

熊战之,汪立新,付佑胜,等. 2015年苏北地区稻飞虱的抗药性监测及治理[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):191-195.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.050

2015年苏北地区稻飞虱的抗药性监测及治理

熊战之¹,汪立新¹,付佑胜¹,刘伟中¹,王宏宝¹,李茹¹,高聪芬²,张凯¹

(1. 江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所植物保护中心,江苏淮安 223001;2. 南京农业大学植物保护学院,江苏南京 210095)

摘要:褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱是水稻和小麦上重要的害虫,化学防治是目前农业生产上的主要防治措施,因而了解其抗性动态非常重要。对江苏苏北5市(淮安、宿迁、盐城、连云港和徐州)10个种群的飞虱进行了抗药性监测;此外,在室内筛选出了对白背飞虱具有增效作用的复配配方。结果显示:褐飞虱对吡虫啉、噻虫嗪和噻嗪酮产生高至极高水平抗性,而对烯啶虫胺则处于敏感至敏感下降阶段;褐飞虱对毒死蜱产生低水平抗性、中等水平抗性和高水平抗性分别占20%、70%、10%。白背飞虱对吡虫啉、噻嗪酮和毒死蜱的抗性存在地域性差异,而对噻虫嗪和异丙威则较敏感。灰飞虱种群对吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺、吡蚜酮和异丙威均处于敏感状态阶段,对毒死蜱处于中等水平抗性。此外,室内对白背飞虱的复配筛选研究表明,丁烯氟虫腈和噻嗪酮有效成分比例为1:5、1:10、1:15、1:20时,具有显著增效作用。

关键词:褐飞虱;白背飞虱;灰飞虱;抗性;复配

中图分类号: S435.112+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0191-05

2016年中央一号文件将确保粮食等重要农产品有效供给、实现绿色发展和能源可持续利用、加快农业现代化作为主要目标;水稻和小麦作为江苏省最重要的两大粮食作物,分别占全省粮食总面积的40%和38%^[1];近年来,苏北地区(淮安、盐城、宿迁、徐州和连云港)成为江苏省粮食生产大市,对江苏的粮食贡献超过50%^[2]。

飞虱,属于半翅目(Hemiptera)、飞虱科(Delphacidae),目前是我国水稻和小麦上重要的害虫之一^[3],其中褐飞虱(*Nilaparvata lugens* Stål)和白背飞虱(*Sogatella furcifera* Horvath)主要为害水稻,而灰飞虱(*Laodelphax striatellus* Fallén)不仅在水稻前期危害水稻,还可以危害小麦^[4]。3种飞虱均可以通过取食、产卵和传毒危害^[5-9]。褐飞虱在中国每年发生面积为1300万~2000万hm²,约占全国水稻面积的50%,年均损失稻谷10亿多kg。1987年和1991年褐飞虱在我国大部分稻区特大发生,危害面积高达2300万hm²^[10-11];白背飞虱

和褐飞虱都属于迁飞性害虫,其发生规律有很多相似之处,但对水稻产量的影响有着各自的特点^[12]。由于水稻一小麦的种植方式,使得灰飞虱的数量也急速上升^[12]。一直以来,生产上主要以化学药剂对其进行防治^[13],主要包括吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺、毒死蜱、噻嗪酮、异丙威、吡蚜酮等,但是连续、大量、不合理使用化学药剂使得飞虱对很多药剂产生了抗性^[14-19],而飞虱的抗药性却是其大发生的一个重要原因^[20]。

本研究首次监测了苏北5市10个种群的稻飞虱对常规药剂的抗性,如吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺、毒死蜱、噻嗪酮、异丙威、吡蚜酮等,掌握了苏北地区稻飞虱的抗性水平,同时在室内筛选出具有增效作用的农药复配配方,为综合防治提供理论基础和现实方案。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

于2015年5—9月采集江苏苏北5市的灰飞虱、白背飞虱和褐飞虱成虫或若虫,其中每市设2个点,共10个种群(表1);用于复配测定的白背飞虱于2015年采自淮安金湖;采集的灰飞虱在室内不接触任何药剂,用武育梗稻苗进行饲养,白背飞虱和褐飞虱用籼稻饲养,温度为(26±1)℃,光—暗周期为16h—8h,并选取F₁代3龄若虫进行室内毒力测定。

