

防治褐飞虱的高毒农药替代药剂的室内筛选及交互抗性研究

王彦华^{1,2} 陈进¹ 沈晋良^{1,*} 高聪芬¹ 黄悦¹ 张久双¹ 李文红¹ 周威君¹

(¹南京农业大学 农业部病虫监测与治理重点开放实验室, 江苏 南京 210095 ; ²浙江省农业科学院 农产品质量标准研究所, 浙江 杭州 310021 ; * 通讯联系人, E-mail : jishen@njau.edu.cn)

Laboratory Screening and Cross Resistance Analysis of Alternative Insecticides for Highly Toxic Pesticides for Controlling Brown Planthopper , *Nilaparvata lugens*

WANG Yan hua^{1,2} , CHEN Jin¹ , SHEN Jin liang^{1,*} , GAO Cong fen¹ , HUANG Yue¹ , ZHANG Jiu shuang¹ , LI Wen hong¹ , ZHOU Wei jun¹

(¹ Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects , Ministry of Agriculture , Nanjing Agricultural University , Nanjing 210095 , China ; ² Institute of Quality and Standard for Agro Products , Zhejiang Academy of Agricultural Sciences , Hangzhou 310021 , China ; * Corresponding author , E-mail : jishen@njau.edu.cn)

Abstract : To screen alternative insecticides for highly toxic pesticides , toxicities of more than twenty insecticides fallen in six groups to the 3rd instar nymphs of brown planthopper , *Nilaparvata lugens* populations collected from Nanning and Guilin Cities (Guangxi Zhuang Autonomous Region) , Changde City (Hunan Province) and Nanjing City (Jiangsu Province) , China were investigated by the rice stem dipping method in laboratory from 2005 to 2006 . Results showed that buprofezin , fipronil , thiamethoxam , nitenpyram , chlorpyrifos , isoprocarb , promecarb and carbosulfan could be adopted as potential alternative insecticides for the highly toxic pesticides . After selection with imidacloprid for 23 generations , the population developed extremely high level resistance to imidacloprid (1298.5 fold) , with a LC_{50} value of 103.88 mg/L , being 6.5 fold of the value of the original reference strain before the selection (16.01 mg/L) . The selected strain of *N. lugens* showed obvious cross resistance to imidacloprid , thiamethoxam and acetamiprid , whereas not to dinotefuran , thiamethoxam and nitenpyram . Management strategy of insecticide resistance of the insect was also discussed .

Key words : *Nilaparvata lugens* ; highly toxic insecticide ; imidacloprid ; cross resistance ; insecticide resistance

摘要 : 为了筛选防治褐飞虱的高毒农药的替代药剂,于2005-2006年,采用稻茎浸渍法测定了6类20余种杀虫剂对广西南宁、桂林、湖南常德和江苏南京褐飞虱种群的室内毒力。结果表明,噻嗪酮、氟虫腈、噻虫嗪、烯啶虫胺、毒死蜱、异丙威、猛杀威、丁硫克百威等8种药剂对褐飞虱具有较高的毒力,可作为替代高毒药剂的候选品种。采用稻茎浸渍法对1个室内褐飞虱种群用吡虫啉筛选23代后,褐飞虱对吡虫啉的抗性从筛选前的200.1倍上升至筛选后的1298.5倍(上升了5.5倍);高抗吡虫啉的褐飞虱种群对氯噻啉、噻虫啉和啉虫脒表现出明显的交互抗性,而对吡虫啉、噻虫嗪和烯啶虫胺则无明显的交互抗性。还讨论了褐飞虱的抗性治理策略。

关键词 : 褐飞虱 ; 高毒杀虫剂 ; 吡虫啉 ; 交互抗性 ; 抗药性

中图分类号 : S435.112+3 ; S481.4 ; S482.3

文献标识码 : A

文章编号 : 1001-7216(2008)05-0519-08

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stal)是当前亚洲水稻生产上的一种重要迁飞性害虫^[1],在我国长江流域及其以南地区暴发频繁,严重威胁着水稻的优质高产^[2]。鉴于褐飞虱属于典型的r对策型害虫,具有易于暴发成灾的特点,化学防治一直是控制褐飞虱的最有效途径^[3]。自1969年日本报道褐飞虱对丙体六六六产生抗性以来^[4],亚洲不少国家和地区相继报道褐飞虱对常规的有机氯类、有机磷类及氨基甲酸酯类杀虫剂产生了抗药性^[5-8]。

由于褐飞虱抗药性日益严重和我国全面禁用甲胺磷等5种高毒有机磷类药剂,因此,筛选防治褐飞虱的高毒农药替代药剂迫在眉睫。从新药剂和现有药剂中筛选对人畜低毒且对褐飞虱高效的药剂无疑是一个理想选择。另外,杀虫剂交互抗性是由于害

虫对杀虫剂具有相同的抗性机制引起的^[9],是抗药性研究中的一个重要内容。交互抗性的研究不仅可以筛选出有效的替代药剂,同时也可用于抗性机理的分析^[10]。田间褐飞虱对吡虫啉已产生严重抗性(全国农业技术推广服务中心农技植保函2005年270号),但抗性褐飞虱对新烟碱类的其他杀虫剂是否具有交互抗性尚缺少可靠的依据。

在这样的背景下,农业部病虫监测与治理重点

收稿日期 : 2007-11-02 ; 修改稿收到日期 : 2008-02-15。

基金项目 : 农业部高毒农药替代试验示范项目 [2005 种植业 (植保)函7号] 全国农业技术推广服务中心与拜耳作物科学公司合作开展的稻飞虱抗药性监测与治理项目 ; 国家科技支撑计划资助项目 (0200738)。

第一作者简介 : 王彦华 (1979-), 男, 博士研究生。

开放实验室承担了农业部高毒农药替代示范项目的有关任务,从新药剂和现有药剂中选择了 20 余种杀虫剂,用于测定它们对褐飞虱的室内毒力,筛选出理想的替代药剂供大田药效试验和用于复配药剂的筛选,同时进行了褐飞虱对吡虫啉与其他新烟碱类杀虫剂的交互抗性测定,以便为褐飞虱防治的科学用药和抗性治理提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

