

褐飞虱对吡虫啉敏感性的时空变化及现实遗传力

王彦华^{1,2,#} 李永平^{3,#} 陈进¹ 沈晋良^{1,*} 李文红¹ 高聪芬¹ 庄永林¹ 戴德江¹
周威君¹ 梁桂梅³ 邵振润³

(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; ³全国农业技术推广服务中心, 北京 100026; # 共同第一作者; * 通讯联系人, E-mail: jishen@njau.edu.cn)

Spatial and Temporal Variations in Susceptibility to Imidacloprid and Its Realized Heritability in Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens*

WANG Yan hua^{1,2,#}, LI Yong ping^{3,#}, CHEN Jin¹, SHEN Jin liang^{1,*}, LI Wen hong¹, GAO Cong fen¹, ZHUANG Yong lin¹,
DAI De jiang¹, ZHOU Wei jun¹, LIANG Gui mei³, SHAO Zhen run³

(¹Key Laboratory of Monitoring and Management of Plant Diseases and Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Institute of Quality and Standard for Agro products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; ³National Agro tech Extension and Service Center, Beijing 100026, China; # These authors contributed equally to this paper; * Corresponding author, E mail: jishen@njau.edu.cn)

Abstract: To provide a scientific basis for application of insecticides, spatial and temporal variations in susceptibility of *N. lugens* to imidacloprid were monitored by rice stem dipping method from 42 field populations in seven provinces (autonomous region) in China from 1996 to 2006. Most field populations remained susceptible from 1996 to 2003 except for a population from Guilin, Guangxi in 1997, which showed a low level of resistance. However, the surveys in 2005 indicated that 16 populations from six provinces quickly developed the resistance to imidacloprid with resistance ratios ranged from 79 to 811-fold. The data collected in 2006 revealed that the resistance levels in 11 populations from seven different provinces decreased slightly (resistance ratios ranged from 150 to 322 fold), except Tongzhou population (Jiangsu province) which developed 627-fold resistance ratio. This phenomenon might be attributed to the temporal suspension of imidacloprid for *N. lugens* control. After selection for 18 generations with imidacloprid against a laboratory population of *N. lugens*, the resistance level of *N. lugens* to imidacloprid increased from 208.3 to 1110.8 fold and the realized heritability (h^2) of the resistance was estimated as 0.1414. It implied that continuous use of imidacloprid would cause further increase in the resistance level of *N. lugens* to imidacloprid after the high resistance level was developed. Discussion on strategies of *N. lugens* resistance management was also included.

Key words: *Nilaparvata lugens*; insecticide; susceptibility; realized heritability; insecticide resistance

摘要: 为科学用药, 采用稻茎浸渍法测定了我国 7 省(区)42 个田间褐飞虱种群对吡虫啉的敏感性时空变化。结果表明, 在 1996 - 2003 年, 除了 1997 年广西桂林种群为低水平抗性(6.3 倍)外, 苏、皖、桂 3 省 13 个种群对吡虫啉为敏感至敏感性下降(< 5 倍); 然而, 2005 年苏、浙、皖、赣、湘、桂 6 省(区)16 个大田种群对吡虫啉的抗性迅速上升, 达高水平至极高水平抗性(79 ~ 811 倍); 2006 年, 除江苏通州大田种群的抗性为 627 倍外, 苏、浙、皖、赣、湘、桂、闽 7 省(区)11 个种群的抗性为 150 ~ 322 倍, 比 2005 年有一定程度下降, 这可能与暂停使用吡虫啉有关。室内用吡虫啉对褐飞虱筛选 18 代, 其抗性由筛选前的 208.3 倍上升到筛选后的 1110.8 倍, 抗性现实遗传力(h^2)为 0.1414。这暗示褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性后, 如继续使用吡虫啉防治, 其抗性可能会进一步上升。还讨论了稻褐飞虱抗药性的治理策略。