1.2 供试药剂

选取原药作为室内测定飞虱毒力的药剂(表2);供试原

药,2006,45(10):655-659。

[4]沙国栋. 设施栽培中抑制病害发生的技术[J]. 长江蔬菜,2000(5):34-35。

[5]Levy S B, Marshall B. Antibacterial resistance worldwide: causes, challenges and responses[J]. Nature Medicine,2004,10(12):122-129。

[6]孙厚权,崔佳. 我国食品市场准入制度研究[J]. 法制与社会,2009(1):52-53。

收稿日期:2016-04-13

基金项目:江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所所长基金(编号:HNY201406)。

作者简介:熊战之(1979—),男,江苏淮安人,助理研究员,主要从事杀虫剂与除草剂的抗药性监测及治理研究。E-mail:zhangkai.2007@163.com。汪立新为共同第一作者。

通信作者:张凯,主要从事杀虫剂毒理与抗药性研究。Tel:(0517)83668251;E-mail:841731768@qq.com。

参考文献:

- [1]朱国仁,李宝聚. 设施蔬菜产业可持续发展的病虫害防治对策[J]. 中国蔬菜,2000(增刊1):20-25。
[2]胡金祥. 蔬菜清洁生产技术体系[J]. 华东农业发展研究,2003(增刊1):31-35。
[3]祁之秋,王建新,陈长军,等. 现代杀菌剂抗性研究进展[J]. 农

药以丙酮作溶剂,加 100 g/L 乳化剂 TritonX-100 加工成乳油,供测定用。

1.3 试验方法

褐飞虱和白背飞虱的毒力测定选用稻茎浸渍法^[21];连根拔出健壮的分蘖期至孕穗期稻茎,洗涤后剪成约 10 cm 长的带根稻茎,2~3 株 1 组,于阴凉处晾至表面无水痕。用自来

水将供试药剂按等比稀释成 5~6 个浓度,将稻茎分别在不同浓度的药液中浸 30 s,取出晾干后,放入培养杯,每杯吸入 3 龄中期若虫 15 头,每浓度重复 3 次,每浓度共 45 头,用含 0.1% 曲拉通的水作为对照。接虫后将培养杯放入温度为 (26±1) °C,光暗周期为 16 h—8 h 的培养箱。

表 1 2015 年苏北 5 市稻飞虱采集信息

采集地点	褐飞虱		白背飞虱		灰飞虱	
	采集日期(月-日)	虫龄	采集日期(月-日)	虫龄	采集日期(月-日)	虫龄
淮阴	08-29	若虫	08-20	若虫	05-15	若虫、成虫
洪泽	08-29	若虫	08-20	若虫	05-16	若虫、成虫
沭阳	09-04	若虫、成虫	08-12	若虫	05-20	成虫
泗洪	09-04	若虫	08-23	若虫	05-20	成虫
大丰	09-06	若虫	08-15	若虫	05-23	若虫
东台	09-06	若虫	08-15	若虫	05-23	若虫
灌云	09-10	若虫、成虫	08-26	若虫	05-26	若虫
灌南	09-08	若虫、成虫	08-26	若虫	05-26	若虫
睢宁	09-01	若虫	08-28	若虫、成虫	05-18	成虫
邳州	09-12	若虫	09-08	若虫	05-28	成虫

表 2 药剂信息

原药	生产厂家
95.0% 烯啶虫胺原药	江苏南通江山农药化工股份有限公司
95.8% 吡虫啉原药	河北威远生物化工股份有限公司
95.0% 噻虫嗪原药	先正达(中国)投资有限公司
97.0% 毒死蜱原药	江苏南通江山农药化工股份有限公司
97.5% 异丙威原药	江苏常隆化工有限公司
98.2% 噻嗪酮原药	江苏常隆化工有限公司
95.0% 吡蚜酮原药	南京艾津化工有限责任公司
90.0% 丁烯氟虫腓原药	大连瑞泽农药股份有限公司

灰飞虱毒力测定采用稻苗浸渍法^[22]:将配制的乳油用水等比稀释配制系列浓度,每个试验设 5 个浓度,以清水处理作对照。将 6 d 龄武育梗 3 号稻苗 30 株连根一起在系列浓度的药液中浸 10 s,每个浓度重复 3 次,取出沥至无液体滴下后置于垫有滤纸的一次性塑料杯中,30 min 后接入 3 龄中期若虫 15 头,每处理共 45 头,然后用保鲜膜封口并用 3 号昆虫针扎孔。接虫后的培养杯放置于 (26±1) °C、湿度 (70±10)%、光—暗周期 16 h—8 h 的恒温光照培养箱中。毒死蜱和异丙威 48 h 后检查结果;吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺、噻嗪酮处理 96 h 后检查结果;吡蚜酮处理 120 h 后检查结果。