2005 年和 2006 年从我国不同的水稻生态区(广西南宁、桂林,湖南常德和江苏南京)的水稻田采集褐飞虱(表 1)。田间种群分别采自广西壮族自治区南宁市广西农业科学院试验田(种群代号为 NN)、桂林市农业科学研究所试验田(GL),湖南省常德市桃源县桃花园镇大田(CD)和江苏省南京市江浦县植物保护站预测圃(NJ)。每个种群分别采集约 800 头成虫、500~600 头若虫或足够数量的卵块,带回南京农业大学温室的养虫笼内(57 cm×57 cm×92 cm),以未用药剂处理的分蘖期至孕穗期的汕优 63 水稻植株饲养,温度控制在 26~30℃,以室内 F₁或 F₂代的 3 龄中期若虫供测定用。敏感品系是 1995 年采自浙江省杭州市蒋村单季稻上的褐飞虱,在室内不接触药剂的情况下用汕优 63 水稻植株饲养至今。

1993 年采自江苏省江浦县植物保护站预测圃的第 2 代成虫,在室内不定期用吡虫啉喷雾处理,在室内饲养 120 代后,采用稻茎浸渍法^[11]测定吡虫啉对该种群的 LC₅₀值(LC₅₀为 16.01 mg/L)。在此基础上,采用稻茎浸渍法^[11]用吡虫啉对该筛选起始种群进行室内连续筛选 23 代,获得抗性品系。

1.2 供试药剂

昆虫生长调节剂类 :98.1%噻嗪酮原药(江苏常隆化工有限公司)。

氯化烟碱类 :95.3%吡虫啉原药、97%啶虫脒原

药(江苏常隆化工有限公司);95%烯啶虫胺原药、95%氯噻啉原药(江苏南通江山农药化工股份有限公司);97.7%噻虫嗪原药和 10%呋虫胺可溶性液剂(先正达公司);97.75%噻虫啉原药(天津新光农药有限公司)。

苯基吡唑类 :87%氟虫腈原药(拜耳杭州科学作物有限公司)。

拟除虫菊酯类 :90%醚菊酯原药、96.4%氯氟氰菊酯原药、89%乙氰菊酯原药、93%氟硅菊酯原药(江苏扬农化工股份有限公司)。

氨基甲酸酯类 :99.7%异丙威原药、98.5%仲丁威原药、98%猛杀威原药、98.5%苯氧威原药、96%速灭威原药、99%混灭威原药(江苏常隆化工有限公司);98.5%残杀威原药(湖南海利化工股份有限公司);88.89%丁硫克百威原药(苏州富美实植物保护剂有限公司)。

有机磷类 :95%毒死蜱原药(江苏南通江山农药化工股份有限公司);73%甲胺磷原药、98%乙酰甲胺磷原药(山东华阳农药科技股份有限公司);98.1%乐果原药(江苏腾龙生物药业有限公司);95%三唑磷原药(湖北仙隆化工股份有限公司);95%马拉硫磷原药(山东德州恒东农药化工有限公司)。

上述原药以丙酮作溶剂,加 10% Triton 100 加工成与该药剂通常市售乳油的有效成分含量一致的乳油后,供测定用。

1.3 生物测定方法

按照庄永林等^[11]的稻茎浸渍法进行毒力测定。测定数据用农业部病虫监测与治理重点开放实验室建立的生物测定数据处理及管理系统求出毒力回归线及致死中浓度(LC₅₀)值。该系统计算结果与美国 SAS 统计软件的几率值分析结果完全一致^[9]。有机磷、氨基甲酸酯及拟除虫菊酯类杀虫剂处理 72 h 后检查结果;新烟碱类及苯基吡唑类杀虫剂处理 96 h 后检查结果;昆虫生长调节剂类杀虫剂处理

表 1 褐飞虱种群试虫采集情况

Table 1. Origin of *Nilaparvata lugens* populations.

种群 Population	虫源地点 Origin	采集年份 Year	采集代次、虫态 Field generation & stage
GL05	广西桂林 Guilin, Guangxi	2005	第 4 代,卵块 The 4th generation, egg mass
NN05	广西南宁 Nanning, Guangxi	2005	第 4 代,若虫 The 4th generation, nymphs
CD05	湖南常德 Changde, Hunan	2005	第 3 代,成虫 The 3rd generation, adults
NJ05	江苏南京 Nanjing, Jiangsu	2005	第 2 代,成虫 The 2nd generation, adults
NN06	广西南宁 Nanning, Guangxi	2006	第 2 代,成虫 The 2nd generation, adults
NJ06	江苏南京 Nanjing, Jiangsu	2006	第 2 代,成虫 The 2nd generation, adults

120 h 后检查结果。抗性倍数 (RR) = 所测种群的 LC_{50} / 敏感种群的 LC_{50} ,以 LC_{50} 值的 95% 置信限是否有重叠作为判断不同种药剂毒力差异是否显著的标准。抗性水平分级标准为 :抗性倍数 3.0 倍以下为敏感 ;3.1 ~ 5.0 倍为敏感性下降 ;5.1 ~ 10.0 倍为低水平抗性 ;10.1 ~ 40.0 倍为中等水平抗性 ;40.1 ~ 160.0 倍为高水平抗性 ; > 160.1 为极高水平抗性^[9]。

1.4 室内抗性筛选方法

抗性筛选采用稻茎浸渍法^[11]。大约 1000 头褐飞虱 3 龄若虫被处理 4 d 后 ,将存活的试虫转移至新鲜无药的汕优 63 水稻植株上饲养 ,繁殖下一代供继续筛选。将筛选的选择压力控制在死亡率为 40% ~ 70% 范围内 (每代药剂处理浓度近似于药剂对每代褐飞虱 3 龄若虫的 LC_{50} 值)。选择压力太高 ,筛选后种群易被淘汰 ,无法继续筛选 ;选择压力太低 ,抗性发展缓慢 ,且与大田用药的选择压力相差太大^[12]。