关键词: 褐飞虱; 杀虫剂; 敏感性; 现实遗传力; 抗药性

中图分类号: Q963; S435.112+3; S481+4

文献标识码: A

文章编号: 1001-7216(2008)04-0421-06

褐飞虱 (*Nilaparvata lugens* Stal) 是亚洲国家水稻上易暴发成灾的一种重要迁飞性害虫^[1]。2005 - 2006 年, 我国南方稻区褐飞虱特大发生, 严重威胁着水稻的优质高产。长期以来, 化学防治一直是控制褐飞虱的最有效途径^[2]。然而, 化学药剂的大量且不合理使用导致褐飞虱对常规的有机磷类及氨基甲酸酯类等杀虫剂产生了抗药性^[3,4]。在我国, 褐飞虱每年春夏季节自南向北迁飞, 由于在同一年的各世代发生过程中, 不断受到药剂的选择压力

作用, 其抗性水平自南向北逐代累积^[5]。

20 世纪 90 年代初期, 新型的氯化烟碱类杀虫剂吡虫啉被引进中国。因它具有杀虫活性高、持效期长等特点, 尤其对同翅目害虫有特效^[6], 迅速成

收稿日期: 2007-09-04; 修改稿收到日期: 2007-12-17。

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] 全国农技推广中心与拜耳作物科学公司合作开展的稻飞虱抗药性监测和治理项目。

第一作者简介: 王彦华(1979 -), 男, 博士研究生; 李永平(1965 -), 男, 农艺师。

为防治褐飞虱的主要杀虫剂^[7]。在亚洲一些国家也广泛用于褐飞虱的防治。吡虫啉还被广泛用于叶蝉、粉虱、蚜虫、介壳虫等的防治,至今已有报道马铃薯甲虫、桃蚜、烟粉虱等一些害虫的田间种群对吡虫啉产生抗性^[8-10]。由于吡虫啉的长期大量使用,褐飞虱对吡虫啉的敏感性已经成为人们关注的焦点。然而,尽管室内用吡虫啉连续筛选褐飞虱得到抗性品系^[11],但至今仍未见有关田间褐飞虱种群对吡虫啉抗性的系统监测结果的报道。

本研究报道自 1996 年以来我国稻区褐飞虱种群对吡虫啉的敏感性变化动态,同时对褐飞虱抗药性的现实遗传力进行分析,以期制定有效的褐飞虱抗性治理策略提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试昆虫

敏感品系:1993 年采自江苏省江浦县植物保护站预测圃第 2 代褐飞虱成虫,在室内不接触药剂的情况下以汕优 63 水稻饲养,后用单对选育法获得敏感品系。

田间种群:1996 - 2006 年,采集了我国广西(南宁和桂林)、湖南(常德)、福建(福清)、江西(上高、南昌和新建)、浙江(金华、余姚、绍兴、海盐、桐乡和嘉兴)、湖北(孝感)、安徽(安庆、宁国、潜山、和县和宣州)、江苏(苏州、无锡、高淳、南京、南通、通州、仪征和东台)等 7 省(区)27 地褐飞虱种群。每个田间褐飞虱种群每次采集约 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至孕穗期的汕优 63 水稻植株饲养,控制温度为 26 ~ 30 ℃。室内 F₁ 或 F₂ 的 3 龄中期若虫供测试用。

室内筛选起始种群:1993 年采自江苏省植物保护站预测圃褐飞虱第 2 代成虫,在室内不定期用吡虫啉喷雾处理,在饲养 120 代后,采用稻茎浸渍法^[12]测定该种群对吡虫啉的抗性倍数为 208.3 倍(该种群代号为 JPS)。

1.2 供试药剂

10% 吡虫啉可湿性粉剂和 95.3% 吡虫啉原药,均由江苏常隆化工有限公司提供。其中 10% 吡虫啉可湿性粉剂供 1996 - 2003 年测定用。2005 - 2006 年受农业部药械处委托,在室内按吡虫啉原药、10% Triton X 100 及丙酮(加足 100%)加工成 2.5% 吡虫啉乳油后进行褐飞虱对吡虫啉的抗性测定及室内现实遗传力测定。

1.3 试验方法

采用庄永林等报道的稻茎浸渍法^[12],连根拔出健壮的分蘖至孕穗初期的稻株,洗净,剪成约 10 cm 长的带根稻茎,3 株 1 组,于阴凉处晾至表面无水痕。用蒸馏水将供试药剂等比稀释成 5 ~ 6 个系列浓度,将稻茎分别在不同浓度的药液中浸 30 s,以浸蒸馏水为对照,每浓度重复 3 次。取出后晾干,以浸湿的脱脂棉包住根部放入培养杯中,挑取健壮的 3 龄中期若虫放入培养杯中,每杯 20 头,每杯为 1 个重复,每浓度重复 3 次。接虫后把培养杯放入温度为(27 ± 1) ℃,光周期为 16 h 光照/8 h 黑暗的培养箱中饲养。接虫后 96 h 检查死亡虫数。

