

# 湖北稻区白背飞虱田间种群抗药性监测

张小磊, 廖 逊, 毛凯凯, 李建洪, 万 虎\*

(华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070)

**摘要:**【目的】白背飞虱 *Sogatella furcifera* 是水稻上的主要害虫之一, 目前白背飞虱主要以化学防治为主, 为指导田间合理用药, 本文报道了湖北白背飞虱田间种群对防治药剂的抗性变化情况。【方法】采用稻茎浸渍法监测了 2011–2014 年采自湖北鄂州蒲团、鄂州长港、枝江问安和石首南口稻田的白背飞虱 4 个田间种群对 11 种杀虫剂的抗性。【结果】白背飞虱田间种群已对噻嗪酮产生中等水平抗性(抗性倍数 RR = 13.0 ~ 38.6 倍); 对吡虫啉处于敏感至中等的抗性水平(RR = 2.6 ~ 15.4 倍); 对噻虫啉(RR = 2.1 ~ 6.9 倍)、噻虫胺(RR = 3.0 ~ 7.0 倍)、吡虫啉(RR = 2.5 ~ 7.0 倍)及啉虫脒(RR = 3.3 ~ 8.2 倍)处于敏感至低抗水平; 所有白背飞虱田间种群均对烯啶虫胺(RR = 2.2 ~ 4.9 倍)、异丙威(RR = 2.0 ~ 4.6 倍)及醚菊酯(RR = 1.8 ~ 4.0 倍)敏感; 除长港(2011–2012 年)与蒲团(2012 年)白背飞虱田间种群对吡蚜酮敏感外, 其余白背飞虱田间种群均对吡蚜酮产生中等水平抗性(RR = 15.2 ~ 91.0 倍); 白背飞虱长港田间种群(2013 年与 2014 年种群)对毒死蜱产生中等水平抗性, 抗性倍数分别为 15.6 和 10.1, 其余白背飞虱田间种群则对毒死蜱为敏感或低水平抗性(RR = 1.7 ~ 8.5 倍)。【结论】根据监测结果, 建议加强对噻嗪酮、吡虫啉和吡蚜酮抗性监测, 同时减少噻嗪酮、吡虫啉和吡蚜酮在水稻田使用次数, 降低杀虫剂对白背飞虱田间种群选择压, 延长其在田间的使用寿命。

**关键词:** 白背飞虱; 新烟碱类杀虫剂; 有机磷类杀虫剂; 氨基甲酸酯类杀虫剂; 拟除虫菊酯类杀虫剂; 昆虫生长调节剂; 吡啶甲亚胺类杀虫剂; 抗性监测

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2016)11-1213-09

## Insecticide resistance monitoring in field populations of the white-back planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae) in rice production areas of Hubei Province, central China

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

**Abstract:** 【Aim】The white-back planthopper, *Sogatella furcifera*, is a well-known serious cosmopolitan pest on rice crop. Chemical insecticides have been considered as an effective way for its control. However, field populations of *S. furcifera* have developed resistance to many insecticides. The objective of the present study is to monitor the insecticide resistance in field populations of *S. furcifera* in Hubei Province, central China, so as to provide useful information for reasonable applications of these insecticides. 【Methods】Resistance of four field populations of *S. furcifera* collected from rice fields of Putuan of Ezhou, Changgang of Ezhou, Wen'an of Zhijiang and Nankou of Shishou during 2011–2014 to eleven commonly used insecticides was detected by rice stem dipping method. 【Results】The field populations of *S. furcifera* have developed medium-level resistance to buprofezin [resistance ratio (RR) = 13.0–38.6]. Moreover, the field populations tested showed no resistance (susceptible) to medium-level

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: huwan@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received: 2016-08-04; 接受日期 Accepted: 2016-10-27

resistance to imidacloprid (RR = 2.6 - 15.4), no resistance (susceptible) or low-level resistance to clothianidin (RR = 3.0 - 7.0), dinotefuran (RR = 2.5 - 7.0), acetamiprid (RR = 3.3 - 8.2) and thiamethoxam (RR = 2.1 - 6.9), and maintained susceptible to nitenpyram (RR = 2.2 - 4.9), isoprocarb (RR = 2.0 - 4.6) and etofenprox (RR = 1.8 - 4.0). In addition, the field populations of Changgang (2011 and 2012) and Putuan (2012) remained susceptible to pymetrozine (RR = 3.1 - 4.9), while other populations developed moderate-level resistance to pymetrozine (RR = 15.2 - 91.0). All populations were susceptible or showed low-level resistance to chlorpyrifos (RR = 1.7 - 8.5) except that the field populations of Changgang (2013 and 2014) showed moderate-level resistance to chlorpyrifos (RR = 15.6 and 10.1, respectively). 【Conclusion】 Due to the obvious increase in resistance to imidacloprid, buprofezin and pymetrozine, resistance monitoring is urgently needed, and applications of these insecticides should also be limited to prevent or delay further increase of insecticide resistance in *S. fercifura*.

**Key words:** *Sogatella fercifera*; neonicotinoids; organophosphates; carbamates; pyrethroids; insect growth regulators; azomethine pyridines; resistance monitoring

白背飞虱 *Sogatella fercifera* (Horváth) 属同翅目 (Homoptera) 飞虱科 (Delphacidae), 是一种严重危害水稻的害虫, 可通过刺吸水稻汁液和产卵直接危害, 也可通过传播或诱发水稻病害造成间接危害 (洪晓月和丁锦华, 2007; Catindig *et al.*, 2009; Su *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014a)。白背飞虱是典型的 r-对策性害虫, 且具有迁飞习性, 易造成水稻大面积受害 (秦厚国等, 2003; 洪晓月和丁锦华, 2007; Catindig *et al.*, 2009; Sogawa, 2015)。由于大面积种植对白背飞虱敏感的杂交稻, 以致白背飞虱广泛发生, 在国内各大稻区均有分布, 包括东北、华北、华中、华南、西南、西北等稻区。国外主要分布于朝鲜、韩国、日本及东南亚和南亚等国家和地区的稻区 (秦厚国等, 2003; 洪晓月和丁锦华, 2007)。