1.4 数据处理

采用 PoloPlus 软件计算 LC_{50} 值及其 95% 置信限,以 LC_{50} 的 95% 置信限不重叠作为判断毒力差异显著的标准^[23]。

抗性倍数 (RR) = 所测种群的 LC_{50} /敏感种群 LC_{50} ;抗性水平标准为:抗性倍数 $RR \leq 3$ 为敏感, $3.1 < RR \leq 5$ 为敏感下降, $5.1 < RR \leq 10$ 为低水平抗性, $10.1 < RR \leq 40$ 为中等水平抗性, $40.1 < RR \leq 160$ 为高水平抗性, $RR > 160$ 为极高水平抗性^[24]。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱对常用药剂的敏感性

2015 年苏北 5 市 10 个褐飞虱种群对常用药剂的抗性见表 3。所监测褐飞虱种群对吡虫啉均处于极高水平抗性;对噻虫嗪处于高水平至极高水平抗性,其中泗阳和灌南的褐飞

虱种群抗性倍数分别达到 296.2 倍和 165.0 倍;对烯啶虫胺处于敏感至敏感性下降阶段 ($RR < 5$);20% 的褐飞虱种群对噻嗪酮处于高水平抗性,80% 的褐飞虱种群对噻嗪酮处于极高水平抗性;褐飞虱对毒死蜱的抗性体现出地域差异,睢宁和东台褐飞虱种群对毒死蜱处于低水平抗性,洪泽褐飞虱种群对毒死蜱产生高水平抗性 ($RR = 61.6$),而其余各种群均处于中等水平抗性。由于缺少敏感基线,褐飞虱种群对异丙威的 LC_{50} 处于 8.043~33.198 mg/L 之间。

2.2 白背飞虱对常用药剂的敏感性

2015 年苏北 5 市 10 个白背飞虱种群对常用药剂的抗性见表 4。对吡虫啉处于低水平抗性、敏感性下降、敏感的白背飞虱分别占 50%、20% 和 30%;所监测白背飞虱种群对噻虫嗪和异丙威均处于敏感状态 ($RR \leq 3$),且对烯啶虫胺的 LC_{50} 处于 0.083~0.241 mg/L 之间,显示出烯啶虫胺对白背飞虱具有较高的毒力;灌云和灌南的白背飞虱种群对噻嗪酮处于低水平抗性,其余均为中等水平抗性,占所测种群的 80%;而对毒死蜱的敏感性存在较大差异,其中处于敏感、敏感性下降、低水平抗性、高水平抗性分别占 10%、10%、10%、70%。

2.3 灰飞虱对常用药剂的敏感性

2015 年苏北 5 市 10 个灰飞虱种群对常用药剂的抗性见表 5。所监测的灰飞虱种群对吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺、吡蚜酮和异丙威均处于敏感状态阶段 ($RR \leq 3$),对毒死蜱处于中等水平抗性 ($10.1 < RR \leq 40$)。

2.4 防治白背飞虱复配药剂的室内筛选

从表 6 中可以看出,在不同的比例混配中,其共毒系数均大于 120,表现出一定的增效作用,其中丁烯氟虫腓:噻嗪酮有效成分比例为 1:15 时增效作用最明显,共毒系数达到 303.595;其次为丁烯氟虫腓:噻嗪酮有效成分比例为 1:20 时共毒系数为 266.979。室内条件下丁烯氟虫腓、噻嗪酮 2 种药剂不同配比的试验结果表明,按有效成分比例为 1:5、1:10、1:15、1:20 时,对白背飞虱 3 龄若虫均表现出较强的增效作用,其中以二者有效成分比例为 1:15 与 1:20 时增效效果最好。

