factor method; cotoxicity coefficient method

白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 属半翅目, 飞虱科, 别名火蟥子, 火旋。其为害方式有: ①直接为害, 大量虫口直接吸食水稻汁液, 造成稻株营养成分和水分大量丧失, 被害稻田常先在田间出现“黄塘”、“穿顶”、“虱烧”, 逐渐扩大成片, 甚至全田枯死。②间接为害, 传播多种水稻病毒病。此外, 白背飞虱吸食水稻汁液的过程中还会排出大量的蜜露, 沾满

蜜露的叶片常滋生大量霉菌, 影响叶片正常的生理功能; 成虫产卵时刺穿组织, 造成大量伤口, 亦为小球菌等病菌的侵染提供了有利条件。以白背飞虱为主要传毒媒介的恶性病毒病水稻南方黑条矮缩病近年来在华南、江南、西南稻区呈发生区域扩大、危害程度加重态势, 给我国的水稻生产造成极大的损失。据不完全统计, 2009 年受害面积超过 30 万 hm^2 , 约 6 500

收稿日期: 2016-02-22 修订日期: 2016-03-31

基金项目: 贵州省农业科技攻关项目(黔科合 NY 字[2010]3064 号); 贵州省教育厅自然科学研究项目(黔教 2010011); 农业昆虫与害虫防治贵州省研究生卓越人才计划(黔教研合 ZYRC 字[2013]010)

* 通信作者 E-mail: daochoajin@126.com

hm² 水稻绝收^[1]。在华南、江南和西南东部稻区中等至偏重发生,江南局部大发生^[2],贵州也存在逐年加重的类似趋势^[3]。

化学防治是防治稻飞虱最主要的方法。由于长期大量且单一地使用化学药剂,使得稻飞虱出现严重的抗药性问题^[4-9]。据报道,白背飞虱对多种有机磷类、氨基甲酸酯类及昆虫生长调节剂类杀虫剂产生了明显的抗药性,引起药效降低,害虫再猖獗^[8,10-12]。李文红等测定了贵州省几个地区白背飞虱种群对 7 种常用杀虫剂的敏感性并进行了两年的抗药性监测,证实白背飞虱种群对吡蚜酮、噻嗪酮和吡虫啉表现出低至中等水平抗性,对噻虫嗪的敏感性最高^[13-14],预示着贵州白背飞虱的防治存在着很大的风险。2005 年和 2006 年褐飞虱大暴发,由于褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗药性导致吡虫啉防治该虫失效,水稻生产遭受严重损失。因此,我们应引以为鉴,重视白背飞虱对各种杀虫剂的敏感性变化,同时采取有效的措施预防和延缓白背飞虱产生抗药性。目前,新型药剂开发存在困难,利用现有杀虫剂的合理复配可成为延缓杀虫剂使用寿命的有效途径。

有增效作用的复配农药可以延缓害虫的抗药性,并可一药多治,病虫兼治,省工省本省时。农药混用的联合作用的评价方法主要有 Bliss 法、Sakai 公式法、Finney 法、共毒系数法(孙云沛法)、共毒因子(Mansour)法、等毒法、等效线法等。各种方法各有优点,综合以上方法,作者采用共毒因子法进行定性筛选,共毒系数法进行定量分析,等效线法设置配比相结合的方法筛选有增效活性的配方组合,以期防治白背飞虱提供更多的药剂选择,延缓单一杀虫剂的使用寿命。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 试验药剂

77.5% 敌敌畏(dichlorvos)乳油(山东大成农化有限公司),97.3% 毒死蜱(chlorpyrifos)原药(南京红太阳股份有限公司),95% 异丙威(isoprocab)原药(江苏常隆化工有限公司),97.5% 吡虫啉(imidacloprid)原药(江苏克胜集团股份有限公司),96% 吡蚜酮(pymetrozine)原药(江苏安邦电化有限公司),98.3% 噻虫嗪(thiamethoxam)原药

[先正达(苏州)作物保护有限公司],97% 烯啶虫胺(nitenpyram)原药(江苏常隆化工有限公司),97% 环氧虫啉(cycloxaprid)原药(上海生农生化制品有限公司)。

1.1.2 供试昆虫

在贵阳市花溪区青岩镇周边的水稻田中采集白背飞虱低龄若虫,在室内饲养至 3 龄,挑选整齐一致的 3 龄中后期若虫进行试验。该地区水稻田白背飞虱发生期集中于 5 月下旬至 8 月上旬,田间多使用吡虫啉、吡蚜酮进行防治,防治次数 2~3 次。