1.4 室内抗性筛选和现实遗传力的估算

抗性筛选采用稻茎浸渍法^[12]。大约 1000 头褐飞虱 3 龄若虫处理 4 d 后,将存活的试虫转移至新鲜无药的汕优 63 水稻上饲养,繁殖至下一代供继续筛选。筛选的选择压力控制在死亡率为 40% ~ 70% (每代药剂处理浓度近似于药剂对每代褐飞虱 3 龄若虫的 LC₅₀ 值)。在室内饲养 19 代期间,用吡虫啉筛选处理了 18 代。

现实遗传力的估算采用 Tabashnik 等^[13]介绍的阈性状分析(threshold trait analysis)方法,即 $h^2 = R/S$,其中 h^2 为现实遗传力, R 为选择反应, S 为选择差异; $R = [\log(\text{终 } LC_{50}) - \log(\text{始 } LC_{50})]/n$,其中 n 为筛选代数,终 LC₅₀ 是指筛选 n 代后下一代的 LC₅₀,始 LC₅₀ 是指筛选前亲代的 LC₅₀; $S = i \times \rho$,其中 i 为选择强度; $i = 1.583 - 0.0193336\rho + 0.0000428\rho^2 + 3.65194/\rho(10 - \rho - 80)$ ^[14],可由筛选各代的平均存活率 ρ 查表求得; ρ 为表型标准差,是筛选各代毒力回归线的斜率平均值的倒数。采用 Tabashnik 等^[14]介绍的抗性预报方法,由抗性现实遗传力 h^2 ,预测不同选择压力(50% ~ 99%)下,抗性上升 10 倍所需的筛选代数 [$n = R^{-1} = (S \times h^2)^{-1} = (i \times \rho \times h^2)^{-1}$]。

1.5 统计分析

采用南京农业大学农业部病虫监测与治理重点开放实验室编制的生物测定数据处理及管理系统 Version 2.5,按 Finney(1947,1952,1972)几率值分析法计算 LD- ρ 回归方程、LC₅₀ 值及其 95% 置信区间。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^[15]。

抗性倍数 = 田间测试种群的 LC₅₀/敏感种群的 LC₅₀。

抗性水平分级标准为:抗性倍数 3 倍以下为敏

感 3~5 倍为敏感性下降, 5~10 倍为低水平抗性, 10~40 倍为中等水平抗性, 40~160 倍为高水平抗性, >160 为极高水平抗性^[15]。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱对吡虫啉的敏感性时空变化

10%吡虫啉可湿性粉剂和 2.5%吡虫啉乳油对褐飞虱敏感品系的 LC_{50} 值分别为 0.09 mg/L(0.08~0.11 mg/L) 和 0.08mg/L(0.05~0.11 mg/L) (表 1、表 2)。这两个 LC_{50} 值的 95% 置信限重叠表明上述两个不同的吡虫啉剂型对褐飞虱敏感品系具有相似的毒力。表 1 结果表明, 在 1996 - 2003 年间, 除 1997 年广西桂林种群对吡虫啉的抗性倍数达到 6.3 倍外, 其余江苏南京、仪征、南通, 安徽安庆及广西南宁、桂林 3 省(区) 13 个大田褐飞虱种群对吡虫啉抗性倍数都在 5 倍以下, 处于敏感 - 低水平抗性阶段(表 1); 但 2005 年监测到 8 月采集的 4 个褐飞虱田间种群对吡虫啉的抗性倍数为 79.1~551.8 倍, 属高水平 - 极高水平抗性, 抗性倍数依次为桂林种群(79.1 倍) < 南宁种群(206.5 倍)、常德种群(200.4 倍) < 南京种群(551.8 倍); 同年 9 - 10 月采集的江苏、浙江、安徽及江西等省的 12 个大田褐飞虱种群对吡虫啉抗性倍数高达 277.0~811.0 倍(表