表3 褐飞虱对常用药剂的抗性监测

种群	吡虫啉		噻虫嗪		烯啶虫胺		噻嗪酮		毒死蜱		异丙威	
	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR
淮阴	217.176 (169.274~277.642)	2 714.7	14.914 (12.048~18.343)	135.6	0.937 (0.752~1.153)	2.0	43.898 (34.604~55.830)	627.1	16.374 (10.733~23.778)	39.9	8.043 (6.410~9.995)	-
洪泽	218.162 (167.110~284.479)	2 727.0	7.905 (5.948~10.385)	71.9	0.940 (0.773~1.129)	2.0	7.181 (5.878~8.694)	102.6	25.263 (16.418~37.735)	61.6	9.582 (7.191~12.947)	-
沭阳	187.654 (148.052~234.327)	2 345.7	15.497 (12.248~19.147)	140.9	0.875 (0.703~1.070)	1.9	9.887 (6.633~14.116)	141.2	8.425 (6.759~10.475)	20.5	14.280 (11.570~17.357)	-
泗阳	227.382 (174.459~297.407)	2 842.3	32.582 (25.471~43.120)	296.2	0.689 (0.554~0.837)	1.5	15.116 (12.463~18.199)	215.9	4.729 (3.736~6.035)	11.5	12.684 (10.282~15.368)	~
大丰	157.690 (126.308~192.837)	1 971.1	20.189 (16.182~24.912)	183.5	1.239 (0.789~1.857)	2.6	17.434 (14.148~21.246)	249.1	7.122 (4.252~11.328)	17.4	15.923 (12.564~19.730)	~
东台	158.430 (122.855~198.992)	1 980.4	7.342 (5.840~9.094)	66.7	0.876 (0.706~1.069)	1.9	16.571 (13.640~19.908)	236.7	4.038 (3.346~4.844)	9.8	26.818 (20.959~34.863)	-
灌云	178.870 (134.978~231.970)	2 235.9	10.669 (8.559~13.090)	97.0	0.987 (0.795~1.212)	2.1	13.549 (8.941~19.651)	193.6	6.216 (4.938~7.677)	15.2	33.198 (26.597~40.659)	-
灌南	170.983 (104.547~259.584)	2 137.3	18.147 (14.707~22.064)	165.0	0.556 (0.360~0.825)	1.2	24.427 (20.773~28.443)	349.0	5.668 (3.090~8.923)	13.8	28.000 (21.900~34.720)	-
睢宁	183.034 (141.175~233.239)	2 287.9	16.353 (13.329~19.826)	148.7	1.064 (0.730~1.478)	3.4	8.238 (6.742~10.028)	117.7	3.968 (3.254~4.814)	9.7	25.432 (20.286~31.440)	-
邳州	197.592 (155.014~249.229)	2 469.9	15.037 (12.185~18.319)	136.7	1.258 (0.997~1.595)	2.7	7.388 (4.617~11.386)	105.5	11.056 (6.660~17.629)	27.0	28.764 (22.489~36.457)	-

注:RR:抗性倍数=田间种群 LC₅₀/敏感种群的 LC₅₀(敏感基线参照霍佐萃 2011 年南京农业大学硕士学位论文^[25]); -:由于缺少敏感基线,因此无法得出抗性倍数。

表4 白背飞虱对常用药剂的抗药性监测

种群	吡虫啉		噻虫嗪		烯啶虫胺		噻嗪酮		毒死蜱		异丙威	
	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR
淮阴	1.078 (0.865~1.366)	9.9	0.190 (0.149~0.237)	2.0	0.114 (0.078~0.163)	-	1.196 (0.947~1.490)	27.2	6.882 (5.398~8.641)	29.2	5.734 (4.643~6.928)	0.4
洪泽	0.920 (0.731~1.164)	8.4	0.158 (0.120~0.215)	1.6	0.129 (0.103~0.161)	-	1.074 (0.855~1.325)	24.4	6.694 (5.407~8.183)	28.4	11.428 (7.456~16.748)	0.7
沭阳	0.348 (~0.287~0.420)	3.2	0.125 (0.100~0.155)	1.3	0.085 (0.068~0.104)	-	0.630 (0.496~0.793)	14.3	6.624 (5.479~7.924)	28.1	6.863 (5.486~8.433)	0.4
泗阳	0.366 (0.290~0.456)	3.4	0.110 (0.089~0.135)	1.1	0.083 (0.049~0.124)	-	0.546 (0.435~0.674)	12.4	3.715 (3.024~4.526)	15.7	8.900 (7.130~10.932)	0.6
大丰	0.758 (0.608~0.939)	7.0	0.239 (0.161~0.348)	2.5	0.192 (0.154~0.235)	-	1.192 (0.953~1.470)	27.1	3.704 (2.961~4.592)	15.7	14.690 (11.683~18.018)	0.9
东台	0.323 (0.258~0.398)	3.0	0.164 (0.098~0.245)	1.7	0.202 (0.163~0.247)	-	0.630 (0.496~0.793)	14.3	2.539 (2.012~3.250)	10.8	6.760 (4.606~9.478)	0.4
灌云	0.276 (0.225~0.332)	2.5	0.219 (0.142~0.324)	2.3	0.175 (0.137~0.219)	-	0.308 (0.250~0.377)	7.0	0.929 (0.750~1.141)	3.9	7.240 (5.907~8.782)	0.4
灌南	0.258 (0.208~0.315)	2.4	0.207 (0.168~0.251)	2.2	0.241 (0.191~0.302)	-	0.282 (0.223~0.352)	6.4	0.689 (0.560~0.831)	2.9	6.256 (3.797~9.054)	0.4
睢宁	0.614 (0.488~0.756)	5.6	0.103 (0.084~0.125)	1.1	0.228 (0.184~0.280)	-	0.527 (0.419~0.649)	12.0	1.799 (1.433~2.231)	7.6	3.637 (2.936~4.439)	0.2
邳州	0.599 (0.474~0.742)	5.5	0.098 (0.069~0.135)	1.0	0.236 (0.191~0.289)	-	0.567 (0.458~0.691)	12.9	2.651 (2.084~3.274)	11.2	3.092 (2.461~3.798)	0.2