1.2 试验方法

1.2.1 供试药剂配制

称取一定量药剂用少量丙酮溶解(吡蚜酮用甲醇溶解)后倒入容量瓶,加入 10% 体积的 Triton X-100 乳化剂进行乳化,丙酮加至容量瓶的刻度,摇匀,得到母液(毒死蜱、异丙威、吡虫啉、烯啶虫胺均为 1%;环氧虫啉为 0.5%;吡蚜酮、噻虫嗪为 0.25%;敌敌畏为 77.5%)。根据所需的剂量采用等比稀释法将母液兑水稀释为 5~7 个浓度。

1.2.2 混剂配比的设置

假设经毒力测定,A、B 两种单剂的致死中浓度分别为 a、b,用共毒因子法评价 A 与 B 混合后的增效作用。若选择 5 个配比,则这 5 个配比的设置根据等效线法的相加作用线的六等分点,可设置为 a:5b、a:2b、a:b、2a:b、5a:b。具体配制方法为:先配制两种单剂的致死中浓度药液,再按体积比 1:5、1:2、1:1、2:1、5:1 混合即得不同配比浓度药液,这 5 个配比的浓度分别为(a+5b)/6、(a+2b)/3、(a+b)/2、(2a+b)/3、(5a+b)/6。

1.2.3 单剂与混剂致死中浓度的测定

采用稻茎浸渍法:选取健壮一致的分蘖期水稻苗,连根挖取,洗净,剪成合适长度的带根稻茎,于阴凉处晾至表面无水痕。将准备好的带根稻茎在配制好的药液中浸渍 30 s,取出晾干,用湿脱脂棉包住根部保湿,置于小口容器中。用吸虫器将试虫移入小口容器中,每个容器 20 头试虫,管口用纱布罩住,每个浓度重复 3 次。置于温度(25±1)℃,光周期 L//D=16 h//8 h,相对湿度

70%~80%的人工气候箱内进行饲养观察。单剂毒死蜱、异丙威处理 48 h 后检查死亡情况,其余 5 种单剂处理 96 h 后检查。各复配组合处理 96 h 后检查死亡情况。

1.2.4 数据处理方法

采用 Microsoft Excel 2010 以及 DPS V 8.01 软件进行数据处理,得出毒力直线回归方程、LC₅₀、95%置信限、卡方 χ^2 、相关系数 r 等。

1.2.5 增效作用的评价

在测定了供试昆虫对各单剂毒力反应的基础上,利用共毒因子(Mansour)法^[15]测定各组合的增效作用。共毒因子>20 表示有增效作用;≤-20 表示有拮抗作用;-20 至 20 之间表示有相加作用。根据孙云沛等^[16]提出的衡量标准:若共毒系数显著

大于 100 为增效作用;接近 100 为相加作用;显著小于 100 (80 以下)为拮抗作用来综合评价杀虫剂复配剂是否有增效作用(计算共毒系数时使用复配组合中 LC₅₀ 值较大的单剂为标准杀虫剂)。

2 结果与分析

2.1 单剂毒力测定结果

8 种杀虫剂单剂的毒力测定结果见表 1。其中白背飞虱对烯啶虫胺、吡虫啉、噻虫嗪相对敏感,LC₅₀ 值分别为 0.452、0.519、0.579 mg/L;其次为毒死蜱、环氧虫啉,LC₅₀ 值分别为 1.546、2.306 mg/L;对吡蚜酮、敌敌畏较不敏感,LC₅₀ 分别为 6.355、6.888 mg/L,相对而言,对异丙威最不敏感,LC₅₀ 值为 12.003 mg/L。

表 1 8 种杀虫剂单剂对白背飞虱 3 龄若虫抗药性监测结果

Table 1 Toxicities of eight kinds of insecticides to the 3rd instar nymph of rice white-back planthopper