2)。根据上述检测结果, 全国农业技术推广服务中心发文, 在高水平抗性地区, 停止使用吡虫啉防治褐飞虱。2006 年 6 - 8 月, 广西南宁、江西上高、江苏南京、湖北孝感、浙江金华等 5 地褐飞虱种群对吡虫啉的抗性倍数为 150.4~274.8 倍, 与 2005 年同期褐飞虱对吡虫啉的抗性相比(抗性倍数为 79.1~551.8 倍), 抗性水平没有明显上升, 而维持在 2005 年的中偏下水平, 但田间褐飞虱种群对吡虫啉仍属高水平 - 极高水平抗性。2006 年 9 - 10 月采集的江苏、浙江、安徽及福建等省 7 个褐飞虱种群, 除江苏通州种群抗性倍数高达 627.0 倍外, 其余种群的抗性倍数为 188.1~322.3 倍(表 2), 与同年 6 - 8 月份采集种群的抗性水平基本一致, 但与 2005 年同期相比(抗性倍数为 277.0~811.0 倍), 抗性水平维持在 2005 年同期的下限或有一定程度的下降。这可能与暂停使用吡虫啉防治褐飞虱有关。另外, 南宁和南京褐飞虱种群对吡虫啉抗性倍数由 2005 年的 206.5 倍和 551.8 倍分别下降为 2006 年的 150.4 倍和 190.9 倍。

2.2 褐飞虱对吡虫啉室内的抗性筛选与现实遗传力

褐飞虱对吡虫啉的抗性发展如图 1 所示。对吡虫啉具有 208.3 倍抗性的褐飞虱种群, 经过室内 18

表 1 1996 - 2003 年褐飞虱对吡虫啉的敏感性时空变化

Table 1. Spatial and temporal variations in susceptibility to imidacloprid in field populations of *N. lugens* from 1996 to 2003.

采集时间 Collected year	种群 Population	代次及虫态 Generation No. and insect stage	斜率 Slope	LC_{50} (95% 置信限) LC_{50} (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)	抗性倍数 Resistance ratio
1993	敏感 Susceptible	2 代, 成虫 The 2nd generation, adults	2.0792	0.09(0.08~0.11)	1.0 ¹⁾
1996	安徽安庆 AQAH	1 代, 成虫 The 1st generation, adults	3.5949	0.33(0.29~0.36)	3.7
1996	广西桂林 GLGX	1 代, 成虫 The 1st generation, adults	2.3891	0.37(0.32~0.43)	4.1
1996	广西南宁 NNGX	2 代, 成虫 The 1st generation, adults	2.8584	0.40(0.35~0.44)	4.4
1996	江苏南京 NJJS	2 代, 成虫 The 2nd generation, adults	2.3661	0.37(0.32~0.42)	4.1
1997	安徽安庆 AQAH	1 代, 成虫 The 1st generation, adults	2.6178	0.33(0.28~0.37)	3.7
1997	广西桂林 GLGX	2 代, 成虫 The 2nd generation, adults	2.6217	0.57(0.51~0.64)	6.3
1997	广西南宁 NNGX	2 代, 卵 The 2nd generation, eggs	3.0210	0.42(0.39~0.44)	4.7
1997	江苏南京 NJJS	3 代, 成虫 The 3rd generation, adults	3.2496	0.36(0.32~0.40)	4.0
1998	广西南宁 NNGX	2 代, 成虫 The 2nd generation, adults	3.3481	0.21(0.01~0.22)	2.3
1998	江苏仪征 YZJS	2 代, 成虫 The 2nd generation, adults	4.1345	0.22(0.19~0.24)	2.4
1999	广西南宁 NNGX	2 代, 成虫 The 2nd generation, adults	3.3536	0.12(0.10~0.14)	1.3
1999	江苏南通 NTJS	2 代, 成虫 The 2nd generation, adults	4.5779	0.11(0.09~0.13)	1.2
2002	广西南宁 NNGX	1 代, 卵 The 1st generation, eggs	1.9867	0.08(0.07~0.10)	0.9
2003	江苏南京 NJJS	2 代, 若虫 The 2nd generation, nymphs	2.2620	0.29(0.25~0.35)	3.2

¹⁾ 本实验室于 1996 年用 10%吡虫啉可湿性粉剂测定结果^[21]。

¹⁾ The result was determined with 10% imidacloprid (WP) at our laboratory in 1996^[21].

