

褐飞虱对噻嗪酮的抗药性监测

李文红¹ 高聪芬¹ 王彦华¹ 庄永林² 戴德江³ 沈晋良^{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张家港出入境检验检疫局, 江苏 张家港 215633; ³浙江省植物保护检疫局, 浙江 杭州 310020; * 通讯联系人, E-mail: jlshe@njau.edu.cn)

Monitoring of Resistance to Buprofezin in Brown Planthopper , *Nilaparvata lugens* (Homoptera : Delphacidae)

LI Wen hong¹ , GAO Cong fen¹ , WANG Yan hua¹ , ZHUANG Yong lin² , DAI De jiang³ , SHEN Jin liang^{1,*}

(¹ Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Disease and Insects , Ministry of Agriculture ; Pesticide Science Department , Plant Protection College , Nanjing Agricultural University , Nanjing 210095 , China ; ² Zhangjiagang Entry Exit Inspection and Quarantine Bureau in Jiangsu Province , Zhangjiagang 215633 , China ; ³ Bureau of Plant Protection and Quarantine in Zhejiang Province , Hangzhou 310020 , China , * Corresponding author , E mail : jlshe@njau.edu.cn)

Abstract : Rice stem dipping method was used to monitor the susceptibility of *Nilaparvata lugens* (Stål) to buprofezin in 27 field populations , which were collected from eight provinces (region) in China from 1996 to 2007 . The results showed that the populations from Jiangsu Province [Jiangpu (JPZY) , Yizheng (YZZY) and Nantong (NTZY)] , Anhui Province (Anqing , AQNS) , and Guangxi [Nanning (GXNY) and Guilin (GLNS)] were very susceptible to buprofezin from 1996 to 2002 , with resistance ratios of 0.3 to 3.5 fold . However , the populations of Jiangsu Province [Jiangpu (JPZY) , 2005] and Hainan Province [Lingshui (HNLS) , 2007] had developed a moderate level of resistance to buprofezin (28.8 and 19.4 fold , respectively) ; the populations from Guangxi [Nanning (GXNY) and Guilin (GLNS)] , Hunan Province [Changde (CDTY)] , Jiangxi Province [Xinjian (XJSM)] , Zhejiang Province [Yuyao (YYLJ)] , Anhui Province [Hexian (HXLY) and Qianshan (QSMC)] , and Jiangsu Province [Nantong (NTZY)] showed a low level of resistance (5.6 to 9.1 fold) from 2005 to 2007 ; and the populations from Jiangxi Province [Shanggao (SGMS)] , Zhejiang Province [Lanxi (LXYC)] and Hubei Province [Xiaogan (XGXC)] in 2006 were susceptible to buprofezin (2.5 to 4.1 fold) . The *N. lugens* collected from Anhui Province [Anqing (AQNS)] in 1996 had been selected with buprofezin for 13 generations in intermission during 22 generations , resulting in a LC_{50} decrease of 30% , and there was no significant difference in susceptibility between post and pre selections . However , after successive selection for 15 generations , the resistance ratio ascended to 1157.7 fold , which showed that *N. lugens* had the risk of developing a high level of resistance to buprofezin if this insecticide was applied successively and alone . The strategy of resistance management of *N. lugens* was also proposed .

Key words : *Nilaparvata lugens* ; buprofezin ; resistance monitoring ; resistance selection ; realized heritability

摘要 : 1996 - 2007 年间采用稻茎浸渍法测定了我国 8 省(区)27 个褐飞虱种群对噻嗪酮的敏感性。在 1996 - 2002 年间, 江苏[江浦(JPZY)、仪征(YZZY)和南通(NTZY)]、安徽[安庆(AQNS)]、广西[南宁(GXNY)和桂林(GLNS)]褐飞虱种群对噻嗪酮均为敏感至敏感性下降(抗性倍数为 0.3~3.5 倍)。在 2005 - 2007 年间, 监测到江苏[江浦(JPZY), 2005 年]和海南[陵水(HNLS), 2007 年]褐飞虱种群对噻嗪酮达中等水平抗性(抗性倍数分别为 28.8 倍和 19.4 倍); 其余种群如广西[南宁(GXNY)和桂林(GLNS)]、湖南[常德(CDTY)]、浙江[余姚(YYLJ)]、江西[新建(XJSM)]、安徽[和县(HXLY)、潜山(QSMC)]及江苏[南通(NTZY)]等地褐飞虱种群对噻嗪酮为低水平抗性(抗性倍数为 5.6~9.1 倍); 而江西[上高(SGMS)]、浙江[兰溪(LXYC)]和湖北[孝感(XGXC)]3 个褐飞虱种群对噻嗪酮仍为敏感至敏感性下降(抗性倍数 2.5~4.1 倍)。室内饲养 22 代, 用噻嗪酮对 1996 年采自安徽[安庆(AQNS)]的褐飞虱间断筛选 13 代, 它的 LC_{50} 下降了 30% , 筛选前后抗性水平没有明显差异, 随后连续筛选 15 代, 抗性倍数达 1157.7 倍。上述结果表明, 褐飞虱对噻嗪酮已产生低到中等水平抗性, 如果连续单一使用噻嗪酮, 褐飞虱将具有产生高水平抗性的风险。此外, 还对褐飞虱的抗性治理进行了讨论。