注:RR:抗性倍数=田间种群 LC₅₀/敏感种群的 LC₅₀(敏感基线参照张凯 2014 年南京农业大学硕士学位论文^[26]); -:由于缺少敏感基线,因此无法得出抗性倍数。

3 讨论

目前生产上防治稻飞虱仍以化学防治为主,而长期大量不合理使用农药,已经使得稻飞虱对多种药剂产生抗性,这也是稻飞虱大发生的一个重要原因^[27]。例如:2005 年褐飞虱的大暴发,是由于褐飞虱对吡虫啉的抗性急剧上升所致,农业

部全国农业技术推广中心发文(2005)在褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性地区要求暂停使用吡虫啉防治褐飞虱。为了避免由于抗性引起的防效降低或害虫暴发,对其抗药性进行了解非常重要;本研究首次对苏北地区的稻飞虱抗药性进行了一次普查,从而为科学防治提供理论基础。

吡虫啉、噻虫嗪和烯啶虫胺为新烟碱类杀虫剂^[28],对半

表5 灰飞虱对常用药剂的抗药性监测

种群	吡虫啉		噻虫嗪		烯啶虫胺		吡蚜酮		毒死蜱		异丙威	
	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR*	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR	LC ₅₀ (95FL;mg/L)	RR						
淮阴	10.268 (8.252~12.639)	1.1	1.148 (0.914~1.428)	0.6	1.249 (1.012 to 1.536)	1.0	7.061 (5.687~8.673)	0.9	16.155 (12.886~20.041)	33.5	51.844 (42.538~62.216)	0.8
洪泽	14.347 (10.808~18.655)	1.5	1.076 (0.868~1.317)	0.6	1.076 (0.866 to 1.320)	0.9	11.026 (8.767~13.693)	1.4	9.696 (7.231~12.532)	20.1	76.968 (62.399~93.690)	1.1
沭阳	11.475 (9.038~14.133)	1.2	1.110 (0.902~1.353)	0.6	1.039 (0.841 to 1.266)	1.1	11.839 (9.197~15.082)	1.5	10.008 (8.000~12.274)	20.8	83.346 (67.111~101.634)	1.2
泗阳	20.084 (16.012~24.930)	2.2	1.013 (0.797~1.263)	0.6	1.857 (1.488 to 2.273)	1.5	7.395 (5.890~9.092)	0.9	14.687 (11.313~18.740)	30.5	88.553 (69.436~110.923)	1.3
大丰	18.012 (14.151~22.549)	1.9	1.212 (0.994~1.467)	0.7	1.077 (0.883 to 1.299)	0.9	7.447 (5.779~9.338)	0.9	18.191 (13.957~23.793)	37.7	76.925 (59.261~100.260)	1.1
东台	19.023 (11.423~29.833)	2.0	1.004 (0.815~1.220)	0.6	0.979 (0.776 to 1.211)	0.8	7.250 (5.685~9.005)	0.9	7.339 (5.652~9.363)	15.2	115.991 (89.077~151.864)	1.7
灌云	8.435 (6.712~10.400)	0.9	0.512 (0.405~0.634)	0.3	0.903 (0.721 to 1.106)	0.7	10.839 (8.753~13.273)	1.4	8.253 (4.748~12.509)	17.1	96.551 (76.478~119.065)	1.4
灌南	6.650 (5.291~8.126)	0.7	0.515 (0.415~0.630)	0.3	0.454 (0.356 to 0.562)	0.4	10.220 (8.057~12.735)	1.3	10.649 (8.400~13.266)	22.1	95.138 (72.911~120.262)	1.4
睢宁	19.047 (12.454~27.829)	2.0	0.513 (0.409~0.634)	0.3	0.998 (0.797 to 1.229)	0.8	9.583 (7.557~11.885)	1.2	5.938 (4.678~7.340)	12.3	92.481 (74.939~111.835)	1.4
邳州	16.170 (13.218~19.445)	1.7	0.961 (0.763~1.187)	0.5	1.030 (0.688 to 1.472)	0.8	9.100 (7.218~11.351)	1.1	5.546 (4.244~6.982)	11.5	97.615 (62.890~140.638)	1.4