20 世纪 70 年代以前白背飞虱发生面积小, 危害轻, 80 年代以后由于我国和东南亚稻区大面积推广种植杂交稻品种, 致使白背飞虱危害日趋严重, 发生频率显著增加 (洪晓月和丁锦华, 2007; Sogawa, 2015)。为有效降低白背飞虱危害, 化学防治白背飞虱一直是主要手段 (张帅等, 2016)。但是由于长期大量、不合理地使用化学农药防治白背飞虱, 白背飞虱已经不可避免地常用化学药剂敏感性下降 (Su *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014a)。目前白背飞虱已对有机氯类、有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类和苯基吡啶类等杀虫剂产生了不同程度的抗性 (Endo *et al.*, 1988; Endo and Tsurumachi, 2001; Nagata, 2002; Matsumura *et al.*, 2008; Nakao *et al.*, 2012; Su *et al.*, 2013; Matsumura *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014a)。

开展白背飞虱抗性监测, 可以准确掌握白背飞虱对主要防治药剂的抗性现状, 为制订白背飞虱的有效治理策略提供科学依据。因此, 本研究于 2011 - 2014 年采用稻茎浸渍法监测了湖北省鄂州蒲团、鄂州长港、枝江问安和石首南口的白背飞虱田间种群对 11 种杀虫剂的抗性, 为白背飞虱田间种群有效防控与抗药性治理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试虫源

于 2011 - 2014 年 7 - 8 月份分别采集湖北省鄂州长港、鄂州蒲团、枝江问安和石首南口 4 地稻田的白背飞虱田间种群 (表 1)。每个地区采集 1 000 ~ 5 000 头左右的白背飞虱, 选取 3 龄中期一致的白背飞虱若虫用于抗性水平测定。枝江位于湖北省西部, 石首位于湖北省南部, 鄂州位于湖北省东部, 同时这三地也位于江汉平原的西部、南部和东部, 水稻是这三地的主要粮食作物。

### 1.2 供试药剂

本研究选用有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类、昆虫生长调节剂类、新烟碱类、吡啶甲酰胺类杀虫剂等 6 类 11 种杀虫剂 (表 2) 用于白背飞虱田间种群敏感性测定。

### 1.3 生物测定方法

用万分之一电子天平准确称取供试杀虫剂, 用少量丙酮 [或 N,N-二甲基甲酰胺 (DMF)] 溶解, 加入 0.1% Triton X-100 水溶液, 稀释成一定浓度的母液, 再用 0.1% 的 Triton X-100 水溶液按等比稀释 6 ~ 9 个系列浓度。

表 1 2011–2014 年供试虫源湖北白背飞虱田间种群的采集信息

Table 1 Sampling data of field populations of *Sogatella furcifera* in Hubei, central China in 2011–2014

种群 Populations	采集时间 Collecting date	采集地点 Collecting locality	经纬度 Geographical coordinates	虫态 Insect developmental stage	寄主植物 Host plant
CG-11	2011-07-30				
CG-12	2012-08-03				
CG-13	2013-08-15	鄂州长港 Changgang, Ezhou	114.71°E, 30.36°N		
CG-14	2014-07-30				
PT-12	2012-07-15		114.72°E, 30.41°N	若虫 + 成虫 Nymph + Adult	水稻 Rice
PT-14	2014-07-15	鄂州蒲团 Putuan, Ezhou			
WA-12	2012-07-27		118.82°E, 30.58°N		
WA-13	2013-08-10	枝江问安 Wen'an, Zhijiang			
NK-13	2013-07-22	石首南口 Nankou, Shishou	112.34°E, 29.73°N		

表 2 供试杀虫剂信息

Table 2 Insecticides used in this study

杀虫剂 Insecticides	纯度 Purity (%)	生产企业 Producers
吡虫啉 Imidacloprid	96	河北威远生物化工有限公司 Hebei Veyong Bio-Chemical Co., Ltd.
啉虫脒 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.
烯啶虫胺 Nitenpyram	96	
毒死蜱 Chlorpyrifos	98	江苏宝灵化工有限公司 Jiangsu Baoling Chemical Co., Ltd.
异丙威 Isoprocarb	98	江苏常隆化工有限公司 Jiangsu Changlong Chemical Co., Ltd.
醚菊酯 Etofenprox	95	苏州奥特莱化工有限公司 Suzhou Aotelai Chemical Co., Ltd.
噻嗪酮 Buprofezin	96	
吡蚜酮 Pymetrozine	96	江苏安邦电化有限公司 Jiangsu Anpon Electrochemical Co., Ltd.

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。取标准一致的 3 龄中期若虫为试虫,每杯 15 头,每个浓度重复 3 次,以 0.1% Triton X-100 水溶液为对照。接虫后置于温度  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ,光周期 16L:8D 的恒温人工气候箱中培养。处理后注意脱脂棉保湿稻茎根,防稻茎干枯。氨基甲酸酯类、有机磷类、拟除虫菊酯类杀虫剂处理 72 h 后检查结果;新烟碱类杀虫剂处理 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;吡啶类杀虫剂处理 168 h 后检查结果。

#### 1.4 结果统计分析

采用 DPS (3.01)对数据进行处理,计算出致死中浓度(LC<sub>50</sub>)值及 95% 的置信区间;用 Abbott 公式计算死亡率和校正死亡率。抗性水平分级标准(邵振润等, 2013):抗性倍数(resistance ratio, RR) ≤ 5 为敏感;5 ~ 10 为低水平抗性;10 ~ 100 为中等水平抗性;> 100 为高水平抗性。以 95% 置信区间是否

