

湖北稻区褐飞虱田间种群对常用杀虫剂抗药性监测

张小磊, 廖 逊, 毛凯凯, 万 虎, 卢 鹏, 李建洪*

(华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

摘要:【目的】明确目前褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 田间种群对常用防治药剂的抗性现状, 为制定褐飞虱的科学用药策略提供科学依据。【方法】于 2009–2014 年采用稻茎浸渍法监测了湖北褐飞虱武穴梅川、枣阳十里铺、孝感陈店、鄂州长港和武汉江夏稻田的褐飞虱田间种群对 11 种杀虫剂的敏感性。【结果】湖北稻区褐飞虱田间种群已对吡虫啉(抗性倍数 $RR = 101.8 \sim 1\,239.4$)、噻嗪酮($RR = 15.9 \sim 1\,326.3$)产生高水平抗性;对噻虫嗪($RR = 24.9 \sim 146.5$)产生中等水平至高水平抗性;对噻虫胺($RR = 9.9 \sim 16.5$)、呋虫胺($RR = 13.5 \sim 15.9$)、乙虫腈($RR = 18.3 \sim 60.4$)、毒死蜱($RR = 17.4 \sim 29.8$)、异丙威($RR = 13.9 \sim 46.0$)产生中等水平抗性;对啶虫脒($RR = 5.1 \sim 9.9$)产生低水平抗性;对噻虫啉($RR = 3.9 \sim 7.1$)处于敏感至低水平抗性水平;对醚菊酯($RR = 1.3 \sim 4.9$)处于敏感水平。此外,褐飞虱对噻虫嗪、噻嗪酮抗性上升明显,同时褐飞虱对吡虫啉抗性也有上升的趋势。【结论】仍需暂停吡虫啉、噻嗪酮在水稻上防治稻飞虱,严格限制吡蚜酮在水稻上的使用次数;醚菊酯可作为吡虫啉、噻嗪酮和吡蚜酮的替代药剂或轮换药剂。

关键词: 褐飞虱; 杀虫剂; 稻茎浸渍法; 抗性监测; 稻区

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2016)11-1222-10

Resistance monitoring of the field populations of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) to common insecticides in rice production areas of Hubei Province, central China

ZHANG Xiao-Lei, LIAO Xun, MAO Kai-Kai, WAN Hu, LU Peng, LI Jian-Hong* (College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract:【Aim】The brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, occurs in many parts of Asia and has developed a high degree of resistance to several chemical classes of common insecticides. The objective of this study is to assess the current status of insecticide resistance in field populations of *N. lugens*, so as to supply effective insecticide resistance management strategies to prevent or delay the development of insecticide resistance in *N. lugens*.【Methods】The susceptibility of the field populations of *N. lugens* from rice fields of Zaoyang City, Xiaogan City, Wuxue City, Wuhan City, and Ezhou City in Hubei Province to 11 insecticides was assayed by rice stem dipping method.【Results】The field populations of *N. lugens* have developed high-level resistance to imidacloprid [the resistance ratio (RR) = 101.8 – 1 239.4] and buprofezin ($RR = 15.9 - 1\,326.3$), medium- to high-level resistance to thiamethoxam ($RR = 24.9 - 146.5$), medium-level resistance to clothianidin ($RR = 9.9 - 16.5$), dinotefuran ($RR = 13.5 - 15.9$), ethiprole ($RR = 18.3 - 60.4$), chlorpyrifos ($RR = 17.4 - 29.8$) and isoprocarb ($RR = 13.9 - 46.0$), low-level resistance to acetamiprid ($RR = 5.1 - 9.9$), no resistance (susceptible) or

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203038)

作者简介: 张小磊, 男, 1986 年 5 月生, 河北保定人, 博士研究生, 研究方向为昆虫毒理学及分子生物学, E-mail: zxlwlovezxl@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: jianhl@mail.hzau.edu

收稿日期 Received: 2016-08-04; 接受日期 Accepted: 2016-10-13

low-level resistance to thiacloprid ($RR = 3.9 - 7.1$), and no resistance (susceptible) to etofenprox ($RR = 1.3 - 4.9$). 【Conclusion】 It is suggested that imidacloprid and buprofezin should still be suspended for the control of *N. lugens* and the application frequencies of pymetrozine must be limited. Etofenprox, however, could be an alternate or rotational insecticide for them.

Key words: *Nilaparvata lugens*; insecticides; rice stem dipping method; resistance monitoring; rice production areas

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 属半翅目飞虱科 (Hemiptera: Delphacidae), 是我国、日本、菲律宾等亚洲国家水稻上的重要害虫之一 (Dyck and Thomas, 1979; 程遐年等, 2003; 洪晓月和丁锦华, 2007)。褐飞虱具有远距离迁飞习性, 通过刺吸水稻汁液和产卵直接危害水稻, 还能够传播病毒病, 导致水稻大面积受害 (Otuka, 2009; Cabauatan *et al.*, 2009; Cheng, 2015)。长期以来褐飞虱的防治一直以化学防治为主 (Nagata, 1982; Hirai, 1994; Endo and Tsurumachi, 2001)。由于大量且不合理地使用化学农药防治褐飞虱, 导致褐飞虱已经对有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类、新烟碱类、昆虫生长调节剂类、吡啶类、苯基吡啶类杀虫剂产生了不同程度的抗性 (Dai and Sun, 1984; Hirai, 1993, 1994; Wang *et al.*, 2008a, 2008b; 王鹏等, 2013; Matsumura *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014, 2016; Garrood *et al.*, 2016)。20 世纪 70 年代日本首先报道了褐飞虱对有机氯类杀虫剂与有机磷类杀虫剂产生抗性, 但未对氨基甲酸酯类杀虫剂产生抗性 (Nagata and Moriya, 1974), 随后分别在 1976 年与 1979 年监测到褐飞虱对有机磷杀虫剂与氨基甲酸酯类杀虫剂产生中等水平抗性 (Kilin *et al.*, 1981), 最近的研究结果表明褐飞虱仍旧对有机磷类杀虫剂与氨基甲酸酯类杀虫剂保持着中等水平抗性 (Matsumura *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014, 2016)。20 世纪 80 年代中后期, 噻嗪酮开始用于防治褐飞虱, 在使用 20 年后, 2005 年监测到褐飞虱对噻嗪酮产生低水平抗性 (Wang *et al.*, 2008b), 2010 年监测到褐飞虱对噻嗪酮产生高水平抗性 (Zhang *et al.*, 2014), 目前所有褐飞虱种群都对噻嗪酮产生高水平抗性 (Zhang *et al.*, 2016)。1995 年新烟碱类杀虫剂被引进我国防治稻飞虱, 一直是水稻上的主要防治药剂, 但在 2005 年褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性, 随后吡虫啉被暂停防治褐飞虱, 然而最近报道发现褐飞虱对吡虫啉抗性依然有上升趋势 (Wang *et al.*, 2008a; 王鹏等, 2013; Matsumura *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014, 2016)。另外, 褐飞虱对其他新烟碱类杀虫剂噻虫嗪与呋虫胺产生了中等水平至高

