

肖汉祥, 李燕芳, 凌善锋, 等. 广东褐飞虱种群对 4 种杀虫剂的抗药性[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(2): 70-74.

广东褐飞虱种群对 4 种杀虫剂的抗药性

肖汉祥¹, 李燕芳¹, 凌善锋², 张 扬¹, 张振飞¹, 李怡峰¹, 刘明津¹
(1 广东省农业科学院 植物保护研究所/广东省植物保护新技术重点实验室, 广东 广州 510640;
2 荆楚理工学院 生物工程学院, 湖北 荆门 448000)

摘要:【目的】测定广东省褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 对常用杀虫剂的抗药性, 为科学防治水稻褐飞虱提供依据。【方法】在室内采用稻苗浸渍法测定了采自广东省广州市、雷州市、连州市、南雄市、海丰县、大埔县和怀集县等 7 个地方田间褐飞虱种群对噻嗪酮、吡虫啉、噻虫嗪和吡蚜酮的抗药性。【结果】广东褐飞虱种群对吡虫啉抗性仍处于极高水平抗性阶段 (161.9~3576.4 倍), 对噻嗪酮抗性仍处于高水平至极高水平抗性阶段 (93.4~1497.8 倍), 对噻虫嗪抗性仍处于高水平至极高水平抗性阶段 (61.0~517.8 倍), 对吡蚜酮抗性处于敏感性下降至中等水平抗性阶段 (3.7~11.0 倍)。【结论】在水稻上防治稻飞虱需暂停使用吡虫啉、噻嗪酮和噻虫嗪; 减少吡蚜酮在褐飞虱防治中的使用次数, 以延缓抗药性的产生。

关键词: 广东; 褐飞虱; 种群; 杀虫剂; 抗药性
中图分类号: S435.112 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-411X(2018)02-0070-05

Resistance of *Nilaparvata lugens* (Stål) populations to four types of insecticides in Guangdong Province

XIAO Hanxiang¹, LI Yanfang¹, LING Shanfeng², ZHANG Yang¹, ZHANG Zhenfei¹, LI Yifeng¹, LIU Mingjing¹
(1 Plant Protection Institute, Guangdong Agricultural Science Academy/Guangdong Provincial Key Laboratory of High Technology for Plant Protection, Guangzhou 510640, China; 2 College of Bioengineering, Jingchu University of Technology, Jingmen 448000, China)

Abstract: 【Objective】To determine resistance of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), to common insecticides in Guangdong Province, so as to provide a basis for controlling *N. lugens*. 【Method】*N. lugens* were collected from Guangzhou, Leizhou, Liangzhou, Nanxiong, Haifeng, Dapu and Huaiji of Guangdong Province. The resistance of *N. lugens* to buprofezin, imidacloprid, thiamethoxam and pymetrozine were determined by dipping rice seedlings in laboratory. 【Result】*N. lugens* populations in Guangdong were extremely highly resistant to imidacloprid with the resistance ratios from 161.9 to 3 576.4, highly to extremely highly resistant to buprofezin with the resistance ratios from 93.4 to 1 497.8, and to thiamethoxam with the resistance ratios from 61.0 to 517.8, and less sensitive to pymetrozine with a medium level of resistance ratios from 3.7 to 11.0. 【Conclusion】Imidacloprid, bprofazin and thiamethoxam should be suspended, and pymetrozine should be restricted to use on rice, so as to slow down the insecticide resistance and properly control *N. lugens*.