注:RR:抗性倍数=田间种群 LC₅₀/敏感种群的 LC₅₀ (敏感基线见稻飞虱抗药性监测方法^[22])。

表6 丁烯氟虫腈和噻嗪酮复配对白背飞虱3龄若虫室内毒力测定

处理名称	有效成分比例	Slope (SE)	LC ₅₀ (mg a. i./L)	共毒系数 (CTC)
丁烯氟虫腈		2.230(0.269)	1.034	
噻嗪酮		2.120(0.328)	3.816	
丁烯氟虫腈:噻嗪酮	1:5	1.938(0.266)	1.861	141.569
丁烯氟虫腈:噻嗪酮	1:10	1.887(0.294)	1.671	183.487
丁烯氟虫腈:噻嗪酮	1:15	2.312(0.309)	1.076	303.595
丁烯氟虫腈:噻嗪酮	1:20	2.092(0.380)	1.267	266.979

翅目害虫具有很好的防效;自2005年以来,褐飞虱对吡虫啉产生了极高水平抗性(200~799倍)^[29],而王鹏等于2008—2013年间对全国褐飞虱进行抗性普查,发现褐飞虱对吡虫啉的抗性还在急剧上升,其中2011年,安徽潜山的褐飞虱种群对吡虫啉已达到1935.8倍的抗性^[30]。本监测结果显示,苏北地区褐飞虱对吡虫啉的抗性亦非常高,其中泗阳已经达到2842倍的极高水平抗性,而白背飞虱和灰飞虱的抗性水平则较低,这种显著性差异有可能是由物种间的差异引起的。同样,褐飞虱对噻虫嗪的抗性也达到高至极高水平,并且有着上升的趋势,而白背飞虱和灰飞虱则对噻虫嗪较敏感。新烟碱类的另一种药剂烯啶虫胺,则对3种飞虱的毒力较高。由于褐飞虱和白背飞虱在田间经常混合发生,生产上经常使用吡虫啉来防治白背飞虱,这就同时对褐飞虱进行筛选,使得褐飞虱对吡虫啉的抗性一直居高不下。随着吡虫啉被暂停防治褐飞虱以及氟虫腈禁用,噻虫嗪成为防治褐飞虱的主要手段之一,但单一使用噻虫嗪,使得褐飞虱对噻虫嗪的抗性也逐渐上升。烯啶虫胺虽然与吡虫啉、噻虫嗪属于同一类药剂,且烯啶虫胺对3种飞虱的毒力较高,但褐飞虱和白背飞虱对烯啶虫胺的抗性较低,这可能与烯啶虫胺的价格高、用量小有关;此外,烯啶虫胺在分子结构上与吡虫啉和噻虫嗪存在显著差

异^[31],这就降低了交互抗性发生的可能。这3种药剂的相互关系还有待进一步研究。

噻嗪酮作为一种生长调节剂,由于其特殊的作用机制,对飞虱有着较好的防效。上世纪90年代,随着吡虫啉的推广使得噻嗪酮的使用频率逐渐下降,而随着吡虫啉被禁止防治褐飞虱,噻嗪酮又重新成为防治褐飞虱的主要药剂^[32]。通过查阅大量监测数据显示出噻嗪酮的使用频率与褐飞虱对其抗性倍数成正相关,而本研究表明褐飞虱对噻嗪酮产生高至极高水平抗性,80%白背飞虱对噻嗪酮产生中等水平抗性;灰飞虱于2007年就已经对噻嗪酮产生高水平抗性^[33],到2011年已经达到极高水平抗性,因此噻嗪酮对于3种飞虱的防治已经不具备优势,建议暂停使用噻嗪酮防治稻飞虱。