水平抗性, 对噻虫胺产生了中等水平抗性, 对啶虫脒与噻虫啉处于敏感至中等水平抗性 (Zhang *et al.*, 2016)。尽管乙虫腈未在我国使用, 但由于与氟虫腈存在交互抗性, 以及乙虫腈已经在泰国用于防治褐飞虱, 褐飞虱已经对乙虫腈产生中等水平抗性 (Zhao *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2016)。醚菊酯已在中国登记用于防治褐飞虱, 并且根据报道褐飞虱未对醚菊酯产生明显抗性 (Matsumura *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2016)。

褐飞虱田间种群每年都从热带终年繁殖区迁飞到我国 (程遐年等, 1979)。每一年份迁入的褐飞虱种群对同种杀虫剂有着不同的敏感性, 因此, 逐年监测褐飞虱田间种群的抗药性变化, 掌握褐飞虱对常用杀虫剂的抗药性水平, 对延缓和避免其抗药性发展、制定切合实际的防治策略均十分重要。本研究于 2009 - 2014 年采用稻茎浸渍法监测了湖北省枣阳市、孝感市、武穴市、武汉市、鄂州市的褐飞虱田间种群对 11 种杀虫剂的敏感性, 以期对褐飞虱有效防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2009 - 2014 年 9 月采集湖北省枣阳市、孝感市、武穴市、武汉市和鄂州市稻田褐飞虱田间种群, 每个地区采集 2 000 ~ 5 000 头左右褐飞虱若虫和成虫, 取虫龄一致的若虫或成虫饲养至下一代, 取褐飞虱 3 龄中期若虫供药剂敏感性测定 (表 1)。

1.2 供试药剂

供试杀虫剂信息详见表 2。

1.3 生物测定方法

褐飞虱对杀虫剂敏感性测定方法参照庄永林和沈晋良 (2000) 报道的稻茎浸渍法: 连根挖取健壮一致的分蘖盛期至孕穗初期的稻株, 洗净, 剪成约 10 cm 长的连根稻茎, 3 株 1 组, 在阴凉处晾至表面无水痕, 将稻茎在药液中浸 30 s 后取出晾干, 以浸水的脱脂棉包住根部放入一次性塑料杯中, 选取标

表 1 湖北褐飞虱田间种群采集信息

Table 1 Sampling data of *Nilaparvata lugens* collected from fields in Hubei Province, central China

种群代码 Population code	采集地点 Collecting locality	采集日期(年-月-日) Collection date (year-month-day)	经纬度 Geographical coordinates	试虫发育阶段 Developmental stage of insect	寄主植物 Host plant
WX-09	武穴梅川 Meichuan, Wuxue	2009-09-03	30.13°N, 115.64°E	若虫 + 成虫 Nymph + Adult	水稻 Rice
WX-10		2010-08-28			
ZY-09	枣阳十里铺 Shilipu, Zaoyang	2009-08-16	32.11°N, 112.72°E		
ZY-10		2010-09-01			
XG-09	孝感陈店 Chendian, Xiaogan	2009-08-11	31.27°N, 113.84°E		
XG-10		2010-09-11			
EZ-11	鄂州长港 Changgang, Ezhou	2011-09-13	30.36°N, 114.71°E		
EZ-13		2013-09-03			
EZ-14		2014-09-13			
WH-12		2012-08-08			
WH-13	武汉江夏 Jiangxia, Wuhan	2013-09-16	30.12°N, 114.14°E		
WH-14		2014-08-31			

表 2 供试杀虫剂信息

Table 2 Details of insecticides used in this study

杀虫剂 Insecticides	纯度(%) Purity	生产企业 Producers
新烟碱类 Neonicotinoid		
吡虫啉 Imidacloprid	96	河北威远生物化工有限公司 Hebei Veyong Bio-Chemical Co., Ltd.
啶虫脒 Acetamiprid	98	山东联合化工有限公司 Shandong Sino-Agri United Biotechnology Co., Ltd.
噻虫嗪 Thiamethoxam	95	
噻虫胺 Clothianidin	96	
呋虫胺 Dinotefuran	91	湖北康宝泰精细化工有限公司 Hubei Kangbaotai Fine-Chemical Co., Ltd.
噻虫啉 Thiacloprid	96	
昆虫生长调节剂 Insect growth regulator		
噻嗪酮 Buprofezin	96	江苏安邦电化有限公司 Jiangsu Anpon Electrochemical Co., Ltd.
有机磷类 Organophosphate		
毒死蜱 Chlorpyrifos	98	江苏宝灵化工有限公司 Jiangsu Baoling Chemical Co., Ltd.
氨基甲酸酯类 Carbamate		
异丙威 Isoprocarb	98	江苏常隆化工有限公司 Jiangsu Changlong Chemical Co., Ltd.
拟除虫菊酯类 Pyrethroid		
醚菊酯 Etofenprox	95	苏州奥特莱化工有限公司 Suzhou Aotelai Chemical Co., Ltd.
苯基吡唑类 Phenylpyrazole		
乙虫腈 Ethiprole	97	南京盼丰化工有限公司 Nanjing Panfeng Chemical Co., Ltd.