Key words: Guangdong; *Nilaparvata lugens*; population; insecticide; resistance

收稿日期: 2017-06-15 优先出版日期: 2018-01-17
优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20180117.1613.030.html>
作者简介: 肖汉祥 (1972—), 男, 副研究员, 硕士, E-mail: 290432210@qq.com; 通信作者: 刘明津 (1966—), 女, 高级农艺师, 硕士, E-mail: 519734046@qq.com
基金项目: 广东省科技计划项目 (2015A020209049, 2016B020202002); 广东省现代农业产业技术体系专项 (2017LM1076)
<http://xuebao.scau.edu.cn>

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 属半翅目同翅亚目飞虱科 (Homoptera: Delphacidae), 是典型的 *r*-对策型害虫, 具有易暴发、远距离迁飞等特点, 自 20 世纪 60 年代以来已成为我国水稻 *Oryza sativa* 的首要害虫^[1-2]。褐飞虱除直接危害水稻外, 还可以传播水稻从矮缩病等植物病毒病, 引起水稻等作物的大面积受害, 造成严重的经济损失^[3-4]。化学防治一直是控制褐飞虱的重要途径^[5], 但长期大面积使用单一农药品种, 不仅污染环境, 而且会使褐飞虱抗药性水平不断提高, 亚洲不少国家和地方的褐飞虱几乎对当前所有常用农药品种均产生了不同程度的抗药性^[6-11]。20 世纪 80 年代中后期, 噻嗪酮被引入我国用于防治褐飞虱, 2005 年监测到褐飞虱对噻嗪酮已产生低水平抗性^[12], 2010 监测到褐飞虱对噻嗪酮已产生高水平抗性^[10]。新烟碱类杀虫剂吡虫啉 1995 年被引入我国防治褐飞虱, 一直是稻飞虱的主要防治药剂, 但在 2005 年检测到褐飞虱对吡虫啉已产生极高抗性, 随后农业部发文要求暂停使用吡虫啉防治高抗褐飞虱, 但最近报道发现褐飞虱对吡虫啉抗性依然有上升趋势^[8-9, 13-14]。2005 年, 吡虫啉在褐飞虱的防治上被停用后, 噻虫嗪和吡蚜酮成为我国褐飞虱防治的主要药剂^[8-9], 导致褐飞虱对噻虫嗪和吡蚜酮的抗药性不断上升。

褐飞虱属迁飞性害虫, 各地用药水平不同, 而广东作为褐飞虱从东南半岛迁入我国的第一站, 也是稻飞虱回迁东南半岛的出口, 因此, 在亚洲稻区褐飞虱的发生和防治上, 广东稻区处于极其重要的地理位置。有必要长期、系统地监测广东不同地方褐飞虱种群对常用药剂的抗性水平, 为科学指导田间用药和开展褐飞虱抗药性治理提供依据。本研究采用稻苗浸渍法, 测定广东省 7 个不同稻区褐飞虱种群对噻嗪酮、吡虫啉、噻虫嗪和吡蚜酮等 4 种常用杀虫剂的抗药性。

1 材料与方法

1.1 材料

2015 年 10 月和 2016 年 8—10 月, 分别从广东省广州市、雷州市、连州市、南雄市、海丰县、大埔县和怀集县等 7 个地方稻田采集褐飞虱高龄若虫或成虫, 在温室内的人工气候箱中采用未经药剂处理过的水稻 (水稻品种为 ‘TN1’) 幼苗饲养, 隔离饲养至下一代, 然后挑选 3 龄若虫进行抗药性测定。

96%(w) 噻嗪酮原药和 96%(w) 吡虫啉原药购自广东大丰植保科技有限公司; 99.1%(w) 噻虫嗪原药购自先正达 (中国) 投资有限公司; 25%(w) 吡蚜酮可湿性粉剂购自苏安邦电化有限公司。