毒死蜱目前已成为最大吨位的有机磷类杀虫剂,是全球应用广泛的5种杀虫剂之一^[34],是我国多年来主要用于防治螟虫以及稻纵卷叶螟的杀虫剂品种,也被大量用于防治稻飞虱。综合3种飞虱的监测结果,大部分种群已对毒死蜱产生中等水平抗性。王利华等研究表明,2007年江苏地区的灰飞虱种群对毒死蜱为中等水平抗性^[35];班兰凤研究结果表明,2009—2011这3年间灰飞虱种群对毒死蜱的抗性已从中等水平发展到高水平,这可能与麦田、稻田长期、大面积使用毒死蜱有关^[36]。因此建议在抗性水平较高地区控制使用毒死蜱防治飞虱。

吡蚜酮由于其新颖的作用机制,近几年来一直被用来防治稻飞虱,政府也在大量采购吡蚜酮,但吡蚜酮的抗性却很少报道,尤其是白背飞虱和褐飞虱,这可能与我们在室内依然没能建立起白背飞虱和褐飞虱对吡蚜酮的抗性监测方法相关。目前国际上推荐的方法是IRAC(NO.005)^[37],但笔者通过大量的试验表明,该方法不能有效应用于白背飞虱和褐飞虱对吡蚜酮的抗性监测,因此完善对吡蚜酮的抗性监测就非常重

要。异丙威对白背飞虱和灰飞虱的毒力较高,因此建议可以将异丙威作为田间防治3种飞虱的主要轮换药剂。

农药的混用是害虫抗性治理中可采用的一种措施,但是混剂同样也是化学药剂,长期连续使用同样也会造成抗性的产生,只有科学合理地使用混剂,才能充分发挥其在抗性治理中的作用。共毒系数是用来衡量一个混剂是否具有增效作用、相加作用以及拮抗作用的指标,但是它不同于增效倍数,共毒系数也不是越高越好,在农业生产上,除了共毒系数外,还需要考虑复配的 LC_{50} 、各个单剂的成本以及合成上的可行性,因此就丁烯氟虫腈和噻嗪酮的复配而言,要将监测、复配结果与田间药效试验相结合,从而更加科学地指导田间用药。

本研究首次揭示了苏北5市10个种群的稻飞虱对常用药剂的抗性动态,基于该研究建议吡虫啉、噻虫嗪和烯啶虫胺作为防治白背飞虱和灰飞虱的主要药剂,而烯啶虫胺可以作为防治褐飞虱的主要轮换药剂;在抗性水平较高的地区限制使用噻嗪酮和毒死蜱防治这3种飞虱,吡蚜酮可以作为防治灰飞虱的主要药剂,而异丙威则可作为轮换药剂使用。复配结果显示:丁烯氟虫腈和噻嗪酮的复配为田间防治白背飞虱提供了另一种选择。

参考文献:

[1]王才林. 江苏省水稻育种与生产现状及发展趋势[J]. 江苏农业科学,2005(2):1-6.

[2]宋奇. 江苏省粮食生产的变化分析与对策研究[D]. 扬州:扬州大学,2010.

[3]姜辉,林荣华,刘亮,等. 稻飞虱的危害及再猖獗机制[J]. 昆虫知识,2005,42(6):612-615.

[4]朱龙粉,傅华欣,荆卫峰,等. 不同生育阶段及不同虫量化学防治灰飞虱效果与策略[J]. 江苏农业科学,2006(2):62-64.

[5]丁锦华,苏建亚. 农业昆虫学[M]. 北京:中国农业出版社,2002.

[6]刘万才,刘宇,郭荣. 南方水稻黑条矮缩病发生现状及防控对策[J]. 中国植保导刊,2010,30(3):17-18.

[7]Zhang H M, Yang J, Chen J P, et al. A Black - Streaked Dwarf Disease on Rice in China Is Caused by a Novel Fijivirus[J]. Arc Virol, 2008,153(10):1893-1898.

[8]Zhou G H, Wen J J, Cai D J, et al. Southern rice black - streaked dwarf virus: a new proposed Fijivirus species in the family reoviridae [J]. Chin Sci Bul,2008,53(23):3677-3685.

[9]Wu A Z, Zhao Y, Qu Z C, et al. Subcellular localization of the stripe disease - specific protein encoded by rice stripe virus (RSV) in its vector, the small brown plant hopper, *Laodelphax striatellus* [J]. Chin Sci Bul,2001,46(21):1819-1822.