重叠作为判断杀虫剂的毒力是否差异显著的依据。

#### 1.5 白背飞虱对杀虫剂敏感性基线

白背飞虱室内相对敏感种群:2012 年 7 月采自湖北武汉,采用稻茎浸渍法测定白背飞虱对烯啶虫胺、噻虫胺、呋虫胺、毒死蜱、醚菊酯、异丙威和吡蚜酮的敏感性(表 3)。白背飞虱对吡虫啉、噻虫嗪、啉虫脒和噻嗪酮的敏感基线引自张凯等(2013)与薄仙平(2008)。

## 2 结果

#### 2.1 白背飞虱田间种群对新烟碱类杀虫剂的抗性

抗性监测结果表明,湖北白背飞虱鄂州长港(2011–2014 年)、鄂州蒲团(2012 和 2014 年)、枝江问安(2012 和 2013 年)和石首南口(2013 年)田间种群对新烟碱类杀虫剂抗性处于敏感至中等水平(RR = 2.1 ~ 15.4 倍)(表 4 ~ 7),其抗性水平发生程度为:吡虫啉 > 啉虫脒 > 噻虫嗪、噻虫胺、呋虫胺 > 烯啶虫胺。对抗性发展情况进行分析发现,白背飞虱对吡虫啉和呋虫胺抗性有上升趋势,同时研究也表明不同地区间白背飞虱对新烟碱类杀虫剂抗性水平发展存在差异(表 4 ~ 7)。

表 3 白背飞虱对杀虫剂敏感性基线

Table 3 The susceptibility baselines of *Sogatella furcifera* to insecticides

组别 Insecticide groups	杀虫剂 Insecticides	LC <sub>50</sub> (95% 置信区间) LC <sub>50</sub> (95% CI) (mg/L)	斜率(标准误) Slope (SE)
新烟碱类杀虫剂 Neonicotinoids	吡虫啉 Imidacloprid	0.109 (0.057 – 0.172)	1.91 (0.28) *
	噻虫嗪 Thiamethoxam	0.096 (0.040 – 0.169)	1.47 (0.25) *
	啶虫脒 Acetamiprid	0.52 (0.19 – 0.82)	1.60 (0.40) **
	噻虫胺 Clothianidin	0.15 (0.09 – 0.21)	1.40 (0.17)
	呋虫胺 Dinotefuran	0.12 (0.08 – 0.17)	1.46 (0.20)
	烯啶虫胺 Nitenpyram	0.13 (0.10 – 0.18)	1.55 (0.25)
有机磷类杀虫剂 Organophosphates	毒死蜱 Chlorpyrifos	1.36 (1.05 – 1.71)	1.43 (0.18)
氨基甲酸酯类杀虫剂 Carbamates	异丙威 Isoprocarb	11.46 (9.44 – 13.87)	1.30 (0.15)
拟除虫菊酯类杀虫剂 Pyrethroids	醚菊酯 Etofenprox	25.08 (16.03 – 35.17)	1.34 (0.15)
昆虫生长调节剂 Insect growth regulator	噻嗪酮 Buprofezin	0.044 (0.032 – 0.059)	1.58 (0.27) *
吡啶甲亚胺类杀虫剂 Pyridine azomethine	吡蚜酮 Pymetrozine	0.83 (0.71 – 0.97)	1.37 (0.14)

\* 数据引自张凯等(2013) Data cited from Zhang *et al.*, 2013; \*\* 数据引自薄仙平(2008) Data cited from Bo, 2008.

表 4 2011–2014 年白背飞虱湖北鄂州长港田间种群对 11 种杀虫剂的抗性

Table 4 Resistance of Changgang populations of *Sogatella furcifera* in Ezhou, Hubei to 11 insecticides in 2011–2014

杀虫剂 Insecticides	种群 Populations	虫数 N	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	LC <sub>50</sub> 值(95% 置信区间) LC <sub>50</sub> (95% CI) (mg/L)	卡方值 χ <sup>2</sup>	抗性倍数 RR
吡虫啉 Imidacloprid	CG-11	450	1.73 ± 0.21	0.36 (0.29 – 0.46)	2.02	3.3
	CG-12	450	1.41 ± 0.17	0.28 (0.22 – 0.37)	0.33	2.6
	CG-13	315	1.26 ± 0.14	0.51 (0.37 – 0.71)	1.13	4.7
	CG-14	360	0.78 ± 0.09	0.91 (0.56 – 1.58)	1.50	8.3
噻虫嗪 Thiamethoxam	CG-11	450	1.26 ± 0.13	0.47 (0.36 – 0.61)	0.43	4.9
	CG-12	405	1.26 ± 0.11	0.29 (0.22 – 0.38)	0.77	3.0
	CG-13	360	1.90 ± 0.23	0.20 (0.16 – 0.26)	0.43	2.1
	CG-14	315	1.19 ± 0.13	0.43 (0.30 – 0.62)	1.19	4.5
烯啶虫胺 Nitenpyram	CG-11	450	1.84 ± 0.19	0.28 (0.22 – 0.34)	0.27	2.2
	CG-12	450	2.06 ± 0.22	0.29 (0.23 – 0.35)	4.03	2.2
	CG-13	360	1.50 ± 0.21	0.64 (0.47 – 0.93)	1.97	4.9
	CG-14	315	1.51 ± 0.12	0.45 (0.31 – 0.66)	3.04	3.5
噻虫胺 Clothianidin	CG-11	405	1.15 ± 0.13	1.05 (0.77 – 1.51)	2.59	7.0
	CG-12	405	0.96 ± 0.10	0.69 (0.51 – 0.96)	0.96	4.6
	CG-13	315	1.49 ± 0.23	0.81 (0.58 – 1.29)	1.32	5.4
	CG-14	360	1.56 ± 0.19	0.73 (0.56 – 0.97)	2.84	4.9
呋虫胺 Dinotefuran	CG-11	405	1.64 ± 0.12	0.39 (0.29 – 0.51)	0.25	3.3
	CG-12	405	1.19 ± 0.13	0.30 (0.23 – 0.40)	0.88	2.5
	CG-13	360	1.22 ± 0.15	0.61 (0.46 – 0.87)	1.60	5.1
	CG-14	315	1.84 ± 0.19	0.70 (0.51 – 1.04)	0.65	5.8
啶虫脒 Acetamiprid	CG-11	450	1.51 ± 0.14	1.71 (1.35 – 2.13)	0.12	3.3
	CG-12	450	1.49 ± 0.17	2.59 (2.02 – 3.42)	2.95	5.0
	CG-13	405	1.79 ± 0.15	2.89 (2.15 – 4.06)	0.70	5.6
	CG-14	405	1.51 ± 0.21	3.47 (2.58 – 5.09)	0.36	6.7
吡蚜酮 Pymetrozine	CG-11	450	1.75 ± 0.13	4.08 (3.25 – 5.12)	0.67	4.9
	CG-12	405	1.55 ± 0.16	3.53 (2.83 – 4.50)	2.23	4.3
	CG-13	450	1.25 ± 0.33	75.57 (34.23 – 134.60)	0.22	91.0
	CG-14	360	1.50 ± 0.21	71.51 (50.03 – 111.81)	4.01	86.2
噻嗪酮 Buprofezin	CG-11	450	1.45 ± 0.16	0.83 (0.62 – 1.06)	1.04	18.9
	CG-12	405	1.56 ± 0.21	0.59 (0.43 – 0.76)	0.25	13.4
	CG-13	360	1.42 ± 0.19	0.58 (0.37 – 0.80)	0.39	13.2
	CG-14	315	2.60 ± 0.33	1.00 (0.82 – 1.28)	2.06	22.7
毒死蜱 Chlorpyrifos	CG-11	360	1.26 ± 0.12	8.57 (6.72 – 10.99)	0.38	6.3
	CG-12	360	1.55 ± 0.16	4.21 (3.29 – 5.25)	0.65	3.1
	CG-13	405	1.25 ± 0.16	21.22 (15.22 – 32.23)	2.59	15.6
	CG-14	405	1.22 ± 0.16	13.73 (9.13 – 20.31)	2.01	10.1