<http://xuebao.scau.edu.cn>

1.2 方法

采用稻苗浸渍法测定抗药性。选取 ‘TN1’ 种子进行浸泡和催芽处理, 在温室内用塑料杯 (直径 6 cm, 高 7.5 cm) 种植, 每杯均匀播种 5~7 粒。20 d 后, 用剪刀剔除多余的稻苗, 每杯留 3 株生长最为健壮的稻苗待用。在电子天平 (精度为万分之一) 上准确称取药剂, 用丙酮稀释成一定浓度的母液, 用含有 ϕ 为 0.1% 的吐温-80 的蒸馏水稀释母液, 每种药剂按等比系列稀释成 6 个浓度, 将稻苗分别在不同浓度的药液中浸泡 30 s, 以含有 ϕ 为 0.1% 吐温-80 的蒸馏水作为对照, 每个浓度重复 4 次, 接入 3 龄若虫, 每杯 20 头, 罩上纱网罩。静置 2 h 后, 剔除损伤个体, 然后将装置放入 (26±1) °C, 光周期为 16 h 光: 8 h 暗的人工气候箱中。4 d 后检查若虫死亡数量, 以细毛笔触动虫体后不能运动作为死亡标准。对照组死亡率超过 20% 时试验无效。

1.3 数据处理

根据测定数据计算并得到药剂毒力回归方程、LC₅₀ 值及 95% 置信区间和相关系数, 利用统计软件 DPS 处理相关数据。以 LC₅₀ 的 95% 置信区间是否重叠判断不同来源地褐飞虱种群对同一种杀虫剂的抗性是否差异显著^[9]。

抗性倍数 (Resistance ratio, RR)=所测种群 LC₅₀/敏感种群 LC₅₀。

抗性水平按文献^[15]分级: RR<3 为敏感阶段; 3.1≤RR<5.0 为敏感性下降阶段; 5.1≤RR<10.0 为低水平抗性; 10.1≤RR<40.0 为中等水平抗性; 40.1≤RR<160.0 为高水平抗性; RR>160.1 为极高水平抗性。褐飞虱对噻嗪酮、吡虫啉、噻虫嗪和吡蚜酮的敏感基线分别为 0.07、0.08、0.11 和 2.57 mg·L⁻¹^[9]。

2 结果与分析

2.1 广东褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性

从表 1 可以看出, 除广州市褐飞虱种群对噻嗪酮抗性倍数为 93.4 倍, 属高水平抗性外, 其他 6 个地方褐飞虱种群对噻嗪酮抗性倍数为 324.6~1497.8 倍, 属极高水平抗性。广东省不同地方褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性差异较大, 其中大埔县褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性为广州市褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性的 16 倍。从 LC₅₀ 置信限来看, 广州市褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性与广东省其他 6 个地方褐飞虱对噻嗪酮的抗性差异显著; 南雄市、怀集县和海丰县褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性差异不显著; 连州市、雷州市和大埔县褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性差异不显著。

表 1 广东褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性
Tab. 1 Resistance of *Nilaparvata lugens* populations to buprofezin in Guangdong Province

种群来源	毒力回归方程 ¹⁾	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	LC ₅₀ 95%置信限 ²⁾ /(mg·L ⁻¹)	相关系数	抗性倍数
广州市	y=4.502 8+0.609 8x	6.536 4	0.905 6~12.766 2	0.966 4	93.4
南雄市	y=3.434 4+1.154 2x	22.720 6	16.430 1~31.035 8	0.937 2	324.6
怀集县	y=3.784 4+0.856 7x	26.238 9	16.034 9~36.756 4	0.912 8	374.8
海丰县	y=3.954 2+0.735 9x	26.378 2	16.766 2~47.039 7	0.948 2	376.8
连州市	y=3.328 4+0.889 7x	75.650 3	52.998 3~110.365 2	0.946 3	1 080.7
雷州市	y=2.800 5+3.040 9x	77.390 4	55.076 7~103.894 1	0.931 4	1 105.6
大埔县	y=3.593 5+0.696 1x	104.847 8	62.190 5~186.993 5	0.938 1	1 497.8

1)x 表示杀虫剂质量浓度,y 表示峰面积;2) 数据范围有重叠表明不同来源地褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性差异不显著

2.2 广东褐飞虱种群对吡虫啉的抗性

表 2 结果表明,广东省不同地方褐飞虱种群对吡虫啉抗性倍数为 161.9~3 576.4 倍,均高于 160.1 倍,属极高水平抗性。广东省不同地方褐飞虱种群对吡虫啉的抗性差异较大,其中连州市褐飞虱种群对吡虫啉的抗性为广州市褐飞虱种群吡虫啉的抗性的 22 倍。从 LC₅₀ 置信限来看,广州市褐飞