药剂 Insecticide	回归方程 Regression of LCP line	LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	95%置信限/ mg · L ⁻¹ 95% Fiducial level	相关系数(r) Correlation coefficient	卡方值 χ^2 Chi-square
噻虫嗪 thiamethoxam	$y=5.273\ 6+1.152\ 4x$	0.579	0.359~0.957	0.992 9	1.073 7
吡蚜酮 pymetrozine	$y=3.770\ 3+1.531\ 2x$	6.355	4.239~10.002	0.999 2	0.091 6
敌敌畏 dichlorvos	$y=3.235\ 5+2.105\ 4x$	6.888	5.260~9.812	0.993 0	0.490 0
毒死蜱 chlorpyrifos	$y=4.724\ 9+1.454\ 7x$	1.546	0.687~2.292	0.966 4	1.246 1
异丙威 isoproc carb	$y=2.843\ 2+1.998\ 4x$	12.003	8.473~16.280	0.997 8	0.190 9
吡虫啉 imidacloprid	$y=5.324\ 6+1.139\ 9x$	0.519	0.318~0.852	0.996 1	0.418 4
环氧虫啉 cycloxaprid	$y=4.584\ 7+1.144\ 7x$	2.306	1.358~5.147	0.996 5	0.308 5
烯啶虫胺 nitenpyram	$y=5.288\ 7+0.836\ 6x$	0.452	0.162~0.918	0.945 4	3.040 9

2.2 共毒因子法定性筛选

采用共毒因子法测定得到的各组合的增效作用见表 2。其中共毒因子大于 20 的组合共 16 组,分别为烯啶虫胺+毒死蜱的 1:15、1:30、1:75;吡蚜酮+敌敌畏的 5:7、5:14、1:7;环氧虫啉+异丙威的 1:40、1:100;环氧虫啉+吡蚜酮的 1:1、1:5;噻虫嗪+吡蚜酮的 3:25;吡虫啉+异丙威的 7:40、7:100、7:200、7:400、7:1 000。

2.3 共毒系数法定量筛选

将共毒因子法定性筛选出的除噻虫嗪+吡蚜酮 3:25 外的其他 15 组配比进一步利用共毒系数法进行定量分析,最终确定 5 组配比有增效作用(表 3~4),分别为烯啶虫胺+毒死蜱的 1:30;吡虫啉+异丙威的 7:40、7:200、7:400、7:1 000;它们的共毒系

数分别为 112.5、242.1、212.4、638.1、417.7,增效作用最明显的为吡虫啉+异丙威 7:400,其次为吡虫啉+异丙威 7:1 000。再次为吡虫啉+异丙威 7:40、7:200,而烯啶虫胺+毒死蜱 1:30 有一定的增效作用。

3 讨论

从防治白背飞虱几种杀虫剂的复配效果来看,吡虫啉+异丙威增效作用最明显,为最佳增效组合。最优增效配比为 7:400,共毒系数为 638.1。根据本研究结果,可将吡虫啉与异丙威、烯啶虫胺与毒死蜱的复配作为防治白背飞虱的参考品种,但应科学合理地使用,避免长期或单一的连续应用,防止抗药性的产生。

表 2 各复配组合对白背飞虱 3 龄若虫的共毒因子¹⁾

Table 2 Cotoxicity factor test of combinations on the 3rd instar nymph of rice white-back planthopper