续表 4 Table 4 continued

杀虫剂 Insecticides	种群 Populations	虫数 N	斜率 ± 标准误差 Slope ± SE	LC <sub>50</sub> 值(95% 置信区间) LC <sub>50</sub> (95% CI) (mg/L)	卡方值 χ <sup>2</sup>	抗性倍数 RR
异丙威 Isoprocarb	CG-11	405	1.45 ± 0.15	37.21 (29.15 - 46.67)	0.39	3.2
	CG-12	405	1.52 ± 0.18	32.53 (25.37 - 40.54)	1.33	2.8
	CG-13	360	1.42 ± 0.14	51.17 (40.42 - 65.12)	5.36	4.5
	CG-14	450	1.69 ± 0.21	43.53 (33.99 - 58.74)	1.43	3.8
醚菊酯 Etofenprox	CG-11	450	1.67 ± 0.18	100.39 (79.76 - 131.76)	1.71	4.0
	CG-12	360	1.41 ± 0.13	65.76 (52.26 - 82.89)	2.06	2.6
	CG-13	315	1.38 ± 0.18	84.46 (62.35 - 119.06)	1.04	3.4
	CG-14	405	1.00 ± 0.13	61.51 (40.58 - 102.79)	2.87	2.5

白背飞虱种群采集信息见表 1; 下同。Sampling data of *S. furcifera* populations see Table 1. The same below.

表 5 2012 和 2014 年白背飞虱湖北鄂州蒲团田间种群对 11 种杀虫剂的抗性

Table 5 Resistance of Putuan populations of *Sogatella furcifera* in Ezhou, Hubei to 11 insecticides in 2012 and 2014

杀虫剂 Insecticides	种群 Populations	虫数 N	斜率 ± 标准误差 Slope ± SE	LC <sub>50</sub> 值(95% 置信区间) LC <sub>50</sub> (95% CI) (mg/L)	卡方值 χ <sup>2</sup>	抗性倍数 RR
吡虫啉 Imidacloprid	PT-12	405	1.56 ± 0.14	0.37 (0.30 - 0.45)	2.62	3.4
	PT-14	315	1.00 ± 0.12	1.68 (1.06 - 3.07)	9.91	15.4
噻虫嗪 Thiamethoxam	PT-12	405	1.60 ± 0.16	0.35 (0.27 - 0.43)	2.91	3.6
	PT-14	315	1.23 ± 0.16	0.29 (0.20 - 0.42)	4.02	3.0
烯啶虫胺 Nitenpyram	PT-12	450	1.37 ± 0.16	0.55 (0.42 - 0.73)	0.83	4.2
	PT-14	315	1.40 ± 0.20	0.50 (0.35 - 0.80)	11.01	3.8
噻虫胺 Clothianidin	PT-12	405	1.38 ± 0.11	0.48 (0.37 - 0.63)	1.56	3.2
	PT-14	360	0.86 ± 0.10	1.04 (0.74 - 1.57)	1.65	6.9
呋虫胺 Dinotefuran	PT-12	405	1.47 ± 0.16	0.42 (0.32 - 0.55)	3.01	3.5
	PT-14	360	1.72 ± 0.13	0.84 (0.63 - 1.17)	3.50	7.0
啶虫脒 Acetamiprid	PT-12	450	1.44 ± 0.15	2.86 (2.25 - 3.74)	0.11	5.5
	PT-14	360	1.56 ± 0.15	2.07 (1.57 - 2.74)	0.83	4.0
吡蚜酮 Pymetrozine	PT-12	405	1.45 ± 0.16	2.56 (2.01 - 3.23)	0.35	3.1
	PT-14	360	1.00 ± 0.13	81.42 (51.84 - 141.65)	1.74	98.1
噻嗪酮 Buprofezin	PT-12	405	1.70 ± 0.21	0.57 (0.42 - 0.71)	0.46	13.0
	PT-14	360	1.54 ± 0.21	1.20 (0.90 - 1.74)	7.61	27.3
毒死蜱 Chlorpyrifos	PT-12	315	1.20 ± 0.11	11.62 (9.05 - 14.96)	1.39	8.5
	PT-14	450	1.89 ± 0.17	3.73 (2.51 - 5.38)	0.41	2.7
异丙威 Isoprocarb	PT-12	405	1.64 ± 0.20	23.19 (17.79 - 29.03)	0.13	2.0
	PT-14	450	1.88 ± 0.27	25.51 (19.50 - 37.01)	3.27	2.2
醚菊酯 Etofenprox	PT-12	360	1.58 ± 0.18	61.60 (48.67 - 80.68)	1.35	2.5
	PT-14	405	1.98 ± 0.15	46.24 (32.01 - 70.73)	3.60	1.8