关键词 : 褐飞虱 ; 噻嗪酮 ; 抗性监测 ; 抗性筛选 ; 现实遗传力

中图分类号 : S433.3 ; S481.4 ; S482.8

文献标识码 : A

文章编号 : 1001-7216(2008)02-0197-06

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是亚洲水稻上的一种重要害虫^[1]。它通过吸取水稻的液态营养物质和传播水稻草状矮缩病(rice grassy stunt virus, RGSV)和齿叶矮缩病(rice ragged stunt virus, RRSV)等病毒病而导致水稻严重减产^[2-3]。近两年褐飞虱在我国暴发成灾给水稻生产带来了巨大的损失^[4]。这可能主要是由于我国中稻、单季稻面积大幅度扩大, 现有的水稻品种几乎不抗虫, 而褐飞虱对

有效控制其暴发成灾的高效杀虫剂吡虫啉产生了高水平抗性[全国农业技术推广服务中心于 2005 年 9 月 28 日发函给各省植物保护站, 通报了经本实验室检测的同年 8 月采于广西南宁、桂林, 湖南常德和江

收稿日期 : 2007-07-09 ; 修改稿收到日期 : 2007-09-19。

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] 国家科技支撑计划资助项目(0200738)。

第一作者简介 : 李文红(1983 -), 女, 硕士研究生。

苏江浦 3 省 4 地褐飞虱对吡虫啉产生了 70 ~ 475 倍的抗性(资料未发表)]以及气候变暖、多台风等多种原因。20 世纪 70 ~ 90 年代,国内外曾有许多关于褐飞虱对有机氯、有机磷和氨基甲酸酯等几类杀虫剂产生抗性的报道^[5-8]。

噻嗪酮(buprofezin, 商品名扑虱灵)是一种抑制昆虫表皮几丁质合成的生长调节剂(IGRs),可导致昆虫在蜕皮过程中死亡,对褐飞虱具有很高的触杀活性,特别是对若虫防治效果尤佳^[9-10]。20 世纪 80 年代后噻嗪酮引进我国用于稻飞虱的防治,但 90 年代初吡虫啉大量应用后,噻嗪酮的使用呈明显下降趋势。尽管褐飞虱对其抗药性国内曾有报道^[11-13],但上述监测方法中有的采用药膜法和点滴法,显然不能正确反映褐飞虱对持效期很长的噻嗪酮的敏感性变化。鉴于 2005 年来褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性,从 2005 年开始使用噻嗪酮防治褐飞虱的用量大幅度增加,因此,监测其抗性发展与进行抗性治理研究具有重要的理论与应用价值。本研究采用改进的稻茎浸渍法监测 1996 - 2007 年期间我国主要稻区褐飞虱种群对噻嗪酮的敏感性变化,并在室内进行了间断与连续筛选条件下抗性发展的风险评估,以期为褐飞虱的科学用药和抗性治理提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

敏感品系 1:1993 年由程遐年教授采自江苏省江浦县植物保护站预测圃第 1 代成虫,在室内用水稻饲养,于 1996 年引入本实验室后由庄永林博士用单对选育法对噻嗪酮进行敏感品系的选育得到。该种群在室内不接触任何药剂情况下用汕优 63 饲养约 70 代以上供测试用。

敏感品系 2:2006 年由杭州化工研究院股份有限公司提供。该种群在室内不接触任何药剂情况下用 TN1 饲养约 8 代后供测试用。

用稻茎浸渍法测定了噻嗪酮对上述敏感品系 1 和敏感品系 2 的 LC_{50} 。25%噻嗪酮可湿性粉剂对两品系的 LC_{50} 值分别为 0.268 mg/L 和 0.245 mg/L,即两品系对噻嗪酮敏感性基本相同,故可作为供参照用的敏感品系。