准一致的 3 龄中期若虫为试虫,每杯 15 头,每个浓度重复 3 次,以清水为对照(含 0.1% Triton X-100)。接虫后置于温度 $27 \pm 1^\circ\text{C}$,光周期 16L:8D,相对湿度 $85\% \pm 1\%$ 的恒温人工气候箱中培养。处理后用脱脂棉保湿稻茎根,防稻茎干枯。有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类杀虫剂处理 72 h 后检查结果;新烟碱类、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 120 h 后检查结果。褐飞虱对杀虫剂敏感基线参考 Wang 等(2008a)、Zhao 等(2011)和 Zhang 等(2016)(表 3)。

1.4 数据统计分析

采用 DPS (3.01) 对数据进行处理,求出致死中

浓度(LC_{50})值及 95% 的置信区间,斜率及标准误,卡方值(χ^2)及自由度(df);在 0.05 水平上,自由度(df)分别为 2, 3 和 4 时,卡方值(χ^2)分别为 5.991, 7.815 和 9.488。用 Abbott 公式计算死亡率和校正死亡率。抗性倍数计算参照 Wang 等(2008a):抗性倍数 = 褐飞虱田间种群的 LC_{50} 值/褐飞虱敏感种群的 LC_{50} 值。

抗性水平分级标准(邵振润等, 2013):抗性倍数为 5 及以下为敏感;抗性倍数 5 ~ 10 为低水平抗性;抗性倍数 10 ~ 100 为中等水平抗性;抗性倍数 100 以上为高水平抗性。

表 3 褐飞虱敏感品系 3 龄若虫对杀虫剂的敏感基线

Table 3 The susceptibility baseline of the 3rd instar nymphs of *Nilaparvata lugens* to insecticides

杀虫剂 Insecticide	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	参考文献 References
新烟碱类 Neonicotinoid		
吡虫啉 Imidacloprid	0.08 (0.05 - 0.11)	Wang <i>et al.</i> , 2008a
啉虫脒 Acetamiprid	7.55 (6.42 - 9.01)	王彦华等, 2009
噻虫嗪 Thiamethoxam	0.11 (0.09 - 0.12)	Wang <i>et al.</i> , 2008a
噻虫胺 Clothianidin	0.28 (0.20 - 0.37)	Zhang <i>et al.</i> , 2016
呋虫胺 Dinotefuran	0.14 (0.11 - 0.18)	Wang <i>et al.</i> , 2008a
噻虫啉 Thiachloprid	13.50 (10.60 - 17.70)	Wang <i>et al.</i> , 2008a
昆虫生长调节剂 Insect growth regulator		
噻嗪酮 Buprofezin	0.08 (0.06 - 0.09)	Wang <i>et al.</i> , 2008a
有机磷类 Organophosphate		
毒死蜱 Chlorpyrifos	1.72 (1.49 - 2.06)	李文红, 2007
氨基甲酸酯类 Carbamate		
异丙威 Isoprocarb	3.88 (3.03 - 4.59)	李文红, 2007
拟除虫菊酯类 Pyrethroid		
醚菊酯 Etofenprox	38.73 (29.43 - 50.29)	Zhang <i>et al.</i> , 2016
苯基吡唑类 Phenylpyrazole		
乙虫腈 Ethiprole	0.10 (0.10 - 0.12)	Zhao <i>et al.</i> , 2011

2 结果

2.1 褐飞虱田间种群对新烟碱类杀虫剂的抗性及其差异

由表 4~9 可知, 2009 - 2014 年湖北褐飞虱田间种群已对吡虫啉产生了高水平抗性 (RR = 101.8 ~ 1 239.4), 并且 2014 年武汉和鄂州褐飞虱田间种群分别对吡虫啉产生了 1 239.4 和 1 004.4 倍抗性, 显著高于 2009 年褐飞虱对吡虫啉的抗性水平 (RR =

101.8 ~ 126.5), 并且 2009 - 2014 年湖北褐飞虱田间种群对吡虫啉抗性呈上升趋势; 2011 - 2013 年湖北褐飞虱田间种群对噻虫嗪产生中等水平抗性 (RR = 24.0 ~ 61.2), 但 2014 年褐飞虱田间种群则对噻虫嗪产生了高水平抗性 (RR = 117.1 ~ 146.5), 并且 2014 年褐飞虱田间种群对噻虫嗪的抗性水平显著高于 2011 - 2013 年褐飞虱田间种群, 表明褐飞虱对噻虫嗪的抗性上升明显; 2011 - 2014 年湖北褐飞虱田间种群对呋虫胺 (RR = 13.5 ~ 15.9), 其中 2011 - 2014 年湖北褐飞虱田间种群对呋虫胺抗性无显著性差异; 2011 - 2014 年湖北褐飞虱田间种群对噻虫胺 (RR = 9.9 ~ 16.5) 处于低水平至中等水平抗性阶段, 除 2011 年鄂州褐飞虱种群对噻虫胺处于低水平抗性阶段之外, 其余种群则对噻虫胺处于中等抗性水平阶段, 并且这些种群对噻虫胺的抗性无显著性差异; 2011 - 2014 年褐飞虱田间种群对噻虫啉处于敏感至低水平抗性阶段 (RR = 3.9 ~ 7.1), 同一地点不同年度间抗性无明显变化; 另外, 2011 - 2014 年湖北褐飞虱田间种群对啉虫脒抗性处于低水平抗性阶段 (RR = 5.1 ~ 9.9), 同一地点不同年度间无明显变化趋势。

2.2 褐飞虱田间种群对噻嗪酮的抗性及其差异

由表 10 可知, 除 2010 年武穴褐飞虱田间种群对噻嗪酮产生了高水平抗性外, 2009 - 2010 年湖北褐飞虱田间种群对噻嗪酮处于中等水平抗性阶段 (RR = 15.9 ~ 44.9); 2011 - 2014 年褐飞虱田间种群对噻嗪酮产生了高水平抗性 (RR = 148.4 ~ 1 326.3)。2011 - 2014 年与 2009 - 2010 年相比, 湖北褐飞虱种群对噻嗪酮抗性上升明显。

表 4 湖北褐飞虱田间种群对吡虫啉的抗性

Table 4 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to imidacloprid

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
WX-09	2009	360	1.68 ± 0.29	10.12 (5.69 - 14.56)	0.56 (2)	126.5
WX-10	2010	360	2.44 ± 0.31	29.56 (24.99 - 35.52)	0.52 (4)	369.5
ZY-09	2009	360	2.02 ± 0.33	8.55 (4.83 - 12.14)	1.61 (2)	106.9
ZY-10	2010	360	2.17 ± 0.33	20.02 (15.08 - 28.14)	1.03 (3)	250.3
XG-09	2009	360	2.11 ± 0.36	8.14 (4.39 - 11.72)	0.73 (2)	101.8
XG-10	2010	360	2.63 ± 0.34	12.32 (10.45 - 14.81)	1.17 (2)	154.0
EZ-11	2011	660	1.23 ± 0.11	13.72 (10.66 - 17.88)	0.57 (4)	171.5
EZ-13	2013	480	1.99 ± 0.10	59.01 (46.32 - 76.37)	1.18 (3)	737.6
EZ-14	2014	360	1.93 ± 0.27	80.35 (63.42 - 106.07)	4.63 (2)	1 004.4
WH-12	2012	405	1.54 ± 0.22	27.68 (20.87 - 37.93)	0.75 (3)	346.0
WH-13	2013	480	1.30 ± 0.14	62.54 (47.57 - 84.77)	0.80 (3)	781.8
WH-14	2014	360	1.67 ± 0.26	99.15 (75.31 - 143.68)	0.95 (2)	1 239.4

种群采集信息见表 1; 下表同。Sampling data of the populations see Table 1. The same for the following tables.