## 2.2 白背飞虱田间种群对吡蚜酮的抗性

白背飞虱湖北长港(2011 - 2014)、蒲团(2012 年与 2014 年)、问安(2012 年与 2013 年)和南口(2013 年)田间种群已对吡蚜酮产生中等水平抗性(RR = 3.1 ~ 98.1)(表 4 ~ 7)。通过对其抗性水平逐年进行分析发现,2013 和 2014 年田间种群对吡蚜酮抗性显著高于 2011 和 2012 年田间种群(2012 年白背飞虱问安田间种群除外)(表 4 ~ 7),表明白背飞虱对吡蚜酮抗性上升较快。

## 2.3 白背飞虱田间种群对噻嗪酮的抗性

由监测数据可知,白背飞虱长港、蒲团、问安和南口田间种群均对噻嗪酮产生中等水平抗性(RR = 13.2 ~ 38.6 倍)(表 4 ~ 7)。其中,2013 年白背飞虱

南口田间种群对噻嗪酮抗性最高(38.6 倍,表 7),显著高于 2013 年其他田间种群对噻嗪酮的抗性;2014 年白背飞虱蒲团田间种群对噻嗪酮抗性显著高于 2012 年蒲团种群;白背飞虱其他田间种群年度间对噻嗪酮抗性差异不显著(表 4 ~ 7)。

## 2.4 白背飞虱田间种群对毒死蜱的抗性

不同年度间白背飞虱田间种群对毒死蜱抗性存在显著性差异,2013 和 2014 年长港田间种群对毒死蜱产生中等水平抗性(RR = 10.1 ~ 15.6 倍)(表 4),而 2011 年长港田间种群、2012 年蒲团田间种群及 2013 年南口田间种群对毒死蜱产生低水平抗性(RR = 6.0 ~ 8.5 倍)(表 4 ~ 5,表 7),其余田间种群对毒死蜱敏感(RR = 1.7 ~ 3.1 倍)(表 4 ~ 6),表明

表 6 2012–2013 年白背飞虱湖北枝江问安田间种群对 11 种杀虫剂的抗性

Table 6 Resistance of Wen'an populations of *Sogatella furcifera* in Zhijiang, Hubei to 11 insecticides in 2012–2013

杀虫剂 Insecticides	种群 Populations	虫数 N	斜率 ± 标准误差 Slope ± SE	LC <sub>50</sub> 值 (95% 置信区间) LC <sub>50</sub> (95% CI) (mg/L)	卡方值 $\chi^2$	抗性倍数 RR
吡虫啉 Imidacloprid	WA-12	360	1.48 ± 0.15	0.56 (0.44–0.73)	1.57	5.1
	WA-13	360	1.34 ± 0.16	0.87 (0.33–0.60)	1.31	8.0
噻虫嗪 Thiamethoxam	WA-12	405	1.82 ± 0.18	0.31 (0.26–0.39)	1.82	3.2
	WA-13	360	1.84 ± 0.18	0.23 (0.16–0.30)	4.86	2.4
烯啶虫胺 Nitenpyram	WA-12	450	1.39 ± 0.14	0.42 (0.33–0.53)	2.74	3.2
	WA-13	360	1.40 ± 0.16	0.34 (0.25–0.45)	1.46	2.6
噻虫胺 Clothianidin	WA-12	360	1.18 ± 0.11	0.45 (0.34–0.58)	0.63	3.0
	WA-13	360	1.12 ± 0.15	0.49 (0.35–0.69)	1.46	3.3
呋虫胺 Dinotefuran	WA-12	405	1.51 ± 0.14	0.34 (0.27–0.43)	1.22	2.8
	WA-13	450	1.09 ± 0.13	0.48 (0.35–0.68)	2.03	4.0
啶虫脒 Acetamiprid	WA-12	450	1.67 ± 0.18	3.14 (2.49–4.12)	1.71	6.0
	WA-13	405	1.20 ± 0.13	4.21 (3.14–5.84)	3.59	8.1
吡蚜酮 Pymetrozine	WA-12	405	0.78 ± 0.10	12.63 (8.66–20.34)	0.65	15.2
	WA-13	450	1.84 ± 0.20	20.40 (13.39–39.72)	1.09	24.6
噻嗪酮 Buprofezin	WA-12	405	1.52 ± 0.17	1.52 (1.21–1.93)	0.22	34.5
	WA-13	360	1.66 ± 0.17	0.90 (0.57–1.28)	1.14	20.5
毒死蜱 Chlorpyrifos	WA-12	315	1.44 ± 0.13	8.15 (6.50–10.24)	0.67	6.0
	WA-13	360	1.42 ± 0.19	2.33 (1.49–3.21)	0.39	1.7
异丙威 Isoprocarb	WA-12	405	1.59 ± 0.18	53.03 (42.06–67.97)	0.44	4.6
	WA-13	360	1.58 ± 0.20	47.92 (36.78–62.90)	0.41	4.2
醚菊酯 Etofenprox	WA-12	360	1.69 ± 0.21	80.34 (62.03–112.78)	1.52	3.2
	WA-13	315	1.36 ± 0.15	66.21 (50.20–87.63)	0.83	2.6