田间监测种群:于 1996 - 1997、1999、2001 - 2002 及 2005 - 2007 年分别采自广西壮族自治区南宁市广西农业科学院(种群代号为 GXNY,下同)和桂林农业科学研究所试验田(GLNS)、江苏省江浦

县植物保护站预测圃(JPZY)、南通市植物保护站预测圃(NTZY)和仪征市植物保护站预测圃(YZZY),湖南省常德市桃源县桃花园镇大田(CDTY),江西省新建县生米镇大田(XJSM)和上高县蒙山镇大田(SGMS),安徽省安庆农业科学研究所试验田(AQNS)、和县历阳镇大田(HXLY)和潜山县梅城镇大田(QSMC),湖北省孝感市孝昌县丰山镇大田(XGXC),浙江省余姚市兰江街道大田(YYLJ)和兰溪市永昌街大田(LXYC),海南省陵水县大田(HNLS)等共 27 个大田种群。每个种群采集约 300 头成虫、300 ~ 600 头若虫或适量的卵块,带回室内,在不接触任何药剂的情况下用汕优 63 稻株隔离饲养于温室养虫笼中,并在室内以 F_1 或 F_2 代标准一致的 3 龄中期若虫供测试用(表 1)。在 1996 - 2007 年期间通常采集当地二代褐飞虱种群进行抗性监测,但 2005 - 2007 年因为褐飞虱对吡虫啉产生明显抗性,为了明确它们对吡虫啉抗性的发展情况,增加了采集地点和代次,同时测定了对噻嗪酮的抗性进展。

室内选育种群:1996 年采自安徽省安庆市农业科学研究所试验田的褐飞虱(AQNS)迁入代成虫,带回室内,用汕优 63 稻株隔离饲养于温室养虫笼中,至下一代 3 龄若虫时供抗性筛选用。测得第 1 代试虫对噻嗪酮的 LC_{50} 为 0.61 mg/L。以后各代用适当浓度的噻嗪酮进行间断或连续处理。

1.2 供试药剂

25%噻嗪酮可湿性粉剂,由江苏省常州市农药厂提供,供 1996 - 2002 年和 2007 年测定用,98.1%噻嗪酮原药,由江苏省常隆化工有限公司提供。在室内用丙酮溶剂和 Triton X-100 乳化剂加工成含 100 g/L 乳化剂的浓度为 25 g/L 的噻嗪酮乳油,供 2005 - 2007 年测定用。

1.3 生物测定方法

参照庄永林和沈晋良^[14]报道的稻茎浸渍法。吸取标准一致的 3 龄中期若虫放入培养杯中,每杯 20 头,每浓度重复 3 次,共 60 头。以清水处理为对照。接虫后把培养杯放入温度为 (26 ± 1) ,光周期为 16 h 光照 8 h 黑暗的培养箱中饲养,120 h 后检查死虫数。用本实验室建立的生物测计数据处理与管理系统(BA)计算 LD 、 P line、 LC_{50} 值及其 95%的置信限,该 BA 系统几率值分析结果与美国 SAS 统计软件的几率值分析结果完全一致^[15]。

1.4 室内抗性选育方法

采用稻茎(或稻苗)浸渍法,以适当浓度的药液

表 1 1996 - 2007 年田间供试褐飞虱种群的采集

Table 1 . Collection of tested populations of *N. lugens* in 1996 - 2007 .