虱种群对吡虫啉的抗性与广东省其他 6 个地方褐飞虱对吡虫啉的抗性差异显著;海丰县、南雄市和雷州市 3 个地方褐飞虱种群对吡虫啉抗性差异不显著;连州市褐飞虱种群对吡虫啉抗性与大埔县褐飞虱种群对吡虫啉抗性差异不显著,但与广东省其他 5 个地方褐飞虱种群对吡虫啉的抗性差异显著。

表 2 广东褐飞虱种群对吡虫啉的抗性
Tab. 2 Resistance of *Nilaparvata lugens* populations to imidacloprid in Guangdong Province

种群来源	毒力回归方程 ¹⁾	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	LC ₅₀ 95%置信限 ²⁾ /(mg·L ⁻¹)	相关系数	抗性倍数
广州市	y=4.161 6+1.850 3x	12.954 6	5.811 5~20.468 0	0.954 6	161.9
海丰县	y=3.877 2+0.305 4x	41.679 0	33.513 0~52.518 0	0.981 1	521.0
南雄市	y=3.710 4+0.761 0x	49.502 8	31.029 9~118.548 1	0.955 3	618.8
雷州市	y=2.114 0+1.609 0x	62.195 1	46.408 8~81.447 1	0.966 7	777.4
怀集县	y=2.487 0+1.283 5x	90.753 1	67.393 7~138.809 9	0.986 6	1 134.4
大埔县	y=3.650 4+0.594 9x	185.682 4	101.728 8~302.342 6	0.943 6	2 321.0
连州市	y=2.863 0+0.869 9x	286.111 9	166.087 2~407.362 6	0.906 7	3 576.4

1)x 表示杀虫剂质量浓度,y 表示峰面积;2) 数据范围有重叠表明不同来源地褐飞虱种群对吡虫啉的抗性差异不显著

2.3 广东褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性

从表 3 可以看出,广州市、南雄市和怀集县褐飞虱种群对噻虫嗪抗性倍数分别为 61.0、102.1 和 122.6 倍,属高水平抗性,其他 4 个地方褐飞虱种群对噻虫嗪抗性倍数为 171.0~517.8 倍,属极高水平抗性。广东省不同地方褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性差异较大,从 LC₅₀ 置信限来看,广州市褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性与南雄市褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性差异不显著,但与广东省其他 5 个地方褐飞虱对噻虫嗪的抗性差异显著;南雄市、怀集县、大埔县 3 个地方褐飞虱种群对噻虫嗪抗性差异不显著;大埔县、海丰县、连州市和雷州市 4 个地方褐飞虱种群对噻虫嗪抗性差异不显著。

2.4 广东褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性

从表 4 可以看出,南雄市褐飞虱种群和广州市褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性倍数分别为 3.7 和 4.6 倍,说明南雄市褐飞虱种群和广州市褐飞虱种群对吡蚜酮表现为敏感下降;雷州市、海丰县、连州市和怀集县褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性倍数为 5.5~9.4 倍,表明这 4 个地方褐飞虱种群对吡蚜酮已产生低水平抗性;大埔县褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性倍数为 11.0 倍,说明大埔县褐飞虱种群对吡蚜酮已产生中等抗性水平。从 LC₅₀ 置信限来看,除南雄市褐飞虱种群对吡蚜酮抗性与大埔县褐飞虱种群对吡蚜酮抗性差异显著外,其余 6 个地方褐飞虱种群对吡蚜酮抗性差异不显著。

表 3 广东褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性
Tab. 3 Resistance of *Nilaparvata lugens* populations to thiamethoxam in Guangdong Province