表 7 2013 年白背飞虱湖北石首南口田间种群对 11 种杀虫剂的抗性

Table 7 Resistance of Nankou populations of *Sogatella furcifera* in Shishou, Hubei to 11 insecticides in 2013

杀虫剂 Insecticides	种群 Populations	虫数 N	斜率 ± 标准误差 Slope ± SE	LC <sub>50</sub> 值 (95% 置信区间) LC <sub>50</sub> (95% CI) (mg/L)	卡方值 $\chi^2$	抗性倍数 RR
吡虫啉 Imidacloprid	NK-13	360	1.79 ± 0.23	0.92 (0.65–1.54)	0.43	8.4
噻虫嗪 Thiamethoxam	NK-13	360	2.45 ± 0.39	0.66 (0.50–1.05)	2.92	6.9
烯啶虫胺 Nitenpyram	NK-13	360	1.24 ± 0.14	0.42 (0.29–0.58)	1.08	3.2
噻虫胺 Clothianidin	NK-13	360	1.62 ± 0.23	0.73 (0.54–1.09)	0.52	4.9
呋虫胺 Dinotefuran	NK-13	450	1.69 ± 0.21	0.63 (0.49–0.87)	1.80	5.3
啶虫脒 Acetamiprid	NK-13	405	1.47 ± 0.18	4.24 (3.26–5.80)	2.55	8.2
吡蚜酮 Pymetrozine	NK-13	450	1.36 ± 0.23	45.25 (30.03–89.01)	8.53	54.5
噻嗪酮 Buprofezin	NK-13	360	2.08 ± 0.29	1.70 (1.34–2.23)	1.32	38.6
毒死蜱 Chlorpyrifos	NK-13	360	2.66 ± 0.36	8.25 (6.73–10.69)	4.22	6.1
异丙威 Isoprocarb	NK-13	360	1.53 ± 0.18	44.34 (34.24–57.30)	1.25	3.9
醚菊酯 Etofenprox	NK-13	315	1.71 ± 0.19	76.16 (59.49–99.29)	5.41	3.0

白背飞虱 2013 和 2014 年长港田间种群对毒死蜱抗性上升显著;此外,同一年度不同地点田间种群对毒死蜱抗性存在显著性差异(表 4~7)。

### 2.5 白背飞虱田间种群对异丙威和醚菊酯的抗性

白背飞虱 2011–2014 年长港、蒲团、问安和南口田间种群抗性监测结果表明,田间种群均对异丙威(RR = 2.0~4.6 倍)与醚菊酯(RR = 1.8~4.0 倍)敏感,并且同一种群不同年度间对异丙威与醚菊酯抗性变化不显著,同一年份不同种群对异丙威与醚菊酯抗性变化也不显著(表 4~7),表明抗性水

平分布均匀。

## 3 讨论

新烟碱类杀虫剂是防治稻飞虱最有效的杀虫剂之一,主要包括吡虫啉、噻虫嗪、烯啶虫胺、噻虫胺、呋虫胺、啶虫脒等(Elbert *et al.*, 2008)。此类杀虫剂是烟碱型乙酰胆碱受体激动剂,作用于昆虫的中枢神经系统;具有内吸、触杀和传导作用;另外,这类杀虫剂杀虫谱广、持效期长,对鱼、哺乳动物等安全,

与传统有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类等杀虫剂无交互抗性 (Wollweber and Tietjen, 1999; Matsuda *et al.*, 2001; Tomizawa and Casid, 2005; Elbert *et al.*, 2008; Jeschke and Nauen, 2008)。自 1991 年吡虫啉投放市场以来,一直是防治稻飞虱的主要药剂,由于吡虫啉长期不合理地被用于防治稻飞虱,褐飞虱与白背飞虱已经对其产生抗性 (Su *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014b)。Su 等 (2013) 报道白背飞虱田间种群对吡虫啉抗性为敏感至中等水平; Zhang 等 (2014a) 监测结果表明,白背飞虱田间种群对吡虫啉处于敏感至中等抗性水平。与报道相似,在本研究中,白背飞虱湖北省田间种群对吡虫啉抗性也处于敏感至中等水平。尽管吡虫啉防治稻飞虱已超过 20 年,褐飞虱已经对吡虫啉产生高水平抗性 (Zhang *et al.*, 2016),但敏感性测定表明,吡虫啉对白背飞虱依然有着较高的毒力 (表 4~7),可以继续使用吡虫啉防治白背飞虱,这可能与抗性进化中物种特异性有关 (Su *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014a)。同时本研究也表明,白背飞虱对吡虫啉的抗性有上升趋势,因此,在实践中须严格控制使用吡虫啉防治白背飞虱的次数。噻虫嗪是先正达公司研发的第二代新烟碱类杀虫剂,于 1997 年上市 (Elbert *et al.*, 2008),2000 年在我国登记防治稻飞虱。Su 等 (2013) 监测结果表明,白背飞虱对噻虫嗪处于敏感至低抗水平 (Su *et al.*, 2013),Zhang 等 (2014a) 报道白背飞虱田间种群对噻虫嗪敏感。在本研究中,白背飞虱湖北省田间种群对噻虫嗪也处于敏感至低抗水平 (表 4),这可能与噻虫嗪在白背飞虱防治中应用较少有关 (Zhang *et al.*, 2014a),另外,白背飞虱南口田间种群对噻虫嗪产生的 6.9 倍抗性可能与水稻品种和生长环境有关 (Su *et al.*, 2013)。此外,其他新烟碱类杀虫剂噻虫胺、烯啶虫胺、呋虫胺、啉虫脒也在水稻上登记用于防治稻飞虱。并且噻虫胺、烯啶虫胺、呋虫胺对白背飞虱表现出较高毒力 (表 4~7),同时由于这些药剂对鱼等水生生物低毒,且与常规药剂没有或很少有交互抗性,可作为水稻上白背飞虱田间防治交替使用或者混合使用的主要杀虫剂。