AQAH, Anqing, Anhui Province; GLGX, Guilin, Guangxi Zhuang Autonomous Region; NNGX, Nanning, Guangxi Zhuang Autonomous Region; NJJS, Nanjing, Jiangsu Province; YZJS, Yizheng, Jiangsu Province; NTJS, Nantong, Jiangsu Province. The same as in the tables below.

表 2 2005 和 2006 年褐飞虱对吡虫啉的抗药性监测

Table 2. Monitoring of resistance to imidacloprid in field populations of *N. lugens* in 2005 and 2006.

采集时间 Collected time (Year Month)	种群 Population	代次及虫态 Generation No. and insect stage	斜率 Slope	LG_{50} (95%置信限) LG_{50} (95% confidence interval) /(mg · L ⁻¹)	抗性倍数 Resistance ratio
1993	敏感 Susceptible	2代 成虫 The 2nd generation, adults	1.5118	0.08(0.05~0.11)	1.0 ¹⁾
2005-08	广西桂林 GLGX	4代 卵 The 4th generation, eggs	1.7548	6.33(4.88~7.90)	79.1
2005-08	广西南宁 NNGX	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.2580	16.52(12.39~22.03)	206.5
2005-08	湖南常德 CDHN	3代 成虫 The 3rd generation, adults	1.3270	16.03(8.69~29.52)	200.4
2005-08	江苏南京 NJJS	2代 成虫 The 2nd generation, adults	1.4067	44.14(31.68~59.18)	551.8
2005-09	安徽和县 HXAH	3代 成虫 The 3rd generation, adults	1.1880	50.01(34.86~70.73)	625.1
2005-09	安徽宣州 XZAH	3代 成虫 The 3rd generation, adults	1.7270	22.16(17.40~27.95)	277.0
2005-09	江苏高淳 GCJS	3代 成虫 The 3rd generation, adults	1.2448	26.37(17.10~38.46)	329.6
2005-09	江苏苏州 SZJS	3代 成虫 The 3rd generation, adults	2.2448	63.97(49.82~78.29)	799.6
2005-09	江苏无锡 WXJS	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.5820	32.69(24.85~42.05)	408.6
2005-09	浙江海盐 HYZJ	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.2324	46.67(35.85~63.45)	583.4
2005-09	浙江嘉兴 JXZJ	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.4092	29.03(21.89~37.91)	362.9
2005-09	浙江绍兴 SXZJ	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.4674	27.38(17.85~40.43)	342.3
2005-09	浙江桐乡 TXZJ	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.7174	64.88(49.24~85.78)	811.0
2005-09	浙江余姚 YYZJ	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.3424	45.35(32.87~62.35)	566.9
2005-10	江西南昌 NCJX	6代 若虫 The 6th generation, adults	2.2787	36.72(28.41~44.73)	459.0
2005-10	江西新建 XJJX	6代 若虫 The 6th generation, nymphs	1.4350	60.02(43.72~82.96)	750.3
2006-06	广西南宁 NNGX	2代 成虫 The 2nd generation, adults	1.9172	12.03(9.96~14.46)	150.4
2006-07	江西上高 SGJX	4代 成虫 The 4th generation, adults	2.1617	13.84(11.42~16.50)	173.0
2006-08	湖北孝感 XGHB	4代 成虫 The 4th generation, adults	2.1755	21.98(15.33~34.97)	274.8
2006-08	江苏南京 NJJS	2代 成虫 The 2nd generation, adults	1.8415	15.27(12.31~18.62)	190.9
2006-08	浙江金华 JHZJ	3代 成虫 The 3rd generation, adults	1.6054	14.01(10.88~17.42)	175.1
2006-09	安徽和县 HXAH	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.5135	19.73(15.60~24.58)	246.6
2006-09	安徽宁国 NGAH	4代 成虫 The 4th generation, adults	2.0490	25.78(21.68~30.67)	322.3
2006-09	安徽潜山 QSAH	4代 成虫 The 4th generation, adults	2.9275	15.05(9.49~30.35)	188.1
2006-09	福建福清 FQFJ	4代 成虫 The 4th generation, adults	2.0421	19.76(16.45~23.55)	247.0
2006-09	江苏通州 TZJS	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.9431	50.17(41.48~61.67)	627.0
2006-09	浙江海盐 HYZJ	4代 成虫 The 4th generation, adults	1.6349	25.19(20.40~31.03)	314.9
2006-10	江苏东台 DTJS	4代 成虫 The 4th generation, adults	2.0716	25.30(21.21~30.13)	316.3

¹⁾ 本实验室于 2005 年用自制 2.5% 吡虫啉乳油测定结果。

¹⁾ The result was determined with 2.5% imidacloprid (EC) at our laboratory in 2005.