种群来源	毒力回归方程 ¹⁾	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	LC ₅₀ 95%置信限 ²⁾ /(mg·L ⁻¹)	相关系数	抗性倍数
广州市	y=3.060 6+2.345 1x	6.714 6	3.870 9~9.367 9	0.928 3	61.0
南雄市	y=2.108 8+2.752 0x	11.235 6	8.444 6~13.788 1	0.953 1	102.1
怀集县	y=2.914 3+1.845 6x	13.490 9	10.691 8~16.249 64	0.962 1	122.6
大埔县	y=3.729 9+0.996 6x	18.812 8	12.372 9~26.429 7	0.976 7	171.0
海丰县	y=3.365 6+1.256 7x	19.978 3	14.592 4~28.888 6	0.984 3	181.6
连州市	y=3.039 2+1.267 4x	35.246 1	26.804 1~49.442 7	0.980 8	320.4
雷州市	y=3.338 4+0.603 0x	56.958 9	15.242 8~168.715 2	0.940 4	517.8

1)x 表示杀虫剂质量浓度,y 表示峰面积;2) 数据范围有重叠表明不同来源地褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性差异不显著

表 4 广东褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性
Tab. 4 Resistance of *Nilaparvata lugens* populations to pymetrozine in Guangdong Province

种群来源	毒力回归方程 ¹⁾	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹)	LC ₅₀ 95%置信限 ²⁾ /(mg·L ⁻¹)	相关系数	抗性倍数
南雄市	y=2.458 3+2.580 8x	9.427 7	6.570 8~12.030 5	0.930 7	3.7
广州市	y=4.143 5+0.798 1x	11.833 6	5.221 6~18.540 6	0.954 4	4.6
雷州市	y=3.998 4+0.871 2x	14.112 7	12.838 0~32.732 6	0.982 8	5.5
海丰县	y=4.482 2+0.442 6x	14.790 2	8.853 2~32.564 6	0.974 0	5.8
连州市	y=2.558 3+1.183 9x	15.439 2	8.483 4~27.066 9	0.990 7	6.0
怀集县	y=3.965 3+0.747 5x	24.229 4	12.758 7~35.849 5	0.975 0	9.4
大埔县	y=4.318 2+0.470 4x	28.149 5	12.481 1~57.011 7	0.938 9	11.0

1)x 表示杀虫剂质量浓度,y 表示峰面积;2) 数据范围有重叠表明不同来源地褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性差异不显著

3 讨论与结论

噻嗪酮是一种通过抑制昆虫几丁质合成和干扰新陈代谢的选择性杀虫剂,2005 年之前褐飞虱对噻嗪酮依然为敏感至敏感性下降阶段^[12];2005 年之后,褐飞虱对噻嗪酮的抗药性快速上升,研究表明已达高至极高的抗性水平^[9, 16-18]。褐飞虱对噻嗪酮抗性发展变化,可能与我国防治褐飞虱时使用的农药有关。2005 年之前,噻嗪酮先后被吡虫啉、氟虫腈这 2 种药剂所取代^[19],药物取代使得噻嗪酮停用,从而延缓了褐飞虱对其抗性的发展。2005 年后,随着吡虫啉的被限用和氟虫腈在稻田的禁用,轮换药剂的减少和噻嗪酮用量的增加,致使褐飞虱对噻嗪酮抗性快速上升。本研究结果表明,除广州市褐飞虱对噻嗪酮产生高水平抗性外,广东其余 6 个地方褐飞虱均对噻嗪酮均已产生极高水平抗性。

自 2005 年,我国首次监测到褐飞虱种群对吡虫啉产生高水平抗药性以来,尽管吡虫啉被要求暂停用于防治稻飞虱,但田间褐飞虱种群对吡虫啉抗药性仍处于高到极高水平抗性阶段^[9, 17, 20-22]。这可能有以下两方面原因:一是近年来白背飞虱 *Sogatella furcifera* 和由白背飞虱传播的水稻南方黑条矮缩病发生越来越严重,吡虫啉对白背飞虱具有极高的敏