表 5 湖北褐飞虱田间种群对噻虫嗪的抗性

Table 5 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to thiamethoxam

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	600	1.09 ± 0.11	2.74 (2.07 – 3.61)	1.04 (4)	24.9
EH-13	2013	480	1.16 ± 0.12	5.37 (4.05 – 7.50)	0.38 (3)	48.8
EZ-14	2014	360	2.74 ± 0.33	12.88 (10.67 – 16.21)	4.98 (1)	117.1
WH-12	2012	450	1.60 ± 0.23	3.45 (2.61 – 4.92)	0.48 (2)	31.4
WH-13	2013	480	1.17 ± 0.14	6.73 (4.81 – 10.50)	2.42 (3)	61.2
WH-14	2014	360	1.65 ± 0.22	16.12 (12.28 – 23.07)	1.86 (3)	146.5

表 6 湖北褐飞虱田间种群对吡虫啉的抗性

Table 6 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to dinotefuran

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	600	1.07 ± 0.10	2.13 (1.60 – 2.78)	0.72 (4)	15.2
EH-13	2013	480	1.85 ± 0.13	1.89 (1.47 – 2.42)	0.88 (3)	13.5
EZ-14	2014	405	1.40 ± 0.23	1.91 (1.23 – 2.61)	2.77 (2)	13.6
WH-12	2012	450	1.68 ± 0.25	2.23 (1.65 – 3.43)	0.61 (3)	15.9
WH-13	2013	480	1.52 ± 0.16	2.21 (1.74 – 2.84)	1.14 (3)	15.8
WH-14	2014	405	2.33 ± 0.31	1.93 (1.56 – 2.43)	3.10 (2)	13.8

表 7 湖北褐飞虱田间种群对噻虫胺的抗性

Table 7 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to clothianidin

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	600	1.13 ± 0.10	2.76 (2.14 – 3.57)	1.95 (3)	9.9
EH-13	2013	480	1.25 ± 0.12	3.39 (2.63 – 4.43)	5.21 (3)	12.1
EZ-14	2014	450	2.19 ± 0.31	4.63 (3.71 – 6.13)	2.75 (2)	16.5
WH-12	2012	495	1.62 ± 0.22	2.94 (2.24 – 4.02)	0.78 (3)	10.5
WH-13	2013	480	1.58 ± 0.14	3.90 (3.02 – 5.17)	1.09 (3)	13.9
WH-14	2014	450	1.57 ± 0.21	3.73 (2.83 – 5.28)	0.25 (2)	13.3

表 8 湖北褐飞虱田间种群对啶虫脒的抗性

Table 8 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to acetamiprid

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	480	1.08 ± 0.12	51.64 (38.21 – 68.34)	1.49 (4)	6.8
EH-13	2013	480	1.13 ± 0.11	64.17 (48.83 – 86.68)	1.93 (4)	8.5
EZ-14	2014	360	1.91 ± 0.26	73.14 (56.87 – 92.78)	2.08 (2)	9.7
WH-12	2012	405	1.60 ± 0.25	55.77 (41.36 – 85.74)	0.96 (3)	7.4
WH-13	2013	480	1.69 ± 0.15	74.42 (57.98 – 99.67)	1.54 (3)	9.9
WH-14	2014	360	1.97 ± 0.27	38.86 (30.57 – 49.17)	1.37 (2)	5.1

表 9 湖北褐飞虱田间种群对噻虫啉的抗性

Table 9 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to thiacloprid

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	480	1.06 ± 0.13	96.40 (69.75 – 140.96)	4.49 (4)	7.1
EH-13	2013	480	1.49 ± 0.17	77.61 (60.45 – 101.58)	3.56 (3)	5.6
EZ-14	2014	360	2.66 ± 0.34	89.56 (74.13 – 109.80)	4.16 (1)	6.6
WH-12	2012	405	1.74 ± 0.28	52.95 (40.35 – 73.91)	0.77 (3)	3.9
WH-13	2013	480	1.35 ± 0.14	57.06 (43.98 – 73.31)	4.55 (3)	4.2
WH-14	2014	360	1.82 ± 0.27	53.93 (42.09 – 72.86)	0.61 (2)	4.0

表 10 湖北褐飞虱田间种群对噻嗪酮的抗性

Table 10 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to buprofezin

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
WX-09	2009	360	2.04 ± 0.32	1.27 (0.85 – 1.70)	3.18 (2)	15.9
WX-10	2010	360	2.37 ± 0.41	10.55 (8.47 – 13.65)	2.34 (4)	131.9
ZY-09	2009	360	2.18 ± 0.30	2.06 (1.58 – 2.67)	2.61 (3)	25.8
ZY-10	2010	360	2.44 ± 0.61	3.59 (2.48 – 6.29)	5.73 (3)	44.9
XG-09	2009	360	1.90 ± 0.30	1.31 (0.87 – 1.77)	2.81 (2)	16.4
XG-10	2010	360	2.86 ± 0.78	2.20 (1.59 – 3.44)	6.54 (3)	27.5
EZ-11	2011	480	1.17 ± 0.10	11.87 (9.25 – 15.26)	3.63 (4)	148.4
EZ-13	2013	420	1.74 ± 0.12	31.35 (21.96 – 48.08)	3.04 (2)	391.9
EZ-14	2014	360	1.88 ± 0.24	106.10 (83.05 – 139.03)	1.11 (3)	1 326.3
WH-12	2012	360	1.59 ± 0.20	21.77 (16.54 – 28.31)	1.76 (3)	272.1
WH-13	2013	420	1.50 ± 0.14	60.26 (38.14 – 117.69)	1.66 (2)	753.3
WH-14	2014	360	1.11 ± 0.18	71.43 (47.68 – 102.07)	3.62 (4)	892.9

2.3 褐飞虱田间种群对乙虫腈的抗性及其差异

2011 – 2014 年褐飞虱田间种群对乙虫腈处于中等水平抗性阶段 (RR = 18.3 ~ 60.4) (表 11)。其中, 2011 年褐飞虱田间种群对乙虫腈产生了 60.4 倍抗性, 抗性倍数最高; 2014 年褐飞虱田间种群对乙虫腈产生了 18.3 倍抗性, 抗性倍数最低 (表 11)。