复配组合 Combination A+B	配比 Ratio	查自 <i>LC-P</i> 线死亡率/% Mortality derived from <i>LC-P</i> line		预期死 亡率/% Expected mortality	48 h		96 h	
		A	B		观察死 亡率/% Observed mortality	共毒因子 Cotoxicity factor	观察死 亡率/% Observed mortality	共毒因子 Cotoxicity factor
烯啶虫胺+毒死蜱 nitenpyram+chlorpyrifos	1:3	50.96	4.81	55.77	26.67	—52.18	36.84	—33.94
	2:15	40.82	16.25	57.07	16.67	—70.80	57.89	1.45
	1:15	28.47	27.57	56.04	66.67	18.96	75.44	34.62
	1:30	14.79	37.59	52.38	70.00	33.64	89.47	70.82
	1:75	3.14	46.11	49.25	45.00	—8.63	63.16	28.24
烯啶虫胺+噻虫嗪 nitenpyram+thiamethoxam	10:3	50.96	6.13	57.09	6.67	—88.32	54.39	—4.74
	4:3	40.82	17.94	58.76	6.67	—88.65	12.28	—79.10
	2:3	28.47	29.19	57.66	26.67	—53.75	43.86	—23.93
	1:3	14.79	38.55	53.34	23.33	—56.26	54.39	1.96
	2:15	3.14	46.58	49.72	23.33	—53.07	40.35	—18.84
吡蚜酮+敌敌畏 pymetrozine+dichlorvos	25:7	44.65	5.23	49.88	26.67	—46.54	43.86	—12.07
	10:7	37.72	16.11	53.83	26.67	—50.46	29.82	—44.59
	5:7	29.46	26.79	56.25	50.00	—11.11	68.42	21.64
	5:14	19.4	36.09	55.49	73.33	32.16	78.95	42.27
	1:7	7.78	43.98	51.76	60.00	15.92	71.93	38.97
环氧虫啉+异丙威 cycloxaprid+isoprocarb	1:4	43.38	1.27	44.65	13.33	—70.14	40.35	—9.63
	1:10	37.39	8.34	45.73	30.00	—34.40	47.37	3.58
	1:20	27.92	18.74	46.66	40.00	—14.27	47.37	1.52
	1:40	20.83	29.64	50.47	63.33	25.49	71.93	42.52
	1:100	9.65	39.68	49.33	73.33	48.66	78.95	60.04
环氧虫啉+敌敌畏 cycloxaprid+dichlorvos	5:7	43.38	5.23	48.61	36.67	—24.57	54.39	11.88
	2:7	37.39	16.11	53.50	10.00	—81.31	54.39	1.66
	1:7	27.92	26.79	54.71	26.67	—51.26	19.30	—64.73
	1:14	20.83	36.09	56.92	20.00	—64.86	61.40	7.88
	1:35	9.65	43.98	53.63	40.00	—25.41	33.33	—37.85
环氧虫啉+吡蚜酮 cycloxaprid+pymetrozine	1:1	43.38	7.78	51.16	40.00	—21.81	85.96	68.03
	2:5	37.39	19.4	56.79	26.67	—53.04	57.89	1.95
	1:5	27.92	29.46	57.38	46.67	—18.67	96.49	68.16
	1:10	20.83	37.72	58.55	26.67	—54.45	54.39	—7.11
	1:25	9.65	44.65	54.30	6.67	—87.72	33.33	—38.61
噻虫嗪+吡蚜酮 thiamethoxam+pymetrozine	3:10	46.58	7.78	54.36	3.33	—93.87	54.39	0.05
	3:25	38.55	19.4	57.95	20.00	—65.49	71.93	24.12
	3:50	29.19	29.46	58.65	30.00	—48.85	50.88	—13.25
	3:100	17.94	37.72	55.66	23.33	—58.08	50.88	—8.59
	3:250	6.13	44.65	50.78	26.67	—47.49	40.35	—20.54
吡虫啉+异丙威 imidacloprid+isoprocarb	7:40	47.43	1.27	48.70	46.67	—4.18	82.46	69.31
	7:100	42.92	8.34	51.26	63.33	23.55	82.46	60.86
	7:200	37.34	18.74	56.08	40.00	—28.67	68.42	22.01
	7:400	29.98	29.64	59.62	66.67	11.82	75.44	26.53
	7:1 000	18.97	39.68	58.65	76.67	30.72	82.46	40.59

1) 其中烯啶虫胺、吡虫啉、噻虫嗪、毒死蜱、环氧虫啉、吡蚜酮、敌敌畏、异丙威的配制浓度分别为 0.5、0.5、0.6、1.5、2.0、6.0、7.0、12.0 mg/L。
Concentrations of nitenpyram, imidacloprid, thiamethoxam, chlorpyrifos, cycloxaprid, pymetrozine, dichlorvos and isoprocarb were 0.5, 0.5, 0.6, 1.5, 2.0, 6.0, 7.0, 12.0 mg/L, respectively.

表 3 不同杀虫剂组合对水稻白背飞虱 3 龄若虫的毒力

Table 3 Toxicities of combinations to the 3rd instar nymph of rice white-back planthopper