1.5 交互抗性测定

以稻茎浸渍法测定吡虫啉筛选的抗性品系对其

他新烟碱类杀虫剂的敏感性 ,与敏感品系及筛选起始种群进行比较 ,判断有无交互抗性。

2 结果与分析

2.1 6 类杀虫剂对 6 个褐飞虱种群的室内毒力

在 2005 - 2006 年 ,采用稻茎浸渍法共测定了 6 类 20 余种杀虫剂对广西南宁、广西桂林、湖南常德和江苏南京 6 个有代表性的田间褐飞虱种群的毒力。根据室内毒力测定结果 (表 2 ~ 表 5) ,我们推荐噻嗪酮、氟虫腈、噻虫嗪、烯啶虫胺、毒死蜱、异丙威、猛杀威、丁硫克百威共 8 种药剂作为大田药效试验的候选药剂。

2.1.1 2005 年广西桂林种群 (GL05)

与已建立的敏感基线相比 (表 6) ,GL05 种群对吡虫啉抗性为 79.1 倍 ,供试 6 类药剂对 GL05 种群的毒力次序为 :噻嗪酮、氟虫腈、烯啶虫胺 > 噻虫嗪 > 毒死蜱、吡虫啉、氟硅菊酯、丁硫克百威、异丙威、猛杀威、啶虫脒、仲丁威、速灭威 > 残杀威、混灭威、三唑磷、甲胺磷 > 乐果 > 乙氰菊酯、马拉硫磷 > 苯氧威 (表 2)。

表 2 21 种药剂对 2005 年广西桂林褐飞虱种群 3 龄若虫的毒力

Table 2 . Toxicities of 21 insecticides to the 3rd instar nymphs of the population GL05 of *N. lugens* .

杀虫剂 Insecticide	处理虫数 No. of insects	毒力回归方程 LD P line	LC_{50} (95% 置信限) LC_{50} (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)
噻嗪酮 Buprofezin	420	$y=6.2688 + 2.1386x$	0.26(0.21 ~ 0.30)
氟虫腈 Fipronil	420	$y=6.3199 + 2.5610x$	0.31(0.26 ~ 0.36)
烯啶虫胺 Nitenpyram	420	$y=5.7807 + 1.7343x$	0.35(0.29 ~ 0.43)
噻虫嗪 Thiamethoxam	420	$y=4.4980 + 1.5188x$	2.14(1.72 ~ 2.69)
毒死蜱 Chlopyrifos	360	$y=3.6446 + 2.1538x$	4.26(3.56 ~ 5.23)
吡虫啉 Imidacloprid	420	$y=3.5938 + 1.7548x$	6.33(4.97 ~ 7.80)
氟硅菊酯 Silafluofen	420	$y=3.7751 + 1.2356x$	9.80(7.33 ~ 12.72)
丁硫克百威 Carbosulfan	420	$y=2.5344 + 2.1633x$	13.80(11.63 ~ 16.35)
异丙威 Isoprocarb	420	$y=2.4968 + 2.1702x$	14.24(11.97 ~ 17.23)
猛杀威 Promecarb	360	$y=2.6805 + 1.7909x$	19.73(15.92 ~ 25.71)
啶虫脒 Acetamiprid	360	$y=2.6091 + 1.7865x$	21.79(17.94 ~ 26.88)
仲丁威 Fenobucarb	420	$y=1.7616 + 2.3318x$	24.48(20.73 ~ 29.10)
速灭威 Metalcarb	420	$y=1.3553 + 2.5280x$	27.65(23.36 ~ 32.69)
残杀威 Propocarb	360	$y=1.4098 + 2.2110x$	45.05(34.92 ~ 52.53)
混灭威 Dimethacarb	420	$y=1.1052 + 2.3080x$	48.70(41.34 ~ 57.96)
三唑磷 Triazophos	360	$y=2.0090 + 1.7097x$	56.16(45.87 ~ 68.73)
甲胺磷 Methamidophos	420	$y=1.5843 + 1.8810x$	65.45(54.31 ~ 79.21)
乐果 Dimethoate	360	$y=1.5184 + 1.5084x$	203.30(162.37 ~ 263.01)
乙氰菊酯 Cycloprothrin	420	$y= -0.3159 + 1.7409x$	1131.19(914.21 ~ 1459.88)
马拉硫磷 Malathion	420	$y=0.3931 + 1.4958x$	1201.96(940.50 ~ 1634.91)
苯氧威 Fenoxycarb	360	$y= -0.6141 + 2.8333x$	9582.31(8298.59 ~ 11087.29)

LC_{50} 值的 95% 置信限不重叠作为判断不同杀虫剂间毒力差异显著的标准。下表同。

Nonoverlapping between the 95% confidence intervals is considered as the criterion for statistical significance . The same as in tables below .

表 3 24 种药剂对 2005 年和 2006 年广西南宁褐飞虱种群 3 龄若虫的毒力

Table 3 . Toxicities of 24 insecticides to the 3rd instar nymphs of the populations NN05 and NN06 of *N. lugens*.