2.4 褐飞虱田间种群对毒死蜱与异丙威的抗性及其差异

2011 – 2014 年褐飞虱田间种群分别对异丙威 (RR = 13.9 ~ 46.0) (表 12) 与毒死蜱 (RR = 17.4 ~

29.8) (表 13) 产生了中等水平抗性。其中, 2011 – 2014 年褐飞虱田间种群对毒死蜱的敏感性无明显变化; 除 2013 年鄂州褐飞虱田间种群外, 其余的 5 个褐飞虱田间种群对异丙威的敏感性也无明显变化。

2.5 褐飞虱田间种群对醚菊酯的抗性及其差异

2011 – 2014 年褐飞虱田间种群对醚菊酯抗性处于敏感性阶段 (RR = 1.3 ~ 4.9) (表 14)。4 年间褐飞虱田间种群对醚菊酯的敏感性无明显变化 (2014 年鄂州褐飞虱田间种群除外)。

表 11 湖北褐飞虱田间种群对乙虫腈的抗性

Table 11 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to ethiprole

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	600	1.28 ± 0.12	6.04 (4.65 – 8.10)	2.52 (4)	60.4
EH-13	2013	480	1.16 ± 0.09	3.30 (2.55 – 4.22)	0.77 (3)	33.0
EZ-14	2014	450	0.83 ± 0.10	1.83 (1.15 – 2.70)	3.15 (4)	18.3
WH-12	2012	450	1.71 ± 0.27	3.27 (2.37 – 5.40)	4.74 (3)	32.7
WH-13	2013	480	1.31 ± 0.12	4.91 (3.82 – 6.38)	0.84 (3)	49.1
WH-14	2014	450	1.31 ± 0.21	3.84 (2.63 – 6.97)	5.26 (3)	38.4

表 12 湖北褐飞虱田间种群对异丙威的抗性

Table 12 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to isoprocarb

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95%置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ ² (df)	抗性倍数(RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	540	0.87 ± 0.10	178.41 (120.52 – 303.91)	1.96 (4)	46.0
EH-13	2013	540	1.43 ± 0.13	54.07 (42.59 – 68.43)	5.92 (3)	13.9
EZ-14	2014	315	2.20 ± 0.24	130.80 (105.12 – 158.74)	8.66 (2)	33.7
WH-12	2012	315	1.63 ± 0.30	133.24 (94.37 – 240.91)	0.51 (3)	34.3
WH-13	2013	540	1.08 ± 0.13	77.59 (57.20 – 113.41)	0.18 (4)	20.0
WH-14	2014	315	1.99 ± 0.23	163.47 (129.83 – 204.15)	7.32 (3)	42.1

表 13 湖北褐飞虱田间种群对毒死蜱的抗性

Table 13 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to chlorpyrifos

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95% 置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ^2 (df)	抗性倍数 (RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	540	1.58 ± 0.11	43.44 (34.27 – 54.94)	1.21 (3)	25.3
EH-13	2013	540	1.62 ± 0.19	39.06 (30.59 – 50.93)	3.10 (3)	22.7
EZ-14	2014	405	2.06 ± 0.22	38.46 (31.04 – 50.03)	5.57 (2)	22.4
WH-12	2012	360	1.72 ± 0.32	29.99 (21.88 – 49.62)	0.27 (2)	17.4
WH-13	2013	540	1.21 ± 0.12	32.20 (24.81 – 41.79)	0.40 (3)	18.7
WH-14	2014	405	2.32 ± 0.35	51.18 (40.67 – 70.36)	2.83 (2)	29.8

表 14 湖北褐飞虱田间种群对醚菊酯的抗性

Table 14 Resistance levels of the field populations of *Nilaparvata lugens* in Hubei to etofenprox

种群 Populations	年份 Year	供试虫数 N	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ 值(95% 置信区间) LC ₅₀ (95% CI) (mg/L)	χ^2 (df)	抗性倍数 (RR) Resistance ratio
EZ-11	2011	480	1.26 ± 0.17	160.10 (114.15 – 258.43)	2.05 (4)	4.1
EH-13	2013	480	1.67 ± 0.12	101.95 (76.40 – 145.82)	3.18 (3)	2.6
EZ-14	2014	405	2.43 ± 0.38	49.99 (39.80 – 68.70)	1.30 (3)	1.3
WH-12	2012	360	1.48 ± 0.26	116.01 (79.45 – 218.74)	2.96 (4)	3.0
WH-13	2013	480	1.41 ± 0.20	191.23 (133.65 – 331.78)	1.01 (4)	4.9
WH-14	2014	405	1.69 ± 0.26	133.24 (101.27 – 176.69)	0.80 (3)	3.4

3 讨论

褐飞虱是水稻上主要害虫之一,具有迁飞性、暴发性特点,因此化学防治是防治褐飞虱主要手段 (Dyck and Thomas, 1979; Nagata, 1982; Hirai, 1994; Endo and Tsurumachi, 2001; 程遐年等, 2003; 洪晓月和丁锦华, 2007)。目前,新烟碱类杀虫剂是防治刺吸类口器害虫最有效的药剂 (Elbert *et al.*, 2008)。但褐飞虱对新烟碱类杀虫剂的抗性不容忽视。自 2005 年褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性后,至今一直维持在高水平抗性阶段,长期不合理使用吡虫啉防治褐飞虱是导致褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性的根本原因 (Wang *et al.*, 2008a)。虽然褐飞虱在迁飞过程中抗性被稀释,抗性发展缓慢 (庄永林等, 2004),但是吡虫啉在我国各个稻区大量、连续地使用,甚至在我国褐飞虱虫源地的泰国和越南也主要依赖吡虫啉防治褐飞虱,加速了褐飞虱抗药性的发展 (刘泽文, 2004; 程家安和祝增荣, 2006; 梁桂梅等, 2007)。噻虫嗪是吡虫啉的替代药剂 (Wang *et al.*, 2008a)。2009 年之前褐飞虱对噻虫嗪的抗性发展缓慢,2006 – 2008 年褐飞虱对噻虫嗪处于低水平抗药性阶段 (Wang *et al.*, 2008a; 刘叙杆等, 2010; 赵兴华, 2010),但在 2009 年之后抗药性发展明显,2009 – 2012 年褐飞虱对噻虫嗪处