[10]Nagata T. Insecticide resistance and chemical control of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) [J]. Bull Kyushu Nat Agric Exp Sta,1982,22(1):49-164.

[11]程遐年,吴进才,马飞. 褐飞虱研究与防治[M]. 北京:中国农业出版社,2003.

[12]汤金仪,马桂椿,胡国文. 水稻白背飞虱危害损失及防治指标研究总结[J]. 病虫测报,1991(4):4-7.

[13]Wang L, Fang J, Liu B. Relative toxicity of insecticides to *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Homoptera: Delphacidae) and the resistance of field populations from different areas of East China[J]. Acta Ecol Sin,2008,51(9):930-937.

[14]Endo S, Tsurumachi M. Insecticide susceptibility of the brown planthopper and the white - backed planthopper collected from southeast Asia [J]. Japan J Pestic Sci,2001,26(1):82-86.

[15]刘向东,翟保平,刘慈明. 灰飞虱种群暴发成灾原因剖析[J]. 昆虫知识,2006,43(2):141-146.

[16]林友伟,张晓梅,沈晋良. 亚洲稻区灰飞虱抗药性研究进展[J]. 昆虫知识,2005,42(1):28-30.

[17]姚洪渭,叶恭银,程家安. 白背飞虱不同种群抗药性的测定[J]. 中国水稻科学,2000,14(3):183-184.

[18]马崇勇,高聪芬,沈晋良,等. 灰飞虱对几类杀虫剂的抗性和敏感性[J]. 中国水稻科学,2007,21(5):555-558.

[19]Matsumura M, Sanada - Morimura S, Otuka A, et al. Insecticide susceptibilities in populations of two rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*, immigrating into Japan in the period 2005-2012[J]. Pest Manag Sci,2013,70(4):615-622.

[20]梁天锡,毛立新. 水稻飞虱的抗药性监测研究[J]. 华东昆虫学报,1996,5(1):89-93.

[21]庄永林. 褐飞虱对噻嗪酮及吡虫啉的抗药性研究[D]. 南京:南京农业大学,2000.

[22]张凯,张巍,高聪芬. 稻飞虱的抗药性监测方法[J]. 应用昆虫学报,2013,50(2):542-547.

[23]Robertson J, Preisler H, Russell R. PoloPlus: probit and logit analysis user's guide[Z]. LeOra Software, Petaluna, CA, USA, 2007.

[24]沈晋良,吴益东. 棉铃虫抗药性及其治理[M]. 北京:中国农业出版社,1995.

[25]甯佐苹. 褐飞虱抗药性检测:对噻嗪酮的抗性风险评估及生化机理研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.

[26]白首飞. 虱和灰飞虱的抗药性检测及治理[D]. 南京:南京农业大学,2014.

[27]Wang Y H, Gao C F, Zhu Y C, et al. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) [J]. J Econ Entom,2008,101(2):515-522.

[28]Matsuda K, Buckingham D, Kleier D, et al. Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors [J]. Tren Pharm Sci,2001,22(11):573-580.

[29]Wang Y H, Wu G S, Zhu Y C, et al. Dynamics of imidacloprid resistance and cross - resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* [J]. Ent Exper Appl,2009,131(1):20-29.

[30]王鹏. 褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测[D]. 南京:南京农业大学,2013.

[31]李敏,成四喜,李海屏,等. 新烟碱类杀虫剂烯啶虫胺评述[J]. 农药研究与应用,2012,16(2):1-5.

[32]王彦华,李永平,陈进,等. 褐飞虱对吡虫啉敏感性的时空变化及现实遗传力[J]. 中国水稻科学,2008,22(4):421-426.

[33]马崇勇. 灰飞虱对几类杀虫剂的敏感性研究及对氟虫腈抗性风险评估[D]. 南京:南京农业大学,2007.

[34]边全乐. 使用毒死蜱的安全性[J]. 中国农学通报,1997,13(6):7.

[35]王利华,方继朝,刘宝生. 几类杀虫剂对灰飞虱的相对毒力及田间种群的抗药性现状[J]. 昆虫学报,2008,51(9):930-937.

[36]班兰凤. 灰飞虱抗药性监测及对吡蚜酮的抗性风险评估[D]. 南京:南京农业大学,2012.

[37]Method NO. 5 for IRAC susceptibility test method series version 3.0 (June 2000) [EB/OL]. [2016-03-01]. http://www. irac - online. org/content/uploads/Method_005_v4. 1. pdf.