杀虫剂 Insecticide	2005		2006	
	毒力回归方程 LD <i>P</i> line	LG_{50} (95% 置信限) LG_{50} (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)	毒力回归方程 LD <i>P</i> line	LG_{50} (95% 置信限) LG_{50} (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)
氟虫腓 Fipronil	$y=7.2623+2.7111x$	0.11(0.09~0.13)	$y=6.4950+2.3018x$	0.22(0.18~0.29)
噻嗪酮 Buprofezin	$y=6.5052+2.1131x$	0.19(0.14~0.24)	$y=6.4334+2.7920x$	0.31(0.26~0.35)
烯啶虫胺 Nitenpyram	$y=5.2787+1.6012x$	0.67(0.55~0.82)	$y=6.9447+2.8005x$	0.20(0.13~0.27)
噻虫嗪 Thiamethoxam	$y=5.1292+2.0683x$	0.87(0.71~1.04)	$y=5.3010+2.2368x$	0.73(0.58~1.29)
毒死蜱 Chlopyrifos	$y=4.0643+2.6015x$	2.29(1.97~2.67)	$y=4.2766+3.8912x$	1.53(1.35~1.74)
异丙威 Isoprocarb	$y=2.8751+2.6283x$	6.43(4.56~7.82)	$y=2.4658+2.1328x$	15.42(12.90~18.81)
速灭威 Metalcarb	$y=0.8646+3.8292x$	12.02(10.58~13.62)		
吡虫啉 Imidacloprid	$y=3.4693+1.2580x$	16.47(12.73~21.57)	$y=2.9288+1.9172x$	12.03(9.97~14.46)
氟硅菊酯 Silafluofen	$y=2.7500+1.9178x$	14.29(11.90~17.17)	$y=3.1951+1.7998x$	10.07(8.21~12.20)
丁硫克百威 Carbosulfan	$y=2.8953+1.7605x$	15.69(12.89~19.16)	$y=2.0266+1.9096x$	36.07(29.57~45.60)
猛杀威 Promecarb	$y=2.3060+2.1496x$	17.92(14.94~22.09)		
仲丁威 Fenobucarb	$y=1.1986+2.9856x$	18.76(16.26~21.62)	$y=-0.3988+4.1410x$	20.12(17.85~22.67)
醚菊酯 Ethofenprox	$y=1.7533+2.4788x$	20.41(17.38~23.97)	$y=3.2311+2.1668x$	6.55(5.39~7.91)
混灭威 Dimethacarb	$y=0.4941+2.9455x$	33.87(29.28~39.06)		
啶虫脒 Acetamiprid	$y=1.9751+1.8246x$	45.48(36.50~60.00)	$y=3.2933+1.8358x$	8.51(6.90~10.30)
甲胺磷 Methamidophos	$y=1.3665+2.1059x$	53.14(44.64~63.16)	$y=1.7776+2.3187x$	24.53(20.33~29.06)
残杀威 Propocarb	$y=1.6510+1.8045x$	71.77(59.24~87.65)		
三唑磷 Triazophos	$y=0.6180+2.0222x$	146.87(121.31~183.91)		
乐果 Dimethoate	$y=-0.1186+2.0397x$	323.21(266.26~407.69)		
马拉硫磷 Malathion	$y=-1.0180+2.0603x$	833.18(657.62~1165.58)		
乙氰菊酯 Cycloprothrin	$y=0.2362+1.5910x$	986.77(790.04~1283.90)		
氯噻啉 Imidaclothiz			$y=2.3522+2.6981x$	9.58(7.99~11.23)
乙酰甲胺磷 Acephate			$y=1.2898+2.1093x$	57.41(48.15~66.41)
氯氟氰菊酯 -cyhalothrin			$y=1.9391+1.6339x$	74.71(59.72~93.43)

2.1.2 2005 年和 2006 年广西南宁种群(NN05、NN06)

与已建立的敏感基线相比(表 6), NN05 和 NN06 种群对吡虫啉抗性分别为 205.9 倍和 150.4 倍, 供试 6 类药剂对 NN05 种群的毒力次序为: 氟虫腓 > 噻嗪酮 > 烯啶虫胺、噻虫嗪 > 毒死蜱 > 异丙威 > 速灭威、氟硅菊酯、丁硫克百威、吡虫啉、猛杀威、仲丁威、醚菊酯 > 混灭威、啶虫脒、甲胺磷、残杀威 > 三唑磷 > 乐果 > 乙氰菊酯 > 马拉硫磷(表 3); 供试 6 类药剂对 NN06 种群的毒力次序为: 烯啶虫胺、氟虫腓、噻嗪酮 > 噻虫嗪 > 毒死蜱 > 醚菊酯、啶虫脒、氯噻啉、氟硅菊酯、吡虫啉、异丙威、仲丁威、甲胺磷 > 丁硫克百威 > 乙酰甲胺磷、氯氟氰菊酯(表 3)。

2.1.3 2005 年湖南常德种群(CD05)

与已建立的敏感基线相比(表 6), CD05 种群对吡虫啉抗性为 201.8 倍。供试的 6 类药剂的毒力次序为: 氟虫腓 > 烯啶虫胺、噻嗪酮 > 噻虫嗪 > 毒死蜱 > 啶虫脒、猛杀威 > 速灭威、异丙威、丁硫克百威、仲丁威、氟硅菊酯、吡虫啉 > 醚菊酯 > 残杀威、混灭威、三唑磷 > 甲胺磷 > 乐果 > 马拉硫磷(表 4)。

2.1.4 2005 年和 2006 年江苏南京种群(NJ05、NJ06)

与已建立的敏感基线相比(表 6), NJ05 和 NJ06 种群对吡虫啉抗性分别为 564.4 倍和 190.9 倍。供试 6 类药剂对 NJ05 种群的毒力次序为: 氟虫腓 > 噻虫嗪 > 噻嗪酮、烯啶虫胺 > 啶虫脒、毒死蜱、异丙威 > 猛杀威、氟硅菊酯 > 仲丁威、醚菊酯、丁硫克百威、速灭威、混灭威、吡虫啉、残杀威、甲胺磷 > 乐果(表 5); 供试的 6 类药剂对 NJ06 种群的毒力次序为: 噻虫嗪、氟虫腓、噻嗪酮 > 烯啶虫胺 > 毒死蜱 > 氯噻啉、啶虫脒、氟硅菊酯、吡虫啉、丁硫克百威、异丙威、猛杀威、仲丁威、醚菊酯、速灭威、甲胺磷、混灭威、残杀威、三唑磷 > 乐果(表 5)。

2.2 室内褐飞虱对吡虫啉抗性筛选及对其他新烟碱类杀虫剂的交互抗性

在室内采用稻茎浸渍法测定了用吡虫啉筛选 23 代的褐飞虱种群对其他新烟碱类杀虫剂的敏感性。结果表明, 采用稻茎浸渍法用吡虫啉筛选起始种群 23 代后, 褐飞虱对吡虫啉的 LG_{50} 值由 16.01 (13.21~18.73) mg/L 上升为 103.88 (86.07~

表 4 20 种药剂对 2005 年湖南常德褐飞虱种群 3 龄若虫的毒力

Table 4 . Toxicities of 20 insecticides to the 3rd instar nymphs of the population CD05 of *N. lugens*.