复配组合 Combination	配比 Ratio	回归方程 Regression of <i>LC</i> - <i>P</i> line	LC ₅₀ / mg · L ⁻¹	95%置信限/ mg · L ⁻¹ 95% Fiducial level	相关系数(<i>r</i>) Correlation coefficient	卡方值 χ^2 Chi-square
烯啶虫胺+毒死蜱 nitenpyram+chlorpyrifos	1:15	$y=4.3428+2.3767x$	1.890	1.447~2.641	0.9982	0.1769
	1:30	$y=4.9108+0.8482x$	1.274	0.636~3.211	0.9388	5.8739
	1:75	$y=3.7957+2.4956x$	3.038	2.336~3.957	0.9912	1.0282
吡蚜酮+敌敌畏 pymetrozine+dichlorvos	5:7	$y=2.9139+1.9617x$	11.572	8.595~18.068	0.9985	0.1021
	5:14	$y=2.4698+2.6717x$	8.852	6.997~11.169	0.9714	2.6988
	1:7	$y=3.1412+1.7693x$	11.236	7.983~17.977	0.9644	3.2972
环氧虫啉+异丙威 cycloxaprid+isoprocarb	1:40	$y=2.4455+1.9979x$	18.993	13.705~34.635	0.9984	0.0985
	1:100	$y=1.5203+2.5477x$	23.219	18.135~30.757	0.9509	5.2083
环氧虫啉+吡蚜酮 cycloxaprid+pymetrozine	1:1	$y=4.5507+0.7352x$	4.084	2.058~10.728	0.9926	0.4883
	1:5	$y=4.0898+0.7187x$	18.465	7.555~89.048	0.9975	0.1385
吡虫啉+异丙威 imidacloprid+isoprocarb	7:40	$y=4.9388+0.9833x$	1.154	0.641~2.865	0.9898	0.6773
	7:100	$y=4.3678+0.9084x$	4.966	2.542~12.368	0.9441	5.5394
	7:200	$y=4.4284+1.1216x$	3.233	1.864~6.311	0.9916	0.8121
	7:400	$y=4.8702+0.9656x$	1.363	0.707~2.901	0.9940	0.7955
	7:1000	$y=4.6780+0.8124x$	2.491	1.140~5.602	0.9822	2.0402

表 4 各复配组合不同配比对水稻白背飞虱 3 龄若虫的共毒系数测定

Table 4 Cotoxicity coefficient test of different ratio of several insecticides on the 3rd instar nymph of rice white-back planthopper

复配组合 Combination	配比 Ratio	混剂实测毒力指数 Actual toxicity index	混剂理论毒力指数 Theoretical toxicity index	共毒系数 Cotoxicity coefficient
烯啶虫胺+毒死蜱 nitenpyram+chlorpyrifos	1:15	81.7701	115.1325	71.0
	1:30	121.3361	107.8103	112.5
	1:75	50.8805	103.1858	49.3
吡虫啉+异丙威 imidacloprid+isoprocarb	7:40	1040.0139	429.5478	242.1
	7:100	241.6996	244.7547	98.8
	7:200	371.2704	174.8249	212.4
	7:400	880.8748	138.0559	638.1
	7:1000	481.9047	115.3811	417.7
吡蚜酮+敌敌畏 pymetrozine+dichlorvos	5:7	59.5235	103.4946	57.5
	5:14	77.8138	102.2071	76.1
	1:7	61.3051	101.0484	60.7
环氧虫啉+异丙威 cycloxaprid+isoprocarb	1:40	63.1966	110.2564	57.3
	1:100	51.6947	104.1635	49.6
环氧虫啉+吡蚜酮 cycloxaprid+pymetrozine	1:1	155.6121	187.8210	82.9
	1:5	34.4185	129.2737	26.6

作者用共毒因子法定性筛选过程中出现共毒因子大于 20 的 16 个组合,其中有部分配比,共毒因子是明显大于 20 的,但共毒系数的定量筛选出现完全不一样的结果。比如:环氧虫啉+吡蚜酮的 1:1、1:5 的共毒因子为 68.03、68.16,显著大于 20,如果单独使用该方法来评价两者的增效作用,那两者按 1:1、1:5 比例复配是有增效作用的。但用共毒系数

法定量分析后,它们的共毒系数分别为 82.9、26.6,两者均明显小于 100,不但没有增效作用,反而是拮抗作用。两种不同的农药混配,在某些配比附近增效作用很明显,而在其他配比时增效作用又很弱,比如本研究中吡虫啉与异丙威 7:40、7:200 均有增效作用,但 7:100 没有增效作用。因此,在进行复配配方筛选时,应考虑包含更多的复配组合,增加更多

的混配比例间隔,以期发掘更多的增效配方组合。当然,复配农药增效作用的筛选只是确定一个好的复配农药的第一步,这之后还要进行剂型筛选、田间药效试验、毒性试验、经济成本核算以及残留试验等,经过综合分析后才能确定其应用价值。但进行复配增效作用的定性定量筛选仍然是一项必不可少的工作。