地点 (种群) Location (Population)	年份 Year	大田代次 Generation in paddy field	采集虫态 Developmental stage	室内测定代次 Generation for bioassay
广西南宁 Nanning , Guangxi (GXNY)	1996	F ₂	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
	1997	F ₂	卵 Egg	F ₁
	1998	F ₂	成虫 Adult	F ₁
	1999	F ₂	成虫 Adult	F ₁
	2002	F ₂	卵 Egg	F ₂
	2005	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
广西桂林 Guilin , Guangxi (GLNS)	1996	F ₁	成虫 Adult	F ₁
	1997	F ₂	成虫 Adult	F ₁
	2005	F ₄	卵 Egg	F ₁
安徽安庆 Anqing , Anhui (AQNS)	1996	F ₀	成虫 Adult	F ₁
	1997	F ₀	成虫 Adult	F ₂
江苏江浦 Jiangpu , Jiangsu (JPZY)	1996	F ₂	成虫 Adult	F ₁
	1997	F ₃	成虫 Adult	F ₁
	2001	F ₂	5 龄若虫 5th instar nymph	F ₁
	2005	F ₂	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
	2006	F ₂	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
江苏仪征 Yizheng , Jiangsu (YZZY)	1998	F ₂	成虫 Adult	F ₁
江苏南通 Nantong , Jiangsu (NTZY)	1999	F ₂	成虫 Adult	F ₁
	2006	F ₃	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
湖南常德 Changde , Hunan (CDTY)	2005	F ₃	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
江西新建 Xinjian , Jiangxi (XJSM)	2005	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
浙江余姚 Yuyao , Zhejiang (YYLJ)	2005	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
安徽和县 Hexian , Anhui (HXLY)	2005	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
浙江兰溪 Lanxi , Zhejiang (LXYC)	2006	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
江西上高 Shanggao , Jiangxi (SGMS)	2006	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
湖北孝感 Xiaogan , Hubei (XGXC)	2006	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
安徽潜山 Qianshan , Anhui (QSMC)	2006	F ₄	成虫、高龄若虫 Adult , elder nymph	F ₁
海南陵水 Lingshui , Hainan (HNLS)	2007	F ₁	3 龄若虫 3rd instar nymph	F ₁

处理约 1000 头 3 龄中期若虫 ,120 h 后将存活若虫移入无虫无药处理的水稻上隔离饲养 ,繁殖至下一代供继续饲养或处理。筛选的选择压力通常应控制在 40% ~ 70% 范围内 ,选择压力太高 (如 > 70%) ,筛选后种群易被淘汰 ,无法继续筛选 ;选择压力太低 (如 < 40%) ,抗性发展减缓 ,且与大田用药的选择压力相差太大^[16 17]。

1.5 抗性现实遗传力 (h^2) 的估算

抗性现实遗传力 (realized heritability, h^2) 的估算采用 Tabashnik 等^[18] 的阈性状分析 (threshold trait analysis) 方法。现实遗传力 $h^2 = R/S$;选择反应 $R = (\text{筛选后第 } n \text{ 代 } LC_{50} \text{ 的对数值} - \text{筛选前亲代 } LC_{50} \text{ 的对数值}) / n$;选择差异 $S = i \times \rho$,其中选择强度 i 是根据公式 $i = 1.583 - 0.0193336p + 0.0000428p^2 + 3.65194/p$ ($10 < p < 80$, $p = 100 - \text{平均校正死亡率}$) 计算而得 ;表现型标准差 ρ 是筛选各代毒力回归线斜率的平均值的倒数。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱对噻嗪酮的抗性监测

采用稻茎浸渍法系统监测了我国 8 省 (区) 15

地 27 个大田褐飞虱种群对噻嗪酮的敏感性变化。结果表明 ,1996 - 2002 年 ,除了 1996 年的安徽安庆 (AQNS) 和江苏江浦 (JPZY) 褐飞虱种群对噻嗪酮处于敏感性下降阶段外 (抗性倍数分别为 3.3 和 3.5 倍) ,其余如江苏江浦 (JPZY)、江苏仪征 (YZZY) 和江苏南通 (NTZY)、安徽安庆 (AQNS) 和广西南宁 (GXNY) 和广西桂林 (GLNS) 等地褐飞虱种群对噻嗪酮均敏感 (抗性倍数为 0.3 ~ 3.0 倍)。2005 - 2007 年 ,监测到江苏江浦 (JPZY , 2005) 和海南陵水 (HNLS , 2007) 的褐飞虱种群对噻嗪酮已产生中等水平抗性 (抗性倍数分别为 28.8 倍和 19.4 ~ 20.2 倍) ;广西南宁 (GXNY) 和广西桂林 (GLNS)、湖南常德 (CDTY)、江西新建 (XJSM)、安徽和县 (HXLY) 和安徽潜山 (QSMC)、江苏江浦 (JPZY) 和江苏南通 (NTZY) 及浙江余姚 (YYLJ) 等 9 地褐飞虱已产生低水平抗性 (抗性倍数为 5.6 ~ 9.1 倍) ;但江西上高 (SGMS)、浙江兰溪 (JHLX) 和湖北孝感 (XGXC) 3 个种群仍为敏感 (抗性倍数为 2.5 ~ 4.1 倍) (表 2)。上述系统监测结果表明在 2002 年以前褐飞虱对噻嗪酮未产生抗性 ,但自从 2005 年以来 ,在我国多数稻区已产生了低 - 中等水

表 2 1996 - 2007 年褐飞虱对噻嗪酮的敏感性变化

Table 2 . Variation of susceptibility to buprofezin of *N. lugens* in 1996 - 2007 .