杀虫剂 Insecticide	处理虫数 No . of insects	毒力回归方程 LD- Pline	LC ₅₀ (95%置信限)
			LC ₅₀ (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)
氟虫腈 Fipronil	420	y=7 .0855 + 2 .4218x	0 .14(0 .12 ~ 0 .16)
烯啶虫胺 Nitenpyram	420	y=6 .3626 + 2 .2482x	0 .25(0 .21 ~ 0 .29)
噻嗪酮 Buprofezin	420	y=5 .9461 + 1 .7519x	0 .29(0 .24 ~ 0 .35)
噻虫嗪 Thiamethoxam	420	y=5 .3900 + 2 .7037x	0 .72(0 .61 ~ 0 .83)
毒死蜱 Chlopyrifos	360	y=4 .6690 + 2 .7875x	1 .31(1 .13 ~ 1 .52)
啶虫脒 Acetamiprid	420	y=3 .7494 + 1 .6167x	5 .94(4 .76 ~ 7 .51)
猛杀威 Promecarb	420	y=2 .8151 + 2 .5477x	7 .20(6 .10 ~ 8 .52)
速灭威 Metalcarb	360	y=1 .4942 + 3 .4654x	10 .27(8 .92 ~ 11 .73)
异丙威 Isoprocarb	420	y=2 .1256 + 2 .7323x	11 .27(9 .71 ~ 13 .12)
丁硫克百威 Carbosulfan	360	y=2 .9817 + 1 .8033x	13 .16(10 .82 ~ 15 .96)
仲丁威 Fenobucarb	420	y=1 .0579 + 3 .4345x	14 .05(14 .05 ~ 16 .07)
氟硅菊酯 Silafluofen	420	y=2 .2695 + 2 .2651x	16 .05(13 .62 ~ 18 .96)
吡虫啉 Imidacloprid	360	y=3 .3970 + 1 .3270x	16 .14(12 .62 ~ 20 .84)
醚菊酯 Ethofenprox	420	y=1 .9510 + 2 .1407x	26 .56(22 .36 ~ 31 .52)
残杀威 Propocarb	360	y=1 .0673 + 2 .4352x	41 .22(35 .04 ~ 48 .53)
混灭威 Dimethacarb	420	y= - 0 .1751 + 3 .1486 x	44 .11(38 .44 ~ 50 .67)
三唑磷 Triazophos	360	y=1 .5980 + 1 .9929x	50 .94(42 .28 ~ 62 .14)
甲胺磷 Methamidophos	360	y= - 0 .2198 + 2 .7749 x	74 .05(65 .48 ~ 88 .23)
乐果 Dimethoate	420	y=0 .0985 + 2 .2697x	144 .39(122 .56 ~ 170 .84)
马拉硫磷 Malathion	420	y=0 .5793 + 1 .4307x	1240 .38(959 .52 ~ 1722 .29)

表 5 20 种药剂对 2005 年和 2006 年江苏南京褐飞虱种群 3 龄若虫的毒力

Table 5 . Toxicities of 20 insecticides to the 3rd instar nymphs of the populations NJ05 and NJ06 of *N. lugens*.

杀虫剂 Insecticide	2005		2006	
	毒力回归方程 LD- Pline	LC ₅₀ (95%置信限) LC ₅₀ (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)	毒力回归方程 LD- Pline	LC ₅₀ (95%置信限) LC ₅₀ (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)
氟虫腈 Fipronil	y=7 .2077 + 2 .8234 x	0 .17(0 .14 ~ 0 .19)	y=6 .7882 + 2 .3287 x	0 .17(0 .15 ~ 0 .20)
噻虫嗪 Thiamethoxam	y=5 .5234 + 1 .8918 x	0 .53(0 .43 ~ 0 .67)	y=6 .5115 + 1 .6865 x	0 .13(0 .10 ~ 0 .16)
噻嗪酮 Buprofezin	y=5 .0673 + 1 .6572 x	0 .92(0 .74 ~ 1 .13)	y=6 .7674 + 2 .3776 x	0 .18(0 .15 ~ 0 .21)
烯啶虫胺 Nitenpyram	y=4 .8863 + 1 .5581 x	1 .18(0 .96 ~ 1 .49)	y=5 .3777 + 1 .7190 x	0 .60(0 .48 ~ 0 .80)
啶虫脒 Acetamiprid	y=3 .7837 + 1 .7043 x	5 .17(4 .23 ~ 6 .42)	y=2 .9766 + 1 .9437 x	10 .99(9 .06 ~ 13 .37)
毒死蜱 Chlopyrifos	y=3 .6933 + 1 .7492 x	5 .59(4 .58 ~ 6 .93)	y=3 .8691 + 2 .3507 x	3 .03(2 .57 ~ 3 .59)
异丙威 Isoprocarb	y=3 .1868 + 2 .1006 x	7 .30(6 .00 ~ 8 .90)	y=2 .1234 + 2 .2012 x	20 .27(16 .83 ~ 25 .31)
猛杀威 Promecarb	y=2 .3544 + 2 .4319 x	12 .24(10 .42 ~ 14 .47)	y=2 .4489 + 1 .9308 x	20 .95(17 .10 ~ 26 .74)
氟硅菊酯 Silafluofen	y=3 .1375 + 1 .6741 x	12 .96(10 .53 ~ 16 .38)	y=2 .7399 + 2 .0040 x	13 .42(11 .10 ~ 16 .24)
仲丁威 Fenobucarb	y=0 .5142 + 3 .4968 x	19 .18(16 .61 ~ 21 .91)	y=1 .8792 + 2 .3304 x	21 .84(18 .36 ~ 25 .94)
醚菊酯 Ethofenprox	y=2 .6548 + 1 .7751 x	20 .95(17 .07 ~ 25 .44)	y=2 .4496 + 1 .8527 x	23 .80(19 .12 ~ 31 .36)
丁硫克百威 Carbosulfan	y=2 .2347 + 2 .0291 x	23 .06(19 .30 ~ 27 .91)	y=2 .3491 + 2 .0866 x	18 .64(15 .46 ~ 23 .12)
速灭威 Metalcarb	y=0 .2555 + 3 .3576 x	25 .89(22 .55 ~ 29 .64)	y=2 .4595 + 1 .7414 x	28 .77(23 .11 ~ 37 .51)
混灭威 Dimethacarb	y=0 .1621 + 3 .1992 x	32 .53(28 .29 ~ 37 .57)	y=1 .2863 + 2 .2783 x	42 .66(35 .42 ~ 53 .57)
吡虫啉 Imidacloprid	y=2 .2642 + 1 .6534 x	45 .15(36 .31 ~ 56 .68)	y=2 .8200 + 1 .8415 x	15 .27(12 .31 ~ 18 .62)
残杀威 Propocarb	y= - 0 .5267 + 3 .2769 x	48 .60(42 .16 ~ 55 .75)	y=2 .2275 + 1 .6673 x	46 .02(36 .56 ~ 61 .23)
甲胺磷 Methamidophos	y=0 .8927 + 2 .3562 x	55 .36(46 .93 ~ 66 .03)	y=1 .5979 + 2 .0923 x	42 .27(35 .18 ~ 51 .77)
乐果 Dimethoate	y=0 .6449 + 1 .9881 x	155 .09(129 .66 ~ 187 .08)	y=2 .1875 + 1 .2583 x	171 .86(130 .46 ~ 241 .19)
氯噻啉 Imidaclothiz			y=2 .7550 + 2 .4047 x	10 .17(7 .39 ~ 14 .09)
三唑磷 Triazophos			y=2 .0505 + 1 .6908 x	55 .52(44 .53 ~ 72 .29)