感性^[23-25],而农民通常选择吡虫啉来防治白背飞虱,这就加大了和白背飞虱同时发生的选择压力;二是尽管我国要求暂停使用吡虫啉防治褐飞虱,但我国褐飞虱种群的来源地东南亚国家仍在使用吡虫啉防治褐飞虱^[26-27]。本研究结果显示,广东省褐飞虱种群对吡虫啉抗性倍数(161.9~3 576.4 倍)均高于 100 倍,属极高水平抗性。

刘叙杆等^[19]研究发现 2005—2009 年大于 90% 的褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性倍数为 2.0~15.8 倍,还处于敏感性下降和刚开始产生抗性的阶段,而到了 2010 年,45% 的褐飞虱监测种群对噻虫嗪的抗性上升到中等水平抗性。李燕芳等^[28]2013 年报道广州市钟落潭田间褐飞虱种群对噻虫嗪仍属敏感水平(2.67 倍),但本文监测到广州市钟落潭田间褐飞虱种群对噻虫嗪抗性为 61.0 倍,已达高水平抗性。噻虫嗪抗药性的快速上升,一方面是随着吡虫啉的限用,噻虫嗪使用量不断增加,加大了其选择压力;另一方面可能与噻虫嗪和吡虫啉这 2 种药剂之间具有一定的交互抗性有关。褐飞虱对噻虫嗪的抗性上升明显,应该引起有关部门的重视。广东褐飞虱种群对噻虫嗪的抗性倍数为 61.0~517.8 倍,表明广东褐飞虱种群对噻虫嗪已产生中等水平至高水平抗性。

凌炎等^[29]2010 年监测了我国和越南 14 个褐飞虱田间种群,发现褐飞虱对吡蚜酮均处于敏感至低水平抗性阶段(0.17~6.56 倍)。王鹏等^[9]报道 2010 年 7 个监测褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性倍数为 1.9~5.1 倍,属于敏感至低水平抗性,2011 年监测的褐飞虱种群对吡蚜酮的抗性倍数为 15.7~25.4 倍,已达中等水平抗性。康晓霞等^[22]报道邗江地方 2012 和 2013 年褐飞虱种群对吡蚜酮已达中等至高水平抗性(25.9 和 71.0 倍)。不同地方褐飞虱种群对吡蚜酮抗性水平不同,说明不同地方的用药水平不同。广东褐飞虱种群对吡蚜酮抗性处于敏感至中等水平抗性。

褐飞虱抗药性的产生严重影响其防治效果,褐飞虱种群抗药性的监测及治理就显得尤为重要。根据本文的监测结果,建议在广东省水稻褐飞虱种群防治中,暂时停止使用吡虫啉、噻嗪酮和噻虫嗪,交替轮流使用吡蚜酮、烯啶虫胺和呋虫胺等不同作用机理的药剂,以延缓褐飞虱抗药性的产生。

参考文献:

[1] 李汝铎,丁锦华,胡国文,等.褐飞虱及其种群管理[M].上海:复旦大学出版社,1996:239-255.

[2] 丁锦华,苏建亚.农业昆虫学[M].北京:中国农业出版社,2002:53-57

[3] OTUKA A. Migration of rice planthoppers and simulation techniques [M]. Los Banos, California: International Rice Research Institute, 2009.

[4] CHENG J A. Rice planthoppers in the past half century in China[M]//Rice Planthoppers. Berlin: Springer Netherlands. 2015.

[5] ENDO S, TSURUMACHI M. Insecticide susceptibility of the brown planthopper and the white-backed planthopper collected from Southeast Asia[J]. J Pestic Sci, 2001, 26(1): 82-86.

[6] HIRAI K. Recent trends of insecticide susceptibility in the brown planthoppers, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae)[J]. Jpn J Appl Entomol Zool, 1993, 28(30): 339-346.

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

[8] WANG Y H, CHEN J, MA C Y, et al. Susceptibility to neonicotinoids and risk of resistance development in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae)[J]. Pest Manag Sci, 2008, 64(12): 1278-1284.