年份 Year	测定种群 Population	毒力回归线 LD - ρ line	L_{G_0} (95% 置信区间) L_{G_0} (95% confidence interval) / (mg · L ⁻¹)	抗性倍数 Resistance ratio	
				WP ¹⁾	EC ²⁾
1993	敏感品系 1 Susceptible strain 1	6.6499 + 2.8865x	0.27(0.21 ~ 0.32)	1.0	
1996	广西桂林 Guilin, Guangxi (GLNS)	5.9084 + 2.7657x	0.47(0.36 ~ 0.56)	1.7	
	广西南宁 Nanning, Guangxi (GXNY)	5.5693 + 4.9522x	0.77(0.72 ~ 0.83)	2.9	
	安徽安庆 Anqing, Anhui (AQNS)	5.1926 + 4.0479x	0.90(0.81 ~ 0.96)	3.3	
1997	江苏江浦 Jiangpu, Jiangsu (JPZY)	5.0403 + 1.6622x	0.95(0.78 ~ 1.30)	3.5	
	广西桂林 Guilin, Guangxi (GLNS)	5.6710 + 2.4371x	0.53(0.44 ~ 0.61)	2.0	
	江苏江浦 Jiangpu, Jiangsu (JPZY)	6.0966 + 4.7809x	0.59(0.41 ~ 0.62)	2.2	
	安徽安庆 Anqing, Anhui (AQNS)	5.5761 + 3.3036x	0.67(0.61 ~ 0.73)	2.5	
1998	广西南宁 Nanning, Guangxi (GXNY)	5.3296 + 3.7095x	0.81(0.77 ~ 0.86)	3.0	
	广西南宁 Nanning, Guangxi (GXNY)	6.1412 + 2.7128x	0.38(0.32 ~ 0.44)	1.4	
1999	江苏仪征 Yizheng, Jiangsu (YZZY)	6.7304 + 4.7309x	0.43(0.38 ~ 0.47)	1.6	
	江苏南通 Nantong, Jiangsu (NTZY)	5.8675 + 2.0430x	0.38(0.32 ~ 0.42)	1.4	
2001	广西南宁 Nanning, Guangxi (GXNY)	5.8560 + 2.3815x	0.44(0.39 ~ 0.49)	1.6	
	江苏江浦 Jiangpu, Jiangsu (JPZY)	5.7757 + 1.9185x	0.39(0.32 ~ 0.47)	1.5	
2002	广西南宁 Nanning, Guangxi (GXNY)	5.4024 + 2.2881x	0.67(0.58 ~ 0.76)	2.5	
	敏感品系 2, Susceptible strain 2, EC	6.6831 + 2.7549x	0.25(0.21 ~ 0.28)		
2005	敏感品系 2, Susceptible strain 2, WP	8.1614 + 2.1197x	0.03(0.03 ~ 0.04)		1.0
	广西南宁 Nanning, Guangxi (GXNY)	6.5052 + 2.1131x	0.19(0.14 ~ 0.24)		5.9
2006	浙江余姚 Yuyao, Zhejiang (YYLJ)	6.2491 + 1.7527x	0.19(0.15 ~ 0.24)		5.9
	江西新建 Xinjian, Jiangxi (XJSM)	6.2600 + 1.8616x	0.21(0.17 ~ 0.26)		6.6
	安徽和县 Hexian, Anhui (HXLJ)	5.8547 + 1.3501x	0.23(0.18 ~ 0.30)		7.1
	广西桂林 Guilin, Guangxi (GLNS)	6.2688 + 2.1386x	0.26(0.21 ~ 0.30)		8.1
	湖南常德 Changde, Hunan (CDTY)	5.9461 + 1.7519x	0.29(0.24 ~ 0.35)		9.1
	江苏江浦 Jiangpu, Jiangsu (JPZY)	5.0673 + 1.6572x	0.92(0.74 ~ 1.13)		28.8
	浙江兰溪 Lanxi, Zhejiang (LXYC)	7.2889 + 2.0661x	0.08(0.06 ~ 0.09)		2.5
	湖北孝感 Xiaogan, Hubei (XGXC)	7.0888 + 2.2783x	0.12(0.10 ~ 0.14)		3.7
	江西上高 Shanggao, Jiangxi (SGMS)	7.2693 + 2.5773x	0.13(0.11 ~ 0.15)		4.1
	江苏江浦 Jiangpu, Jiangsu (JPZY)	6.7674 + 2.3776x	0.18(0.15 ~ 0.21)		5.6
2007	江苏南通 Nantong, Jiangsu (NTZY)	6.1622 + 1.9044x	0.25(0.20 ~ 0.30)		7.8
	安徽潜山 Qianshan, Anhui (QSMC)	6.3389 + 2.3117x	0.26(0.22 ~ 0.31)		8.1
	海南陵水 Lingshui, Hainan (HNLS), EC	5.4546 + 2.1971x	0.62(0.52 ~ 0.73)		19.4
	海南 Lingshui, Hainan (HNLS), WP	3.1646 + 2.5049x	5.40(4.61 ~ 6.39)	20.2	