128 .79) mg /L(图 1) ,抗性上升 5 .5 倍 ;对氯噻啉、噻虫啉和啶虫脒 ,抗性分别上升 0 .8、0 .8 和 0 .6 倍 ,表现出明显的交互抗性 ;对吡虫啉、噻虫嗪和烯啶虫胺的抗性上升倍数分别为 0 .4、0 .1 和 0 .1 倍 ,没有

明显的交互抗性(筛选前后 LC₅₀值 95%置信限重叠,差异不显著)(表 6)。因此 ,可推荐吡虫啉、噻虫嗪和烯啶虫胺用于田间防治对吡虫啉产生抗性的褐飞虱。

表 6 褐飞虱抗吡虫啉品系对新烟碱类杀虫剂的交互抗性

Table 6 . Cross resistance of imidacloprid resistant strain of *N. lugens* to other neonicotinyl insecticides .

药剂 Insecticide	种群 ¹⁾ Strain ¹⁾	毒力回归方程 LD P line	LC ₅₀ (95% 置信限) LC ₅₀ (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)	抗性倍数 Resistance ratio(RR)	抗性增加倍数 Increased ratio of RR
吡虫啉 Imidacloprid	S	$y=7.0409+2.1598x$	0.08(0.05~0.11)	1.00	
	JPS	$y=2.6329+1.9653x$	16.01(13.36~19.39)	200.13	
	R	$y=0.9214+2.0226x$	103.88(86.07~128.79)	1298.50	6.5
氯噻啉 Imidaclothiz	S	$y=6.0030+2.0985x$	0.33(0.27~0.40)	1.00	
	JPS	$y=2.0793+2.4700x$	15.22(13.03~17.88)	46.12	
	R	$y=0.6373+3.0450x$	27.09(23.45~31.58)	82.09	1.8
噻虫啉 Thiadoprid	S	$y=3.4702+1.3535x$	13.50(10.60~17.70)	1.00	
	JPS	$y=1.3910+2.5731x$	25.27(21.52~29.51)	1.87	
	R	$y=-0.1603+3.0951x$	46.48(40.44~53.73)	3.44	1.8
啶虫脒 Acetamiprid	S	$y=2.8362+2.4652x$	7.55(6.42~9.01)	1.00	
	JPS	$y=2.9687+2.2145x$	8.27(6.55~9.98)	1.10	
	R	$y=2.6295+2.1372x$	12.86(10.83~15.26)	1.70	1.6
呋虫胺 Dinotefuran	S	$y=7.3537+2.7162x$	0.14(0.11~0.18)	1.00	
	JPS	$y=6.6448+2.3122x$	0.19(0.16~0.23)	1.36	
	R	$y=6.3967+2.4861x$	0.27(0.21~0.37)	1.93	1.4
噻虫嗪 Thiamethoxam	S	$y=7.1340+2.1840x$	0.11(0.09~0.12)	1.00	
	JPS	$y=5.3216+2.0335x$	0.69(0.58~0.83)	6.27	
	R	$y=5.1588+1.4391x$	0.78(0.55~1.14)	7.09	1.1
烯啶虫胺 Nitenpyram	S	$y=5.7085+2.1738x$	0.47(0.25~0.61)	1.00	
	JPS	$y=5.8546+4.6070x$	0.65(0.58~0.73)	1.38	
	R	$y=5.5653+3.5786x$	0.70(0.61~0.79)	1.49	1.1

¹⁾S - 敏感品系 ; JPS - 筛选起始品系 ; R - 抗性品系。

¹⁾S , Susceptible strain ; JPS , Original reference strain ; R , Resistant strain .

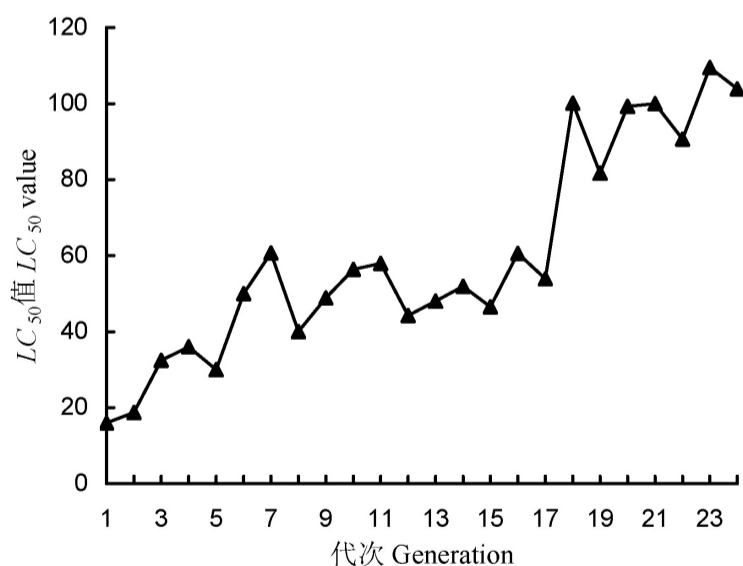


图 1 室内筛选下褐飞虱对吡虫啉抗性发展

Fig. 1 Resistance dynamics of *N. lugens* to imidacloprid under selection in laboratory .