[9] 王鹏,甯佐苹,张帅,等.我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测[J].中国水稻科学,2013,27(2): 191-197.

[10] ZHANG X L, LIU X Y, ZHU F X, et al. Field evolution of insecticide resistance in the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in China[J]. Crop Prot, 2014, 58: 61-66.

[11] GARROD W T, ZIMMER C T, GORMAN K J, et al. Field-evolved resistance to imidacloprid and ethiprole in population of brown planthopper *Nilaparvata lugens* collected from across South and East Asia[J]. Pest Manag

Sci, 2016, 72(1): 140-149.

[12] WANG Y H, GAO C F, XU Z P, et al. Buprofezin susceptibility survey, resistance selection and preliminary determination of the resistance mechanism in *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae)[J]. Pest Manag Sci, 2008, 64(10): 1050-1056.

[13] MASTUMURA M, SANADA-MORIMURA S, OTUKA A, et al. Insecticide susceptibilities in population of two rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*, immigrating into Japan in the period 2005–2012[J]. Pest Manag Sci, 2014, 70(4): 615-622.

[14] ZHANG X L, LIAO X, MAO K K, et al. Insecticide resistance monitoring and correlation analysis of insecticides in field populations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in china 2012–2014[J]. Pestic Biochem Physiol, 2016, 132: 13-20.

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

[16] 王彦华,仓涛,赵学平,等.褐飞虱和白背飞虱对几类杀虫剂的敏感性[J].昆虫学报,2009,52(10): 1090-1096.

[17] 姚亮,覃春华,卢鹏,等.湖北省褐飞虱对吡虫啉、噻嗪酮及氟虫腈的抗药性监测[J].昆虫知识,2010,47(1): 115-119.

[18] 张小磊,廖逊,毛凯凯,等.湖北稻区褐飞虱田间种群对常用杀虫剂抗药性监测[J].昆虫学报,2016,59(11): 1222-1231.

[19] 刘叙杆,赵兴华,王彦华,等.褐飞虱对氟虫腈和新烟碱类药剂的抗性动态变化[J].中国水稻科学,2010,24(1): 73-80.

[20] 刘凤沂,李惠陵,邱建国,等.惠州地方褐飞虱对几种药剂的抗药性监测[J].昆虫知识,2010,47(5): 991-993.

[21] 邵振润,张帅,李永平,等.中国水稻主产区褐飞虱对 3 种杀虫剂的抗性监测[J].农药学学报,2011,13(1): 91-94.

[22] 康晓霞,耿跃,袁林泽,等.邗江地方水稻害虫抗药性监测及治理技术研究[J].现代农药,2016,15(3): 44-47.

[23] 李淑勇,刘学,高聪芬,等.防治水稻白背飞虱高毒农药替代药剂的室内筛选及对吡虫啉的抗性风险评估[J].中国水稻科学,2009,23(1): 79-84.

[24] 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.

[25] 李燕芳,李怡峰,张振飞,等.广东白背飞虱种群对常用杀虫剂的敏感性测定[J].环境昆虫学报,2016,38(2): 414-417.

[26] BROWN J K, ANTILLA L, SIMMONS G, et al. The situation of insecticide resistance of brown planthopper in Mekong Delta, Vietnam[J]. Resist Pest Manag, 2007, 16(2): 7-9.

[27] GOMAN K, LIU Z W, DENHOM I, et al. Neonicotinoids resistance in rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*[J]. Pest Manag Sci, 2008, 64(11): 1122-1125.

[28] 李燕芳,张扬,崔百元,等.褐飞虱对噻虫嗪和烯啶虫胺的抗性风险评估[J].环境昆虫学报,2013,35(4): 539-543.

[29] 凌炎,黄凤宽,龙丽萍,等.中国和越南褐飞虱抗药性研究[J].应用昆虫学报,2011,48(5): 1374-1380.

【责任编辑 霍 欢】