CDHN, Changde, Hunan Province; HXAH, Hexian, Anhui Province; XZAH, Xuanzhou, Anhui Province; GCJS, Gaochun, Jiangsu Province; SZJS, Suzhou, Jiangsu Province; WXJS, Wuxi, Jiangsu Province; HYZJ, Haiyan, Zhejiang Province; JXZJ, Jiaxing, Zhejiang Province; SXZJ, Shaoxing, Zhejiang Province; TXZJ, Tongxiang, Zhejiang Province; YYZJ, Yuyao, Zhejiang Province; NCJX, Nanchang, Jiangxi Province; XJJX, Xinjian, Jiangxi Province; SGJX, Shanggao, Jiangxi Province; XGHB, Xiaogan, Hubei Province; JHZJ, Jinhua, Zhejiang Province; NGAH, Ningguo, Anhui Province; QSAH, Qianshan, Anhui Province; FQFJ, Fuqing, Fujian Province; TZJS, Tongzhou, Jiangsu Province; DTJS, Dongtai, Jiangsu Province.

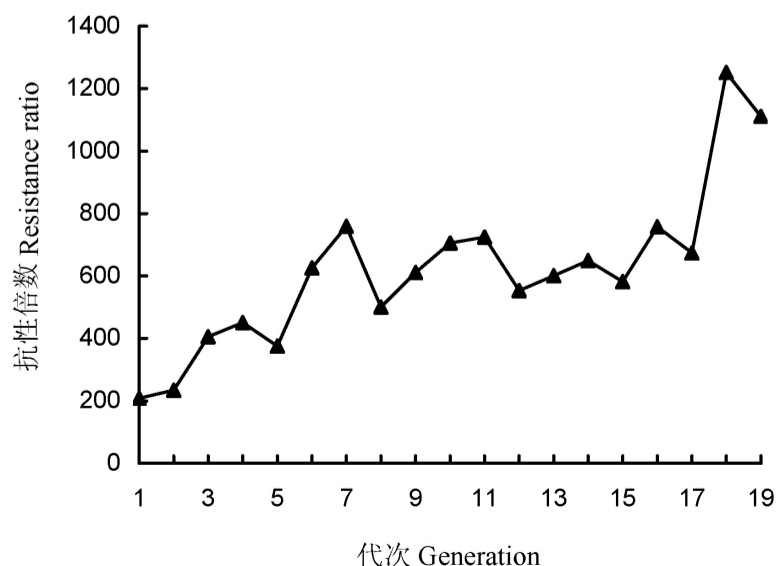


图 1 抗性筛选过程中褐飞虱对吡虫啉的抗性变化

Fig. 1 Changes in resistance of *N. lugens* during selection in laboratory.

代选育[平均死亡率为(45.18 ± 14.04)%], LG_{50} 值从筛选前的 18.75 mg/L 上升至 99.97 mg/L, 抗性增加 5.3 倍, 达到 1110.8 倍, 其抗性现实遗传力 h^2 为 0.1414 (表 3)。根据所测的抗性现实遗传力可知, 杀死褐飞虱种群 80% ~ 90% 时, 褐飞虱对吡虫啉的抗性提高 10 倍需要 10 ~ 13 代。这表明褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性后, 持续的抗性筛选仍能使抗性进一步上升。

3 讨论

20 世纪 90 年代初, 新烟碱类杀虫剂吡虫啉被引入我国, 并很快成为防治褐飞虱的一种主要药剂^[17-19], 而对褐飞虱低龄若虫控制效果很好但对成

表 3 由抗性筛选的资料估算褐飞虱对吡虫啉的抗性现实遗传力(h^2)Table 3 Estimation of realized heritability (h^2) of resistance to imidacloprid in *N. lugens* based on laboratory selection experiments.