3 讨论

根据 6 类 20 余种供试药剂对不同年份及不同水稻生态区褐飞虱种群的毒力和不同褐飞虱田间种群对吡虫啉的抗性水平,推荐噻嗪酮、氟虫腈、噻虫嗪、烯啶虫胺、毒死蜱、异丙威、猛杀威、丁硫克百威等 8 种药剂作为大田药效试验的候选药剂。根据大田药效试验结果,其中少数品种同时要要进行对天敌

安全性评估和室内抗性风险评估,最终从上述候选药剂中筛选出替代高毒农药的药剂。

本文的毒力数据表明,昆虫生长调节剂噻嗪酮对褐飞虱仍具有较高的毒力,特别是对吡虫啉产生抗性的褐飞虱表现出很高的生物活性。噻嗪酮对褐飞虱低龄若虫具有较高的触杀活性,虽然对成虫和卵的直接致死活性较低,但却表现出良好的亚致死效应,如缩短成虫寿命,减少其产卵量及降低卵的孵化率等^[13-14],而且对天敌比较安全,与常规药剂之间没有明显的交互抗性,是防治抗性褐飞虱的理想替代药剂^[15]。但近年来监测到一些地区的褐飞虱种群对噻嗪酮已产生低至中等水平抗性,且室内抗性选育结果表明,连续用噻嗪酮处理褐飞虱,存在很快产生抗性的风险(未发表资料)。因此,在生产上必须强调噻嗪酮与其他类别的杀虫剂交替轮换使用,以延缓抗性的发展。

氟虫腈属于苯基吡啶类杀虫剂,作用方式主要是胃毒和触杀作用,也具有一定的内吸传导作用^[16]。氟虫腈对多种水稻害虫具有高效、广谱及持效期长等特点,以及与常用药剂没有或很少有交互抗性^[17]。由于已有报道水稻害虫二化螟对氟虫腈

产生了中等水平抗性^[19 20] ,而且近年来已监测到一些地区的褐飞虱种群对氟虫腈已产生低至中等水平抗性(未发表资料)。2008年6月1日专利保护期终止,该药剂被允许在国内生产,田间使用量或使用次数将会明显增加,将导致褐飞虱抗性明显上升。因此,必须重视对氟虫腈的科学合理使用,以延缓稻飞虱抗药性的发展。

研究害虫对杀虫剂的交互抗性水平和交互抗谱是进行杀虫剂轮用或混用的基础^[21]。新烟碱类杀虫剂是当前世界上发展最快的一类杀虫剂,其靶标害虫主要是同翅目的蚜虫、粉虱和飞虱以及鞘翅目的甲虫等^[22]。目前,在世界各地,新烟碱类杀虫剂已成为治理这些抗性害虫的有效药剂。一些研究表明,马铃薯甲虫、烟粉虱和黑腹果蝇的田间种群或室内筛选种群对吡虫啉的敏感性降低后对未曾使用的其他新烟碱类杀虫剂如噻虫嗪和啉虫脒也表现出敏感性下降^[23 26]。20世纪90年代初期,吡虫啉被引进中国,因其具有很高杀虫活性、持效期长等特点,尤其对一些同翅目害虫特效^[27],迅速成为防治褐飞虱的主要杀虫剂^[28],在亚洲其他一些国家和地区也广泛用于褐飞虱的防治,有效地控制了褐飞虱的危害^[15]。然而,由于2005年田间褐飞虱种群对吡虫啉产生了明显的抗药性,我国已经要求暂停使用吡虫啉防治高抗褐飞虱(全国农业技术推广服务中心2005年农技植保函270号),吡虫啉对田间褐飞虱种群的选择压明显降低;另外,尽管2005年采集的南宁和南京褐飞虱种群分别与2006年采集的南宁和南京褐飞虱种群地点相同,但褐飞虱是一种重要迁飞性害虫,2006年采集的南宁和南京褐飞虱种群已不是2005年南宁和南京本地留下的虫源,两年所采集种群的用药背景并不相同。选择压降低和用药背景不同也许是2006年种群对吡虫啉抗性倍数比2005年下降的重要原因。

高抗吡虫啉的褐飞虱种群对氯噻啉、噻虫啉和啉虫脒表现出明显的交互抗性,而对呋虫胺、噻虫嗪和烯啶虫胺则没有交互抗性,因而可考虑推荐呋虫胺、噻虫嗪和烯啶虫胺用于防治田间褐飞虱,但也要注意这些新烟碱类杀虫剂与噻嗪酮、氟虫腈及毒死蜱等不同作用机制的杀虫剂交替轮换使用,以延缓褐飞虱抗药性的发展。

近年来,褐飞虱在亚洲不少国家普遍猖獗为害,具有发生面积及范围扩大、暴发频率增加和为害程度加重等显著特点,给水稻生产构成了严重威胁。为了延缓褐飞虱抗药性的发生与发展,延长药剂的

使用寿命,实现褐飞虱的持续有效治理,保障水稻优质高产,必须做好褐飞虱的抗性治理。

(1) 加强抗性监测工作。考虑到褐飞虱具有远距离迁飞习性,可在大范围内迁移为害,其虫源地的发生和防治情况对于迁入区有较大影响,应按照迁飞途径选取有代表性的监测点,加强对高效杀虫剂的抗性监(检)测,明确抗性水平;同时也应加强国际间的交流与合作,需要明确我国虫源地越南和泰国褐飞虱抗性动态,为科学用药和预防性抗性治理提供依据。