于中等水平抗药性阶段 (王鹏等, 2013; Zhang *et al.*, 2014)。本研究毒力测定显示湖北地区褐飞虱对噻虫嗪的抗性处于中等水平至高水平抗性阶段 (表 5),与之前报道结果相比 (Wang *et al.*, 2008b; 刘叙杆等, 2010; 赵兴华, 2010; 王鹏等, 2013; Zhang *et al.*, 2014),抗性上升明显。大量使用噻虫嗪防治稻飞虱、与吡虫啉存在交互抗药性 (Matsumura *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2009),可能是褐飞虱对噻虫嗪抗性快速发展的原因。呋虫胺为第 3 代新烟碱类杀虫剂,自 2005 年泰国开始使用呋虫胺防治稻飞虱 (梁桂梅等, 2007),但该药并未在我国大面积使用。在泰国,褐飞虱已对呋虫胺产生低水平抗性 (Punyawattoe *et al.*, 2013);在日本,Matsumura 等 (2014) 连续 8 年监测了褐飞虱对呋虫胺的抗药性,结果表明褐飞虱对呋虫胺的抗药性上升,并且 2012 年呋虫胺对褐飞虱的毒力显著低于 2006 年呋虫胺对褐飞虱的毒力;在我国,王彦华等报道褐飞虱对呋虫胺处于敏感性阶段 (Wang *et al.*, 2008a)。与之前报道结果相比 (Wang *et al.*, 2008a),湖北地区褐飞虱种群对呋虫胺的抗性上升明显 (表 6)。在我国,褐飞虱已经对噻虫胺产生中等水平抗药性 (Zhang *et al.*, 2016);在韩国,褐飞虱种群对噻虫胺也产生了中等水平的抗性,LD₅₀ 为 0.10 ~ 0.57 ng/头 (Min *et al.*, 2014);在印度,Basanth 等报道了噻虫胺对印度卡纳塔克邦 5 个地区的褐飞

虱田间种群的毒力, LC_{50} 值为 2.92 ~ 7.38 mg/L (Basanth *et al.*, 2013)。与之前报道结果相似, 本研究也表明褐飞虱已对噻虫胺产生中等水平抗性, LC_{50} 值为 2.94 ~ 4.63 mg/L, 抗性倍数为 10.5 ~ 16.5 (表 7)。褐飞虱对噻虫啉与啶虫脒敏感性变异较小 (Wang *et al.*, 2008b; 李文红, 2009)。王彦华等监测了我国 6 个褐飞虱田间种群对噻虫啉的抗药性, 结果表明褐飞虱对噻虫啉处于敏感性阶段 (Wang *et al.*, 2008b)。李文红(2009)监测了我国 4 个褐飞虱田间种群对啶虫脒的抗药性, 初步证实褐飞虱对啶虫脒处于敏感至低水平抗药性阶段。与以前报道的结果相似, 湖北地区褐飞虱田间种群对啶虫脒和噻虫啉的抗性并未发生明显的变化(表 8, 表 9)。

噻嗪酮是日本株式会社研发的噻二唑类衍生物, 是一种新型的抑制昆虫几丁质合成的昆虫生长调节剂(庄永林和沈晋良, 2000), 于 20 世纪 80 年代中后期噻嗪酮被引入我国防治稻飞虱。2005 年之前褐飞虱对噻嗪酮抗性发展缓慢, 一直维持在敏感性阶段 (Wang *et al.*, 2008b); 2005 年之后褐飞虱对噻嗪酮的抗药性发展较快, 褐飞虱湖北孝感种群 2007 年对噻嗪酮产生高水平抗性(姚亮等, 2010), 褐飞虱湖北监利、武穴田间种群 2010 年对噻嗪酮产生高水平抗性(卢鹏, 2011), 2011 年以后湖北大部分地区褐飞虱田间种群对噻嗪酮都产生高水平抗性 (Zhang *et al.*, 2014, 2016)。与最近的研究结果相似(张帅, 2016), 褐飞虱湖北田间种群对噻嗪酮的抗性并未发生明显的变化, 依然处于高水平抗性阶段(表 10)。褐飞虱田间种群对噻嗪酮抗性发展与在我国大量应用有关, 据报道自 2009 年氟虫腈在水稻上禁用之后, 噻嗪酮再次成为防治褐飞虱的首选药剂之一(王鹏等, 2013)。

乙虫腈是德国拜耳作物科学研发的苯基吡唑类杀虫剂, 对咀嚼式口器害虫与刺吸式口器害虫有较好的防治效果。在泰国, 2005 年开始使用乙虫腈防治稻飞虱, 由于乙虫腈大量使用, 褐飞虱已经对乙虫腈产生了高水平抗性 (Punyawattee *et al.*, 2013)。在我国乙虫腈还并未在田间使用, 但褐飞虱已经对乙虫腈产生了中等水平的抗药性(表 11), 与氟虫腈存在交互抗性 (Zhao *et al.*, 2011) 及乙虫腈在虫源地泰国的大量使用可能是引起褐飞虱对乙虫腈产生抗性的原因 (Punyawattee *et al.*, 2013)。

毒死蜱与异丙威在 20 世纪 60 年代上市, 是较早应用在水稻上的杀虫剂。褐飞虱对有机磷类杀虫剂与氨基甲酸酯类杀虫剂抗性发展缓慢, 维持在低

水平至中等水平抗性阶段 (Matsumura *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014)。与先前研究结果相似 (Matsumura *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014, 2016), 褐飞虱湖北地区田间种群对异丙威与毒死蜱敏感性处于中等抗性水平阶段(表 12, 表 13)。

醚菊酯是日本三井化学有限公司研发的菊酯类杀虫剂, 1987 年上市, 在日本主要用于来防治水稻螟虫、飞虱、稻象甲等害虫 (Numata *et al.*, 1992; 张翼翾和张一宾, 2003)。从 2005 年开始, Matsumura 等(2014)连续 8 年监测了日本褐飞虱田间种群对醚菊酯抗药性, 结果表明褐飞虱对醚菊酯处于敏感至中等水平的抗药性阶段。本研究中湖北地区褐飞虱田间种群对醚菊酯处于敏感性阶段(表 14)。同时, 由于醚菊酯对水生生物低毒 (Numata *et al.*, 1992; 张翼翾和张一宾, 2003), 已在我国登记防治稻飞虱, 是较好的轮换使用药剂。