吡蚜酮为吡啶类杀虫剂,具有独特的作用方式,稻飞虱等刺吸式口器害虫接触到吡蚜酮后就会产生口针阻塞效应,立即停止取食,饥饿而死 (Harrewijn and Kayser, 1997; He *et al.*, 2011)。此外,有研究表明吡蚜酮与吡虫啉不存在交互抗性 (Yang *et al.*, 2016),对非靶标生物低毒。因此,2009 年氟虫腈在

水田禁用后,吡蚜酮逐渐成为防治稻飞虱田间种群的主要药剂 (刘泽文等, 2010)。经过多年使用,稻飞虱已经对吡蚜酮产生了抗药性 (Su *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014b)。此外,本研究发现,2013 - 2014 年监测结果与 2011 - 2012 年相比,白背飞虱田间种群对吡蚜酮抗性上升明显,处于中等抗性水平 (表 4~7)。白背飞虱对吡蚜酮的抗性发展,可能与吡蚜酮在水稻上大量应用有关 (Su *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014b)。因此,在今后白背飞虱防治过程中,应减少吡蚜酮使用次数,增加无交互抗性轮换药剂的使用次数,延缓白背飞虱对吡蚜酮抗性发展。

20 世纪 80 年代中后期噻嗪酮被引入我国防治稻飞虱 (庄永林和沈晋良, 2000)。在 2010 年之前,白背飞虱对噻嗪酮抗性发展缓慢,维持在敏感至低抗水平,2010 年后白背飞虱对噻嗪酮的抗性发展较快,产生中等水平抗性 (卢鹏, 2011; Su *et al.*, 2013)。薄仙萍 (2008) 研究表明,白背飞虱对噻嗪酮具有较高的抗性风险。目前,湖北省白背飞虱田间种群对噻嗪酮处于中等抗性水平 (表 4~7),与 Su 等 (2013) 和 Zhang 等 (2014a) 报道相似。同时,与 2009 - 2010 年数据 (卢鹏, 2011) 相比,白背飞虱对噻嗪酮的抗性发展较快,可能与噻嗪酮在水稻上大量应用有关 (Su *et al.*, 2013)。因此,为延缓白背飞虱对噻嗪酮抗性发展,应限制噻嗪酮使用次数。

20 世纪 70 至 80 年代,防治白背飞虱的主要药剂为有机磷类与氨基甲酸酯类杀虫剂 (祝增荣和程家安, 2013)。20 世纪 80 至 90 年代初,白背飞虱曾对这两类杀虫剂中的部分杀虫剂产生抗性 (Endo *et al.*, 1988; 李淑勇, 2008)。目前,毒死蜱、异丙威对白背飞虱毒力较高,抗性维持在敏感至低抗水平 (表 4~7),另外,同一年度白背飞虱田间种群对毒死蜱抗性存在显著性差异可能与水稻品种、生长环境及毒死蜱在该地区使用情况相关, Fukuda 和 Nagata (1969) 研究也表明,不同白背飞虱田间种群对有机磷杀虫剂抗性存在差异。同时由于毒死蜱与异丙威不刺激稻飞虱的生殖力 (潘文亮和赵善欢, 1990; 赵兴华, 2010),因此在白背飞虱的治理中可与其他杀虫剂轮换使用。

近年来,拟除虫菊酯类杀虫剂醚菊酯已在水稻上登记用于防治稻飞虱 (张翼翮和张一宾, 2003)。目前,白背飞虱对醚菊酯并未产生明显的抗性, Matsumura 等 (2014) 采用点滴法连续 8 年监测了日本白背飞虱田间种群对醚菊酯的敏感性,结果表明,

白背飞虱对醚菊酯处于敏感至中等抗性水平(RR = 1.3 ~ 10.9 倍)。此外,湖北省白背飞虱田间种群也并未对醚菊酯产生明显抗性(表 4 ~ 7),醚菊酯可作为防治白背飞虱轮换杀虫剂使用。

化学防治技术是有效控制白背飞虱危害,保障水稻丰收的重要措施(Su *et al.*, 2013)。但由于化学农药长期不合理的使用,白背飞虱已对常用及新型杀虫剂产生不同程度的抗性(Su *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014a)。因此,必须加强白背飞虱的抗性治理,以延缓其抗性进一步发展。不同作用机制的杀虫剂轮换使用或混用可以避免持续的选择压,延缓害虫抗药性的产生,但是相互轮换使用或混用的药剂之间须无交互抗性。同时保证防治同一害虫的药剂的多样性。此外,保护和利用好天敌也能够有效地防治害虫的发生和危害,减少农药的施用量,延缓农业害虫抗性的产生与发展。

### 参考文献 (References)

Bo XP, 2008. Risk Assessment of Resistance to Buprofezin and Laboratory Screening of Alternative Insecticides for Replacing Highly-toxic Insecticides for Controlling the White-back Planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth). MSc Thesis, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [薄仙萍, 2008. 防治白背飞虱的高毒农药替代药剂室内筛选及对噻嗪酮的抗性风险评估. 南京: 南京农业大学硕士学位论文]

Catindig JLA, Arida GS, Baehaki SE, Bentur JS, Cuong LQ, Norowi M, Rattanakam W, Sriratanasak W, Xia J, Lu Z, 2009. Situation of planthoppers in Asia. In: Heong KL, Hardy B eds. Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia. International Rice Research Institute, Philippines. 191 - 220.

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, Nagata T, Kawabe S, Kazano H, 1988. Changes of insecticide susceptibility of the white-back planthopper *Sogatella furcifera* Horváth (Homoptera: Delphacidae) and the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 23(4): 417 - 421.

Endo S, Tsurumachi M, 2001. Insecticide susceptibility of the brown planthopper and the white-backed plant hopper collected from Southeast Asia. *J. Pestic. Sci.*, 26: 82 - 86.

Fukuda H, Nagata T, 1969. Selective toxicity of several insecticides on three planthoppers. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 13: 142 - 149.