参数 Parameter	参数值 Value
筛选代数 No. of generations selected(n)	18
筛选前亲代 LC_{50} 的对数值 log(LC_{50}) of the parental generation before selection	1.2730
筛选 n 代后下一代 LC_{50} 的对数值 log(LC_{50}) of offspring after n generations of selection	1.9999
选择反应 Selection response (R)	0.0380
每代平均存活率 Average surviving rate (P) / %	54.8
选择强度 Intensity of selection (i)	0.5235
平均斜率 Mean slope	2.5050
表型标准差 Phenotypic standard deviation (S_p)	0.3990
选择差异 Selection differential (S)	0.2868
现实遗传力 Realized heritability (h^2)	0.1414

虫及卵直接作用效果较差的噻嗪酮的用量大幅下降^[20]。众所周知,褐飞虱作为一种迁飞性害虫在迁飞过程中存在抗性稀释作用,因此,一般认为抗性发展比较缓慢,而且我们进行的褐飞虱对吡虫啉的室内抗性筛选证实了在间断筛选的情况下,褐飞虱对吡虫啉的抗性现实遗传力较低,抗性发展缓慢^[21]。但是,在我国绝大部分稻区,即在褐飞虱的迁入区与迁出区之间,同一地区的上一代与下一代之间主要依赖吡虫啉防治,甚至在亚洲其他国家和地区,特别是我国褐飞虱虫源地的越南和泰国也是如此^[22-23],这样迁飞推迟抗性的作用明显降低,而且各稻区广泛连续使用吡虫啉,加速了褐飞虱抗药性的发展。由于药剂的长期过量使用,一些重要农业害虫如二化螟对杀虫单、马铃薯甲虫和烟粉虱对吡虫啉及棉铃虫对菊酯类药剂等产生了严重抗性^[15, 24-26]。因此,长期连续单一使用吡虫啉是褐飞虱对它产生抗性的主要原因。

筛选所使用的褐飞虱种群对吡虫啉已产生极高水平抗性,这可能使抗性现实遗传力(h^2)估算偏高。但室内筛选为了延续种群将筛选死亡率控制在45%左右,而田间的用药剂量常杀死种群的80%以上,即田间选择压力远大于室内筛选。因此,田间褐飞虱对抗性的现实遗传力(h^2)可能大于我们所得的计算值,田间褐飞虱抗性上升速度加快,导致2005年和2006年田间褐飞虱种群对吡虫啉产生高水平抗性。这与室内褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性后,持续的抗性筛选能使抗性进一步上升的结论是

一致的。

1996 - 2003年褐飞虱对吡虫啉为敏感 - 低水平抗性,而2005年却监测到高水平 - 极高水平抗性,而且随着时间的推移及该虫的自南向北迁入,抗性水平呈上升趋势。Liu等^[11]采用点滴法对一个田间褐飞虱种群进行了连续37代的室内抗性筛选。在前期25代,褐飞虱对吡虫啉的抗性由4.5倍上升到77倍,随后继续筛选12代,褐飞虱对吡虫啉的抗性迅速上升到254.8倍,这暗示褐飞虱对吡虫啉具有产生高水平抗性的能力。近年来,吡虫啉也是东亚、东南亚很多国家和地区防治褐飞虱的当家品种,在一些地区甚至是控制褐飞虱的单一农药品种,从而打断了褐飞虱抗性基因得以稀释的循环链,迁飞推迟抗药性的产生就不再起显著作用了^[27]。田间大面积连续使用单一农药品种,实际上就相当于一种粗放的抗性筛选,加速褐飞虱对其抗药性的发展。因此,长期的药剂选择压力可能是褐飞虱对吡虫啉产生严重抗性的重要原因。而吡虫啉仍是2005年前期防治褐飞虱的主要药剂,不能有效地控制前期褐飞虱种群数量的增长,利于虫源基数积累,加重了后期为害程度。上述监测结果与当年长江流域的江苏及浙江稻区吡虫啉防治褐飞虱用药量从15 g/hm²增加到60~120 g/hm²,而防治效果从95%以上下降到60%左右(刁春友,私人通讯)是一致的。因此,褐飞虱对吡虫啉产生严重抗性是它大发生的重要原因。

2006年,褐飞虱对吡虫啉的抗性保持在2005年同期的下限或有所下降,这可能与我国实施了暂时停止使用吡虫啉,改用与吡虫啉不同作用机制的药剂防治褐飞虱的抗性治理方案有关,吡虫啉对褐飞虱的选择压降低,其抗性未继续上升。