杀虫剂的抗性是影响水稻褐飞虱防治的主要因子, 因此必需进行有效的抗性治理。根据监测结果, 轮换使用醚菊酯、噻虫胺、呋虫胺等杀虫剂防治褐飞虱以减少噻虫啉在水稻田的使用次数, 延缓其抗性发展。同时通过杀虫剂的轮换使用、混配用药以减少杀虫剂在每季作物上的使用次数等手段对褐飞虱进行抗性治理时, 也应结合其他一些措施如农业防治和生物防治减少杀虫剂的使用量, 降低药剂对褐飞虱的选择压, 延缓抗性发展。

参考文献 (References)

- Basanth YS, Sannaveerappanava VT, Gowda DKS, 2013. Susceptibility of different populations of *Nilaparvata lugens* from major rice growing areas of Karnataka, India to different groups of insecticides. *Rice Sci.*, 20(5): 371-378.
- Cabauatan PQ, Cabunagan RC, Choi R, 2009. Rice viruses transmitted by the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. In: Heong KL, Hardy B eds. *Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia*. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 357-368.
- Cheng JA, 2015. Rice planthoppers in the past half century in China. In: Heong KL, Cheng JA, Escalada MM eds. *Rice Planthoppers: Ecology, Management, Socio Economics and Policy*. Zhejiang University Press, Hangzhou, China and Springer Science + Business Media, Dordrecht, Netherlands. 1-32.
- Cheng JA, Zhu ZR, 2006. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005. *Plant Prot.*, 32(4): 1-4. [程家安, 祝增荣, 2006. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析. *植物保护*, 32(4): 1-4]
- Cheng SN, Chen JC, Si H, Yan LM, Chu TL, Wu CT, Chien JK, Yan

- CS, 1979. Studies on the migrations of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)). *Acta Entomol. Sin.*, 22(1): 1–22. [程遐年, 陈若簾, 习学, 杨联民, 朱子龙, 吴进才, 钱仁贵, 杨金生, 1979. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报, 22(1): 1–22]
- Cheng XN, Wu JC, Ma F, 2003. Research and Control of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens*. China Agriculture Press, Beijing. 44–45. [程遐年, 吴进才, 马飞, 2003. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社. 44–45]
- Dai SM, Sun CN, 1984. Pyrethroid resistance and synergism in *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) in Taiwan. *J. Econ. Entomol.*, 77(4): 891–897.
- Dyck VA, Thomas B, 1979. The brown planthopper problem. In: International Rice Research Institute ed. Brown Planthopper: Threat to Rice Production in Asia. International Rice Research Institute, Philippines. 3–17.
- Elbert A, Haas M, Springer B, Thielert W, Nauen R, 2008. Applied aspects of neonicotinoid uses in crop protection. *Pest Manag. Sci.*, 64(11): 1099–1105.
- Endo S, Tsurumachi M, 2001. Insecticide susceptibility of the brown planthopper and the white-backed planthopper collected from Southeast Asia. *J. Pestic. Sci.*, 26(1): 82–86.
- Garrood WT, Zimmer CT, Gorman KJ, Nauen R, Bass C, Davies TGE, 2016. Field-evolved resistance to imidacloprid and ethiprole in populations of brown planthopper *Nilaparvata lugens* collected from across South and East Asia. *Pest Manag. Sci.*, 72(1): 140–149.
- Hirai K, 1993. Recent trends of insecticide susceptibility in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 28(30): 339–346.
- Hirai K, 1994. Development of insecticide resistance to organophorus and carbonates in the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera* Horvath in Japan. *J. Pestic. Sci.*, 19(3): 229–232.
- Hong XY, Ding JH, 2007. Agricultural Entomology. China Agriculture Press, Beijing. 87–93. [洪晓月, 丁锦华, 2007. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 87–93]
- Kilin D, Nagata T, Masuda T, 1981. Development of carbamate resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: delphacidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 16(1): 1–6.
- Li WH, 2009. Studies on the Susceptibility of Several Kinds of Insecticides and Resistance to Imidacloprid in Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). MSc Thesis, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [李文红, 2009. 褐飞虱对几类杀虫剂的敏感性及对吡虫啉抗性的研究. 南京: 南京农业大学硕士学位论文]
- Liang GM, Li YP, Guo JQ, 2007. Occurrence situation, insecticide resistance and government of *Nilaparvata lugens* (Stål) in Thailand and Vietnam in recent years. *China Plant Prot.*, 27(6): 44–45. [梁桂梅, 李永平, 郭井泉, 2007. 近年泰国、越南稻飞虱发生态势及抗药性的发生与治理. 中国植保导刊, 27(6): 44–45]
- Liu XG, Zhao XH, Wang YH, Wei JJ, Shen JL, Kong J, Cao MZ, Zhou WJ, Luo CH, 2010. Dynamic changes of resistance to fipronil and neonicotinoid insecticides in brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Chin. J. Rice Sci.*, 24(1): 73–80. [刘叙杆, 赵兴华, 王彦华, 韦锦捷, 沈晋良, 孔健, 曹明章, 周威君, 罗才宏, 2010. 褐飞虱对氟虫腈和新烟碱类药剂的抗性动态变化. 中国水稻科学, 24(1): 73–80]
- Liu ZW, 2004. Imidacloprid Resistance in Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) and the Mechanism. PhD Dissertation, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [刘泽文, 2004. 褐飞虱对吡虫啉的抗性及其机理的研究. 南京: 南京农业大学博士学位论文]
- Lu P, 2011. Study on the Susceptibility of Several Kinds of Insecticides and Rapid Detection of Insecticide Resistance in Rice Planthopper. MSc Thesis, Huazhong Agricultural University, Wuhan. [卢鹏, 2011. 稻飞虱对几种杀虫剂的敏感性及其抗性快速检测的研究, 武汉: 华中农业大学硕士学位论文]
- Matsumura M, Sanada-Morimura S, Otuka A, Ohtsu R, Sakumoto S, Takeuchi H, Satoh M, 2014. Insecticide susceptibilities in populations of two rice planthoppers, *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera*, immigrating into Japan in the period 2005–2012. *Pest Manag. Sci.*, 70(4): 615–622.
- Matsumura M, Takeuchi H, Satoh M, Sanada-Morimura S, Otuka A, Watanabe T, Thanh DV, 2008. Species-specific insecticide resistance to imidacloprid and fipronil in the rice planthoppers *Nilaparvata lugens* and *Sogatella furcifera* in East and South-east Asia. *Pest Manag. Sci.*, 64(11): 1155–1121.
- Min S, Lee SW, Choi BR, Lee SH, Kwon DH, 2014. Insecticide resistance monitoring and correlation analysis to select appropriate insecticides against *Nilaparvata lugens* (Stål), a migratory pest in Korea. *J. Asia-Pac. Entomol.*, 17(4): 711–716.
- Nagata T, 1982. Insecticide resistance and chemical control of the rice planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Bull. Kyushu Nat. Agr. Exp. Sta.*, 22: 49–164.
- Nagata T, Moriya S, 1974. Resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål, to Lindane. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 18(2): 73–80.
- Numata S, Nakatani K, Umemoto M, Gohbara M, 1992. Research and development of a low toxic insecticide, Etofenprox. *J. Syn. Org. Chem. Jpn.*, 50(2): 160–166.
- Otuka A, 2009. Migration of rice planthoppers and simulation techniques. In: Heong KL, Hardy B eds. Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 343–356.
- Punyawattee P, Han ZJ, Sriratanasak W, Arunmit S, Chaiwong J, Bullangpoti V, 2013. Ethiprole resistance in *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae): possible mechanisms and cross-resistance. *Appl. Entomol. Zool.*, 48(2): 205–211.
- Shao ZR, Feng X, Zhang S, Li ZY, Huang JD, Chen HY, Hu ZD, 2013. Guidelines for Insecticide Resistance Monitoring of *Plutella xylostella* (L.) on Cruciferous Vegetables. China Agriculture Press, Beijing. [邵振源, 冯夏, 张帅, 李振宇, 黄军定, 陈焕瑜, 胡珍娣, 2013. 十字花科小菜蛾抗药性监测技术规程. 北京: 中国