Harrewijn P, Kayser H, 1997. Pymetrozine, a fast-acting and selective inhibitor of aphid feeding. *In-situ* studies with electronic monitoring of feeding behavior. *Pestic. Sci.*, 49(2): 130 - 140.

He YP, Chen L, Chen JM, Zhang JF, Chen LZ, Sheng JL, Zhu YC,

2011. Electrical penetration graph evidence that pymetrozine toxicity to the rice brown planthopper is by inhibition of phloem feeding. *Pest Manag. Sci.*, 67(4): 483 - 491.

Hong XY, Ding JH, 2007. Agricultural Entomology. China Agriculture Press, Beijing. 93 - 98. [洪晓月, 丁锦华, 2007. 农业昆虫学. 北京: 中国农业出版社. 93 - 98]

Jeschke P, Nauen R, 2008. Neonicotinoids from zero to hero in insecticide chemistry. *Pest Manag. Sci.*, 64(11): 1084 - 1098.

Li SY, 2008. Studies on the Susceptibility to Seven Kinds of Insecticides and Resistance Risk Assessment to Imidacloprid in the White-back Planthopper, *Sogatella furcifera* (Horváth) (Homoptera: Delphacidae). MSc Thesis, Nanjing Agricultural University, Nanjing. [李淑勇, 2008. 白背飞虱对七类杀虫剂的敏感性测定及对吡虫啉的抗性风险评估. 南京: 南京农业大学硕士学位论文]

Liu ZW, Zhang YX, Yao XM, Li J, Bao HB, 2010. Imidacloprid resistance mechanism in *Nilaparvata lugens* and pharmacological properties of its nicotinic acetylcholine receptors. *Acta Entomol. Sin.*, 53(6): 683 - 688. [刘泽文, 张懿熙, 姚香梅, 李健, 鲍海波, 2010. 褐飞虱对吡虫啉的抗性机理和靶标分子毒理学. 昆虫学报, 53(6): 683 - 688]

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]

Matsuda K, Buckingham SD, Kleier D, Rauh JJ, Grauso, Sattelle DB, 2001. Neonicotinoids: insecticides acting on insect nicotinic acetylcholine receptors. *Trends Pharmacol. Sci.*, 22(11): 573 - 580.

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.

Nagata T, 2002. Monitoring on insecticide resistance of the brown planthopper and the white backed planthopper in Asia. *J. Asia-Pacific Entomol.*, 5(1): 103 - 111.

Nakao T, Hama M, Kawahara N, Hirase K, 2012. Fipronil resistance in *Sogatella furcifera*: molecular cloning and functional expression of wild-type and mutant RDL GABA receptor subunits. *J. Pestic. Sci.*, 37(1): 37 - 44.

Pan WL, Zhao SH, 1990. Effects of sublethal dose of insecticides on relative biological fitness of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. *Entomol. Knowl.*, 27(6): 325 - 327. [潘文亮, 赵善欢, 1990. 不同药剂低浓度处理的褐飞虱室内种群生命表. 昆虫知识, 27(6): 325 - 327]

Qin HG, Ye ZX, Shu C, Wang DD, 2003. Management Theory and



- Practice of *Sogatella furcifera* Horvath. Jiangxi Science and Technology Press, Nanchang. 362 pp. [秦厚国, 叶正襄, 舒畅, 汪笃栋, 2003. 白背飞虱种群治理理论与实践. 南昌: 江西科学技术出版社. 362 页]
- 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. 1-6. [邵振润, 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. 1-6]
- Sogawa K, 2015. Planthopper outbreaks in different paddy ecosystems in Asia: man-made hopper plagues that threatened the green revolution in rice. 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. 33-63.
- Su JY, Wang ZW, Zhang K, Tian XR, Yin YQ, Zhao XQ, Shen AD, Gao CF, 2013. Status of insecticide resistance of the whitebacked planthopper, *Sogatella furcifera* (Hemiptera: Delphacidae). *Fla. Entomol.*, 96(3): 948-956.
- Tomizawa M, Casid JE, 2005. Neonicotinoid insecticide toxicology: mechanisms of selective action. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, 45: 247-268.
- Wollweber D, Tietjen K, 1999. Chloronicotyl insecticides: a success of the new Chemistry. In: Yamamoto I, Casida JE eds. Nicotinoid Insecticides and the Nicotinic Acetylcholine Receptor. Springer Verlag Tokyo, Japan. 109-125.
- Yang YX, Huang LX, Wang YC, Zhang YX, Fang SQ, Liu ZW, 2016. No cross-resistance between imidacloprid and pymetrozine in the brown planthopper: status and mechanisms. *Pestic. Biochem. Physiol.*, 130: 79-83.
- Zhang K, Wang ZW, Gao CF, 2013. Methods for rice planthopper resistance monitoring. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 50(2): 542-547. [张凯, 王志伟, 高聪芬, 2013. 稻飞虱的抗药性监测方法. 应用昆虫学报, 50(2): 542-547]
- Zhang K, Zhang W, Zhang S, Wu SF, Ban LF, Su JY, Gao CF, 2014a. Susceptibility of *Sogatella furcifera* and *Laodelphax striatellus* (Hemiptera: Delphacidae) to six insecticides in China. *J. Econ. Entomol.*, 107(5): 1916-1922.
- Zhang S, Li JH, Zhang SM, Zhang KX, Zhou QF, 2016. Control efficacy of different insecticides on the rice insect pests in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River. *Agrochemicals*, 55(7): 530-535. [张帅, 李建洪, 张绍明, 张凯雄, 周群芳, 2016. 杀虫剂对长江中下游地区水稻害虫田间防效. 农药, 55(7): 530-535]
- 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, 2014b. 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. Studies 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. 南京: 南京农业大学硕士学位论文]
- Zhu ZR, Cheng JA, 2013. The evolution and perspective of rice insect pest management strategy in China. *Plant Prot.*, 39(5): 25-32. [祝增荣, 程家安, 2013. 中国水稻害虫治理对策的演变及其展望. 植物保护, 39(5): 25-32]
- 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)