当然,使用化学药剂防治白背飞虱造成抗药性产生和发展的因素很多,既有外因—杀虫剂使用不当,也有内因—害虫自身遗传学、生物学等因素,但杀虫剂的不当使用是加速抗药性发展的重要原因。解决的办法之一就是合理使用杀虫剂,以降低农药对害虫的选择压,这是许多对策的中心问题。但是水稻飞虱是处在一个大的生态系统中,受到很多外界因素的影响,如营养因素、气候因素、天敌因素和人类生产活动等的影响,所以在防治稻飞虱时应该采取综合防治措施^[17-18]。许多杀虫剂的使用技术如混用、轮用和镶嵌式施药方式,已经被用来治理稻飞虱抗药性的发展^[19]。但是由于田间实际情况极为复杂,这些使用技术并不能在实际使用时都能采用,且一些学者认为这并不能从根本上解决害虫抗药性问题,因此应通过害虫的综合治理来限制杀虫剂的使用,这比发展杀虫剂的使用技术可能更加有效^[18]。然而作者认为,在一定阶段内,发展和应用杀虫剂的增效复配等实用技术,仍然不失为在一定程度上减缓害虫抗药性发展的有效途径之一。

参考文献

- [1] 周国辉,张曙光,邹寿发,等. 水稻新病害南方水稻黑条矮缩病发生特点及危害趋势分析[J]. 植物保护, 2010, 36(2): 144 - 146.
- [2] 全国农业技术推广服务中心病虫害测报处. 2012 年全国农作物重大病虫害发生趋势预报[EB/OL]. http://www.natsec.gov.cn/Html/2012_04_20/28092_151760_2012_04_20_224038.html, 2012-4-20.
- [3] 全国农业技术推广服务中心病虫害测报处. 中晚稻主要病虫害发生趋势预报[EB/OL]. http://www.natsec.gov.cn/Html/2014_07_18/28092_151760_2014_07_18_342874.html, 2014-7-18.
- [4] 程家安,祝增荣. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析[J]. 植物保护, 2006, 32(4): 1 - 4.
- [5] 刘泽文,董钊,王荫长,等. 安庆地区褐飞虱、白背飞虱抗药性监测[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(4): 488 - 489.
- [6] 刘泽文,王荫长,韩召军,等. 两种稻飞虱对杀虫剂的敏感性比较[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(2): 29 - 32.
- [7] 张存政,刘贤进,顾正远,等. 褐飞虱生物型监测及抗药性初析[J]. 江苏农业科学, 2002(1): 41 - 43.
- [8] 唐建锋. 贵州稻飞虱抗药性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2006.
- [9] 唐建锋,陈祥盛,周华梅. 贵州省稻飞虱抗药性初步研究[J]. 中国植保导刊, 2008, 28(4): 36 - 38.
- [10] 姚洪渭,叶恭银,程家安. 亚洲地区稻飞虱抗药性研究进展[J]. 农药, 1998, 37(9): 6 - 11.
- [11] Su Jianya, Wang Zhiwei, Zhang Kai, et al. Status of insecticide resistance of the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae)[J]. Florida Entomologist, 2013, 96(3): 948 - 956.
- [12] Zhang Kai, Zhang Wei, Zhang Shuai, et al. Susceptibility of *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae) to six insecticides in China [J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 107(5): 1916 - 1922.
- [13] 李文红,程英,金剑雪,等. 贵州白背飞虱对 7 种杀虫剂的敏感性测定[J]. 农药, 2013, 52(3): 217 - 218.
- [14] 李文红,李凤良,金剑雪,等. 近两年贵州省白背飞虱的抗药性监测[J]. 植物保护, 2015, 41(6): 199 - 204.
- [15] Mansour N A, Eldefrawi M E, Topozada A, et al. Toxicological studies on the Egyptian cotton leafworm, *Prodenia litura*. VI. Potentiation and antagonism of organophosphorus and carbamate insecticides[J]. Journal of Economic Entomology, 1966, 59(2): 307 - 311.
- [16] Sun Yunpei, Johnson E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies [J]. Journal of Economic Entomology, 1960, 53: 887 - 892.
- [17] 赵修复. 害虫防治展望的我见[J]. 福建农学院学报, 1981(1): 1 - 6.
- [18] 范凯华. 白背飞虱抗药性监测及有效药剂的筛选[D]. 南京: 南京农业大学, 2009.
- [19] 唐振华. 昆虫抗药性及其治理[M]. 北京: 农业出版社, 1993.

(责任编辑: 王 音)