¹⁾ 采用庄永林等^[14]报道的可湿性粉剂(WP)对敏感品系 1 的 L_{G_0} 为 0.268 mg/L; ²⁾ 采用室内可湿性粉剂(WP)和乳油(EC)对敏感品系 2 的 L_{G_0} 分别为 0.245 mg/L 和 0.032 mg/L。

¹⁾ The L_{G_0} value of buprofezin (WP) in the susceptible strain 1 reported by Zhuang Yonglin et al^[14] was 0.268 mg/L; ²⁾ The L_{G_0} values of buprofezin(WP and EC) in the susceptible strain 2 were 0.245 mg/L and 0.032 mg/L, respectively.

表 3 褐飞虱对噻嗪酮室内筛选的抗性现实遗传力(h^2)的估算Table 3 . Estimation of realized heritability (h^2) for the resistance of *N. lugens* to buprofezin in the laboratory selection .

筛选阶段 Period of selection	筛选代数 No. of generations selected (n)	始 L_{G_0} Initial L_{G_0} (log)	终 L_{G_0} Final L_{G_0} (log)	选择反应 Response to selection (R)	平均存活率 Mean survival /% (p)	选择强度 Intensity of selection (i)	始斜率 Initial slope (b)	终斜率 Final slope (b)	表型标准差 Phenotypic standard deviation (ρ)	选择差异 Selection differential (S)	现实遗传力 Realized heritability (h^2)
F ₀ ~ F ₂₁	13	-0.2147	-0.3768	0.0125	37.85	1.0090	2.6553	2.4785	0.2799	0.2824	0.0152
F ₂₁ ~ F ₃₆	16	-0.3768	2.4917	0.1912	44.39	0.8914	2.4785	1.5796	0.5113	0.4558	0.4194
F ₀ ~ F ₃₆	28	-0.2147	2.4917	0.0967	41.13	0.9490	2.6553	1.5796	0.7541	0.7155	0.1350

平抗性。

2.2 褐飞虱对噻嗪酮室内抗性筛选

在室内饲养期间,采用稻茎(或稻苗)浸渍法用噻嗪酮对安徽安庆(AQNS)种群进行间断筛选 13 代(0~21,其中第 6~9、15~17 和 19~20 代未用药剂处理),与起始种群相比,抗性倍数从筛选前的

2.3 倍下降至筛选后的 1.6 倍,敏感性没有明显变化,抗性现实遗传力(h^2)为 0.0152;随后连续筛选 16 代(21~36 代),抗性从 21 代的 1.6 倍急剧上升到 36 代的 1157.7 倍,抗性现实遗传力(h^2)为 0.4194;整个 36 代期间抗性现实遗传力(h^2)为 0.1350(图 1、表 3)。