农业出版社]

- Wang P, Ning ZP, Zhang S, Jiang TT, Tan LR, Dong S, Gao CF, 2013. Resistance monitoring to conventional insecticides in brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) in main rice growing regions in China. *Chin. J. Rice Sci.*, 27(2): 191 – 197. [王鹏, 甯佐萃, 张帅, 蒋田田, 谭利蓉, 董嵩, 高聪芬, 2013. 我国主要稻区褐飞虱对常用杀虫剂的抗性监测. 中国水稻科学, 27(2): 191 – 197]
- Wang YH, Cang T, Zhao XP, Wu CX, Chen LP, Yu RX, Wu SG, Wang Q, 2009. Susceptibility to several types of insecticides in the rice planthoppers *Nilaparvata lugens* (Stål) and *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). *Acta Entomol. Sin.*, 52(10): 1090 – 1096. [王彦华, 仓涛, 赵学平, 吴长兴, 陈丽萍, 俞端鲜, 吴声敢, 王强, 2009. 褐飞虱和白背飞虱对几类杀虫剂的敏感性. 昆虫学报, 52(10): 1090 – 1096]
- Wang YH, Chen J, Zhu YC, Ma CY, Huang Y, Shen JL, 2008a. Susceptibility to neonicotinoids and risk of resistance development in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Pest Manag. Sci.*, 64(12): 1278 – 1284.
- Wang YH, Gao CF, Xu ZP, Zhu YC, Zhang JS, Li WH, Dai DJ, Lin YW, Zhou WJ, Sheng JL, 2008b. Buprofezin susceptibility survey, resistance selection and preliminary determination of the resistance mechanism in *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Pest Manag. Sci.*, 64(10): 1050 – 1056.
- Wang YH, Wu SG, Zhu YC, Chen J, Liu FY, Zhao XP, Wang Q, Li Z, Bo XP, Shen JL, 2009. Dynamics of imidacloprid resistance and cross-resistance in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Entomol. Exp. Appl.*, 131(1): 20 – 29.
- Yao L, Qin CH, Lu P, You H, Li JH, Xu W, Zhang KX, Peng CH, Luo HG, Wang SQ, 2010. Monitoring on resistance of *Nilaparvata lugens* to imidacloprid, buprofezin and fipronil. *Chin. Bull. Entomol.*, 47(1): 115 – 119. [姚亮, 覃春华, 卢鹏, 游红, 李建洪, 许威, 张凯雄, 彭传华, 罗汉刚, 王盛桥, 2010. 湖北省褐飞虱对吡虫啉、噻嗪酮及氟虫腈的抗药性监测. 昆虫知识, 47(1): 115 – 119]
- Zhang S, 2016. Resistance monitoring of national agricultural pest and guidelines of application of insecticides in 2015. *China Plant Protection*, 36(3): 61 – 65. [张帅, 2016. 2015 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议. 中国植保导刊, 36(3): 61 – 65]
- Zhang XL, Liao X, Mao KK, Zhang KX, Wan H, Li JH, 2016. Insecticide resistance monitoring and correlation analysis of insecticides in field populations of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in China 2012 – 2014. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 132: 13 – 20.
- Zhang XL, Liu XY, Zhu FX, Li JH, You H, Lu P, 2014. Field evolution of insecticide resistance in the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in China. *Crop Prot.*, 58: 61 – 66.
- Zhang YX, Zhang YB, 2003. The application of the pyrethroid in rice field. *Modern Agrochemicals*, 2(6): 9 – 13. [张翼翮, 张一宾, 2003. 试论拟除虫菊酯类杀虫剂在水稻田中的应用. 现代农药, 2(6): 9 – 13]
- Zhao XH, 2010. Study on Phenylphrazole Insecticide Resistance Risk Assessment and Cross-resistance in *N. lugens*. MSc Thesis, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [赵兴华, 2010. 褐飞虱对苯基吡唑类杀虫剂抗性风险评估及交互抗性研究. 南京: 南京农业大学硕士学位论文]
- Zhao XH, Ning ZP, He YP, Shen JL, Su JY, Gao CF, Zhu YC, 2011. Differential resistance and cross-resistance to three phenylpyrazole insecticides in the planthopper *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae). *J. Econ. Entomol.*, 104(4): 1364 – 1368.
- Zhuang YL, Shen JL, Dai DJ, Zhou WJ, 2004. Genetic analysis of resistance to buprofezin in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *Acta Entomol. Sin.*, 47(6): 749 – 753. [庄永林, 沈晋良, 戴德江, 周威君, 2004. 褐飞虱对噻嗪酮抗性的遗传分析. 昆虫学报, 47(6): 749 – 753]
- Zhuang YL, Shen JL, 2000. A method for monitoring of resistance to buprofezin in brown planthopper. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 23(3): 114 – 117. [庄永林, 沈晋良, 2000. 稻褐飞虱对噻嗪酮抗性的检测技术. 南京农业大学学报, 23(3): 114 – 117]

(责任编辑: 袁德成)