(2) 鉴于褐飞虱对吡虫啉产生明显抗性,根据褐飞虱对吡虫啉的抗性监测结果,提出如何限制或暂停使用吡虫啉的意见,以延缓褐飞虱对吡虫啉抗性的发展。

(3) 加强新药剂的开发研究,加快筛选和示范推广防治褐飞虱高效新药剂和混剂的步伐,为制定药剂轮用方案和农药企业的生产提供理想药剂品种。

(4) 加强综合防治的其他各项措施,包括农业防治、生物防治和保护利用天敌等。通过调整耕作制度、合理选择水稻品种、改进栽培方法、加强肥水管理及充分发挥天敌的控害作用等,来恶化褐飞虱的生存条件,以减少化学农药的使用量,从而减轻药剂对害虫的选择压力,使得褐飞虱的危害和抗药性的发展得到持续有效的控制。

谢辞:南京农业大学程遐年教授在实验及论文写作过程中给予指导和帮助,特致谢忱。

参考文献:

- [1] Heinrichs E A. Impact of insecticides on the resistance and resurgence of rice planthopper//Denno R F, Perfect T J. Planthopper: Their Ecology and Management. New York: Chapman and Hall Press, 1994: 571-614.
- [2] 丁锦华, 苏建亚. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社, 2001: 165-169.
- [3] Nagata T. Insecticide resistance and chemical control of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal). *Bull Kyushu Nat Agric Exp Stat*, 1982, 22(1): 49-64.
- [4] Nagata T, Moriya S. Resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) to Lindane. *Jpn J Appl Entomol Zool*, 1974, 18: 73-80.
- [5] Nagata T, Masuda T, Moriya S. Development of insecticide resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae). *Jpn J Appl Entomol Zool*, 1979, 14(3): 264-269.

- [6] Endo S, Nagata T, Kawabe S, et al. Changes of insecticide susceptibility of the white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) and the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal). *Jpn J Appl Entomol Zool*, 1988, 23: 417-421.
- [7] Hirai K. Recent trends of insecticide susceptibility in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae). *Jpn J Appl Entomol Zool*, 1993, 28(3): 339-346.
- [8] Endo S, Tsurumachi M. Insecticide susceptibility of the brown planthopper and the white backed planthopper collected from southeast Asia. *J Pestic Sci*, 2001, 26(1): 82-86.
- [9] 沈晋良, 吴益东. 棉铃虫抗药性及其治理. 北京: 中国农业出版社, 1995: 25-280.
- [10] Liu Z W, Han Z J, Wang Y C, et al. Selection for imidacloprid resistance in *Nilaparvata lugens* (Stal): Cross resistance patterns and possible mechanisms. *Pest Manag Sci*, 2003, 59: 1355-1359.
- [11] 庄永林, 沈晋良, 陈 峥. 三唑磷对不同翅型稻褐飞虱繁殖力的影响. 南京农业大学学报, 1999, 22(3): 21-24.
- [12] 林祥文, 沈晋良. 棉铃虫对辛硫磷抗性风险评估与预报. 昆虫学报, 2001, 44(4): 462-468.
- [13] Ishaaya I, Mendelson V, Melamed madjar V. Effect of buprofezin on embryogenesis and progeny formation of sweet potato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *J Econ Entomol*, 1988, 81: 781-784.
- [14] Chida M, Asai T, Sugimoto T. Inhibition of chitin deposition and chitin biosynthesis by a new growth regulator, buprofezin, in *Nilaparvata lugens*. *Agric Biol Chem*, 1985, 49: 1233-1234.
- [15] 程遐年, 吴进才, 马 飞. 褐飞虱研究与进展. 北京: 中国农业出版社, 2003: 229-262.
- [16] 吴世雄. 一种防治地下与叶面害虫的新型广谱杀虫剂 Fipronil. 农药, 1994, 33(2): 35-36.
- [17] Colliot F, Kukorowski K A, Hawkins D W, et al. Fipronil: A new soil and foliar broad spectrum insecticide//Proceedings of Brighton trop protection conference pests and Diseases. Farnham, Surrey, UK: BCPC, 1992: 29-34.
- [18] 奚本贵, 秦吉洋, 张 桥, 等. 大发生年份不同药剂防治褐飞虱的效果. 安徽农业科学, 2007, 35(13): 3905-3906.
- [19] 姜卫华, 韩召军, 郝鸣丽. 二化螟对氟虫腈抗性初探. 中国水稻科学, 2005, 19(6): 577-579.
- [20] 曹明章, 沈晋良, 张金振, 等. 二化螟抗药性监测和对三唑磷抗性的遗传分析. 中国水稻科学, 2004, 18(1): 73-79.
- [21] Wen Z M, Scott J G. Cross resistance to imidacloprid in strain of german cockroach (*Blattella germanica*) and house fly (*Musca domestica*). *Pestic Sci*, 1997, 49: 367-371.
- [22] 唐振华, 陶黎明, 李 忠. 害虫对新烟碱类杀虫剂的抗药性及其治理策略. 农药学学报, 2006, 8(3): 195-202.
- [23] Mota Sanchez D, Hollingworth R M, Grafius E J, et al. Resistance and cross resistance to neonicotinoid insecticides and spinosad in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pest Manag Sci*, 2006, 62: 30-37.
- [24] Elbert A, Nauen R. Resistance of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to insecticides in southern Spain with special reference to neonicotinoids. *Pest Manag Sci*, 2000, 56: 60-64.
- [25] Rauch N, Nauen R. Biochemical markers linked to neonicotinoid cross resistance in *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Arch Biochem Biophys*, 2003, 54(4): 165-176.
- [26] Le Goff G, Boundy S, Daborn P J, et al. Microarray analysis of cytochrome P450 mediated insecticide resistance in *Drosophila*. *Insect Biochem Molec Biol*, 2003, 33: 701-708.
- [27] Sone S, Tsuboi S, Otsu Y, et al. Mechanisms of low susceptibility to imidacloprid in a laboratory strain of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén. *J Pestic Sci*, 1997, 22(3): 236-237.
- [28] 孙建中, 方继朝, 夏礼如, 等. 灭虫精的杀虫活性及田间防治褐飞虱的应用研究. 昆虫学报, 1996, 39(1): 37-45.