鉴于褐飞虱对防治的主要药剂吡虫啉已经产生明显抗性,因此,对它的抗药性进行治理已经刻不容缓。一是褐飞虱对吡虫啉已经产生高水平 - 极高水平抗性,虽然抗性水平有所下降,但需要继续暂停使用吡虫啉防治褐飞虱;二是明确新烟碱类的其他杀虫剂与吡虫啉是否有交互抗性,有交互抗性的药剂品种也不能用于防治抗性褐飞虱;三是强调交替轮换使用与吡虫啉无交互抗性的杀虫剂,如噻嗪酮、毒死蜱、异丙威、氟虫腈、敌敌畏、吡蚜酮等,以延缓其抗性的发展。四是选用抗虫水稻品种,加强中后期的肥、水管理等,是褐飞虱综合防治的重要农业措施。

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] Nagata T . Insecticide resistance and chemical control of the brown planthopper , *Nilaparvata lugens* (Stal) . *Bull Kyushu Nat Agric Exp Sta* , 1982 , 22(1) : 49-164 .
- [3] Hirai K . Recent trends of insecticide susceptibility in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera : Delphacidae) . *Appl Entomol Zool* , 1993 , 28(3) : 339-346 .
- [4] 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 .
- [5] 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 .
- [6] Sone S , Tsubai S , Otsu Y , Shono T . 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 .
- [7] 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 .
- [8] Grafius E J , Bishop B A , Grafius E J , et al . Resistance to imidacloprid in Colorado potato beetles from Michigan . *Resist Pest Manag* , 1996 , 8 : 21-25 .
- [9] Foster S , Denholm I , Thompson R . Variation in response to neonicotinoid insecticide in peach potato aphids , *Myzus persicae* (Hemiptera : Aphididae) . *Pest Manag Sci* , 2003 , 59(2) : 166-173 .
- [10] Cahill M , Goman K , Day S , et al . Baseline determination and detection of resistance to imidacloprid in *Bemisia tabaci* (Homoptera : Aleyrodidae) . *Bull Entomol Res* , 1996 , 86 : 343-349 .
- [11] Liu Z W , Han Z J . Fitness costs of laboratory selected imidacloprid resistance in the brown planthopper , *Nilaparvata lugens* (Stal) . *Pest Manag Sci* , 2006 , 62 : 279-282 .
- [12] 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 .
- [13] Tabashnik B E . Resistance risk assessment: Realized heritability of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera : Plutellidae) , tobacco budworm (Lepidoptera : Noctuidae) , and Colorado potato beetle (Coleoptera : Chrysomelidae) . *J Econ Entomol* , 1992 , 85(5) : 1551-1559 .
- [14] 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 .
- [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: 25-280 .
- [16] 刘泽文, 刘成君, 张洪伟, 等. 褐飞虱抗吡虫啉品系生物适合度研究. 昆虫知识, 2003, 40(5): 419-422 .
- [17] 邱 光, 顾正远, 肖英方. 吡虫啉对褐稻虱的生物活性及防治效果. 江苏农业科学, 1994(2): 39-41 .
- [18] 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 .
- [19] 刘泽文, 韩召军, 张玲春, 等. 抗吡虫啉褐飞虱品系中扑虱灵、仲丁威对吡虫啉的增效作用. 农药, 2003, 42(8): 23-25 .
- [20] 邱 光, 顾正远, 刘贤金, 等. 吡虫啉、扑虱灵对褐稻虱的作用机制及药效特征比较研究. 华东昆虫学报, 1997, 6(2): 79-84 .
- [21] 庄永林. 褐飞虱对噻嗪酮及吡虫啉的抗药性研究[学位论文]. 南京: 南京农业大学, 2000 .
- [22] 刘泽文, 韩召军, 王荫长, 等. 温度对褐飞虱抗/感吡虫啉品系种群生长的影响. 昆虫知识, 2004, 40(1): 47-50 .
- [23] 庄永林, 沈晋良, 戴德江, 等. 褐飞虱对噻嗪酮抗性的遗传分析. 昆虫学报, 2004, 47(6): 749-753 .
- [24] 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 .
- [25] 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 .
- [26] 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 .
- [27] 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. 植物保护, 2006, 32(4): 1-4 .