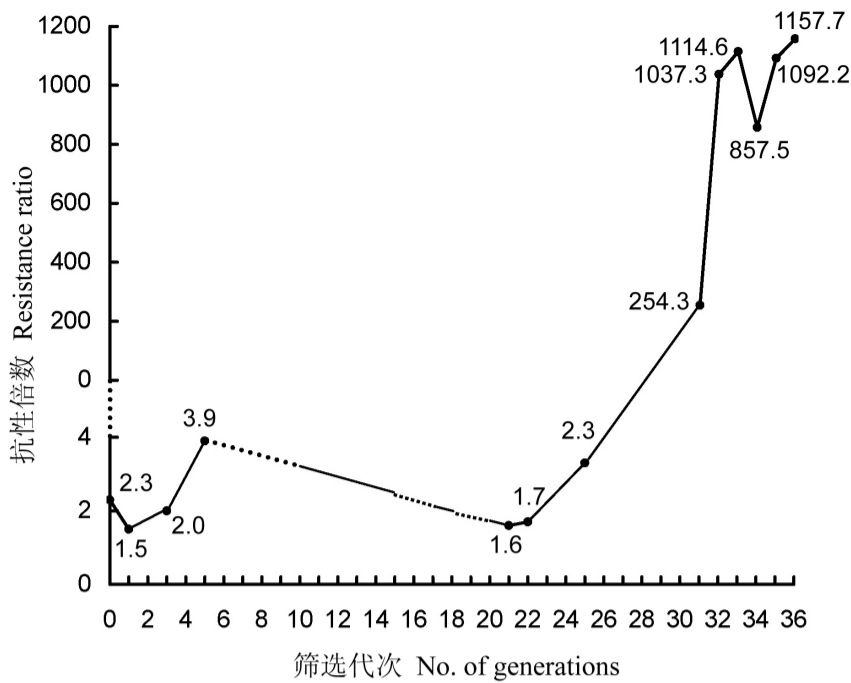


图1 室内筛选后褐飞虱对噻嗪酮的敏感性变化

Fig.1 Variation of susceptibility to buprofezin in *N. lugens* after selection with buprofezin in laboratory.

图1中实线代表用噻嗪酮处理的代次,虚线代表未用噻嗪酮处理的代次。

The real line represents for the generations treated with buprofezin, while the broken line represents for the generations untreated with buprofezin.

3 讨论

通常应根据杀虫剂的作用方式和特点来确定建立相应的抗性监测方法。噻嗪酮是一种杂环类昆虫几丁质合成抑制剂,破坏昆虫新表皮的形成,其作用方式和特点是对害虫具触杀和胃毒作用,对生物组织具有渗透活性,作用缓慢,一般药后3~7d才能达到明显药效^[19-20]。采用常规触杀毒力测定方法如药膜法和点滴法等难以正确测定其室内活性和敏感性变化。因此,本研究采用庄永林等报道的稻茎浸渍法测定了1996-2007年间我国稻区8省(区)15地27个田间褐飞虱种群对噻嗪酮的敏感性变化。监测结果表明1996-2002年间褐飞虱对噻嗪酮为敏感至敏感性降低,未产生明显抗性,而自2005年后,在我国多数稻区已产生低-中等水平抗性。其主要原因首先是在20世纪90年代,褐飞虱是一种间歇性暴发成灾的害虫,通常10年中仅有2~3年暴发成灾^[21-22],一般轻发生年份不用或仅用1次药剂防治,即可控制其危害,大发生年份一般用药1~2次,而且吡虫啉与其他药剂的使用比噻嗪酮更为普遍^[23],明显延缓了噻嗪酮抗性的发展;其次,褐飞虱是典型的远距离迁飞性害虫,对噻嗪酮的抗性是受常染色体上多基因控制的,其抗性主基因为不完全隐性遗传^[23],因此,敏感性程度不同的褐飞

虱种群在迁飞过程中交配产生的杂合子后代对该药剂又变得较为敏感,对抗性发展起到了明显的稀释和延缓作用;但从2005年起,由于褐飞虱对吡虫啉突然暴发高水平至极高水平抗性,这使得噻嗪酮在稻田的使用次数和用药量显著增加,致使该虫对噻嗪酮开始产生明显抗药性。

2007年1月1日我国已全面禁止在农业中使用甲胺磷等5种高毒农药,而噻嗪酮作为高毒农药的首批替代品种之一,更是防治褐飞虱的特效药剂。目前用于褐飞虱防治的主要药剂还有毒死蜱、氟虫腈、异丙威、敌敌畏和噻虫嗪等。由于褐飞虱已经对吡虫啉普遍产生高水平-极高水平抗性,而对噻嗪酮也开始产生低水平-中等水平抗性,可以长期用于褐飞虱防治的优异的药剂已越来越少。为此,保护好高效药剂噻嗪酮,减缓褐飞虱对其抗性的进一步发展,已迫在眉睫。

虽然我们的监测结果显示褐飞虱对噻嗪酮的抗性还没有吡虫啉严重,但褐飞虱对噻嗪酮的抗性遗传为不完全隐性^[23]。这意味着其抗性可能在后期表现明显,发展迅速,而且室内抗性筛选结果也说明如果连续使用抗性在后期发展非常快,容易达到高抗水平。因此,农业生产上应积极采取预防措施,延缓和防止褐飞虱抗药性的发展。我们认为对于研究像褐飞虱这种具有迁飞特征的害虫,一方面要继续跟踪调查由南向北迁飞路线上敏感性的变化规律,做好系统的抗性检测工作;另一方面应在综合防治的前提下,避免长期连续单一使用噻嗪酮,在褐飞虱迁出区和迁入区之间,迁入代和当地繁殖代之间,噻嗪酮可与其他类型的杀虫剂轮换使用,抓住低龄期防治,以便有效控制这类害虫抗性的发展。

谢辞:广西农业科学院龙丽萍研究员、南京农业大学程遐年教授、桂林农业科学研究所、江西省新建县植物保护站和上高县植物保护站、浙江省植物保护站、江苏省江浦县植物保护站和南通市植物保护站、安徽省植物保护站、湖北省孝感市植物保护站等先后为我们的试验提供试验试虫和各项帮助,在此深表谢意!

参考文献:

- [1] 巫国瑞,胡萃.稻飞虱.北京:农业出版社,1987:196-199.
- [2] Rivera C, Ou S H, Lida T. Grassy stunt disease of rice and its transmission by *Nilaparvata lugens* (Stål). *Plant Dis Rep*, 1966, 50: 453-456.
- [3] Ling K C, Tiongco E R, Aguiro V M. Rice ragged stunt, a

- new virus disease. *Plant Dis Rep*, 1978, 62: 701-705.
- [4] 程遐年, 吴进才, 马飞. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社, 2003: 26-36.
- [5] Nagata T, Masuda T, Moriya S. Development of insecticide resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Appl Entomol Zool*, 1979, 14(3): 264-269.
- [6] Dai S M, Sun C N. Pyrethroid resistance and synergism in *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) in Taiwan. *J Econ Entomol*, 1984, 77(4): 891-897.
- [7] 潘道一, 董成森, 张铁山. 褐飞虱化学防治研究进展. 农药, 1985, 2: 33-35.
- [8] 高辉华, 王荫长, 谭福杰, 等. 褐飞虱对杀虫剂敏感性水平的研究. 南京农业大学学报, 1987, 4(增): 65-71.
- [9] 贝亚维, 顾秀慧, 陈华平, 等. 噻嗪酮的作用方式研究. 浙江农业学报, 1995, 8(1): 30-33.
- [10] Kanno H. An approach to a novel insect growth regulator buprofezin (Applaud). *Pure & Appl Chem*, 1987, 59(8): 1027-1032.
- [11] 刘贤进, 顾正远. 褐飞虱对甲胺磷、扑虱灵的抗药性现状以及发展趋势. 植物保护, 1996, 22(2): 3-6.
- [12] 王荫长, 李国清, 邓业成, 等. 稻飞虱对噻嗪酮的抗药性. 南京农业大学学报, 1996, 19(增): 22-27.
- [13] 张存政, 黄丰. 褐飞虱生物型监测及抗药性分析. 江苏农业科学, 2002(1): 41-43.
- [14] 庄永林, 沈晋良. 稻褐飞虱对噻嗪酮的抗药性. 南京农业大学学报, 2000, 23(3): 114-117.
- [15] 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: 260-261.
- [16] 贾变桃, 沈晋良, 刘永杰. 甜菜夜蛾对虫酰肼的抗药性监测及抗性风险评估. 棉花学报, 2006, 18(3): 164-169.
- [17] 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.
- [18] Tabashnik B E, McGaughey W H. Resistance risk assessment for single and multiple insecticides: Responses of Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) to *Bacillus thuringiensis*. *J Econ Entomol*, 1994, 87(4): 834-841.
- [19] Uchida M, Asai T, Sugimoto T. Inhibition of cuticle deposition and chitin biosynthesis by a new insect growth regulator, buprofezin in *Nilaparvata lugens* (Stål). *Agric Biol Chem*, 1985, 12: 1233-1234.
- [20] Izawa Y, Uchida M, Sugimoto T, et al. Inhibition of chitin synthesis by buprofezin analogs in relation to their activity controlling *Nilaparvata lugens* (Stål). *Pestic Biochem Physiol*, 1985, 24: 343-347.
- [21] 翟保平, 张孝羲. 水稻重大害虫的灾变规律及期预警. 昆虫知识, 2000, 37(1): 41-45.
- [22] 许晓风, 马飞, 邹运鼎, 等. 褐飞虱发生系统的混沌诊断. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1359-1362.
- [23] 庄永林, 沈晋良, 戴德江, 等. 褐飞虱对噻嗪酮的抗性遗传分析. 昆虫学报, 2004, 47(6): 749-753.