

# 褐飞虱对氟虫腈和新烟碱类药剂的抗性动态变化

刘叙杆<sup>1, #</sup> 赵兴华<sup>1, #</sup> 王彦华<sup>2</sup> 韦锦捷<sup>1</sup> 沈晋良<sup>1,3, \*</sup> 孔健<sup>3</sup> 曹明章<sup>3</sup> 周威君<sup>3</sup>  
罗才宏<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>南京农业大学 植物保护学院 农药科学系/农业部作物病虫害监测与防控重点开放实验室, 江苏 南京 210095; <sup>2</sup>浙江省农业科学院 农产品质量标准研究所, 浙江 杭州 310021; <sup>3</sup>深圳诺普信农化股份有限公司研究所, 广东 深圳 518102; # 共同第一作者; \* 通讯联系人, E-mail: jlshen@njau.edu.cn)

## Dynamic Changes of Resistance to Fipronil and Neonicotinoid Insecticides in Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae)

LIU Xu-gan<sup>1, #</sup>, ZHAO Xing-hua<sup>1, #</sup>, WANG Yan-hua<sup>2</sup>, WEI Jin-jie<sup>1</sup>, SHEN Jin-liang<sup>1,3, \*</sup>, KONG Jian<sup>3</sup>, CAO Ming-zhang<sup>3</sup>, ZHOU Wei-jun<sup>3</sup>, LUO Cai-hong<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Department of Pesticide Science, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Monitoring and Management of Crop Diseases and Pest Insects, Ministry of Agriculture, Nanjing 210095, China; <sup>2</sup>Institute of Quality and Standard for Agro-products, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; <sup>3</sup>Institute of Shenzhen Noposion Agro-chemical CO. Ltd., Shenzhen 518102, China; # These authors contributed equally to this paper; \* Corresponding author, E-mail: jlshen@njau.edu.cn)

LIU Xugan, ZHAO Xinghua, WANG Yanhua, et al. Dynamic changes of resistance to fipronil and neonicotinoid insecticides in brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). Chin J Rice Sci, 2010, 24(1): 73-80.

**Abstract:** The resistances to the phenyl pyrazole (such as fipronil), neonicotinoid and insect growth regulator insecticides (buprofezin) in brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) were monitored by rice-stem dipping method during 2006 to 2008. Results showed that *N. lugens* sharply developed resistance to fipronil following its immigration route in 2008. The levels of resistance to Fipronil in 10 immigration populations from 6 provinces in the Yangtze River Delta areas and the back-migration populations in Shaoguan and Shenzhen of Guangdong were moderate (resistance ratio 15.0-fold to 32.5-fold) and high (66.9-fold to 73.7-fold), respectively, higher than those of all 6 field populations from 5 provinces in 2006(2.6-fold to 5.8-fold) and 11 populations from 9 provinces in 2007 (3.2-fold to 8.4-fold). The above results suggest that *N. lugens* would develop a higher level of resistance to fipronil in most rice-growing areas in China during 2009 to 2010. All populations collected in 2006–2008 showed high or extremely high level of resistance to imidacloprid, of which the resistance levels of 13 populations from 8 provinces in 2008 were 210.1-fold to 381.7-fold, though the resistance level dropped slightly in the following 3 years comparing with the extremely high level in 2005 (277-fold to 811-fold). For other neonicotinoid insecticides such as thiamethoxam, nitenpyram and dinotefuran, the resistance ratios were in the range of 2.0-fold to 15.8-fold, 0.7-fold to 4.8-fold, and 0.6-fold to 2.8-fold, respectively. All the populations were susceptible or low-level resistant to buprofezin (3.0-fold to 11.9-fold). In recent years, widespread and intensive use of fipronil for controlling two classes of migratory rice pest insects (brown planthopper/white-backed planthopper and rice leaf roller) might be a major reason for fipronil resistance out-breaking in *N. lugens*. Therefore, to prevent insecticide resistance in *N. lugens* from out-breaking again, insecticide resistance management strategy including alternating and rotating insecticides without cross-resistance need to be established.

**Key words:** *Nilaparvata lugens*; insecticides; insecticide resistance monitoring; management

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. 中国水稻科学, 2010, 24(1): 73-80.

**摘要:** 于2006—2008年采用稻茎浸渍法监测了我国主要水稻种植区大田褐飞虱种群对苯基吡唑类杀虫剂(氟虫腈)、新烟碱类及昆虫生长调节剂类杀虫剂(噻嗪酮)的抗性动态变化。结果表明,2008年褐飞虱对氟虫腈的抗性水平随其迁飞途径而出现急剧上升态势,其中,从我国南方稻区迁入长江中下游流域等6省10地种群和回迁至广东韶山、深圳两种群对氟虫腈抗性分别上升至中等水平抗性(15.0~32.5倍)和高水平抗性(66.9~73.7倍),明显高于2006年5省6地(2.6~5.8倍)和2007年9省11地(3.2~8.4倍)大田褐飞虱种群的抗性水平。上述结果预示2009年、2010年两年在全国稻区可能暴发褐飞虱对氟虫腈更高水平的抗性。自从2005年10—11月褐飞虱对新烟碱类的吡虫啉产生极高水平抗性(277~811倍)以来,近3年来抗性虽有一定程度下降,但仍处于高水平—极高水平抗性阶段,其中,2008年我国8省13地褐飞虱种群的抗性仍高达210.1~381.7倍。褐飞虱对其他的新烟碱类药剂噻虫嗪、烯啶虫胺和呋虫胺的抗性水平分别为2.0~15.8、0.7~4.8和0.6~2.8倍。褐飞虱对噻嗪酮为敏感到中等水平抗性(3.0~11.9倍)。近几年来大量、广泛使用氟虫腈防治褐飞虱和稻纵卷叶螟两类迁飞性害虫是褐飞虱对其暴发抗性的重要原因。因此,必须及时制定全国范围防治两类迁飞性害虫的交替轮换用药抗性治理对策方案,才能延缓褐飞虱抗性的再次暴发。

**关键词:** 褐飞虱; 杀虫剂; 抗性监测; 抗性治理

**中图分类号:** S435.112+.3; S481+.4; S482.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-7216(2010)01-0073-08

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 是水稻生产上的一种重要迁飞性害虫<sup>[1-2]</sup>。近年来,褐飞虱在亚洲不少国家普遍猖獗危害,具有发生面积扩大、暴发频率增加和危害程度加重等特点,给水稻的优质高产构成了严重威胁<sup>[3]</sup>。虽然褐飞虱的暴发涉及到水稻品种、耕作制度、气候和自身生物学特性等

**收稿日期:** 2009-03-16; **修改稿收到日期:** 2009-05-31。

**基金项目:** 公益性行业(农业)科研专题经费项目(200803003); 农业部高毒农药替代示范项目[2005种植业(植保)函7号]; 浙江省农业科学院博士启动基金资助项目。

**第一作者简介:** 刘叙杆(1984—),男,硕士研究生; 赵兴华(1984—),男,硕士研究生。

诸多因素,但它对主要杀虫剂产生抗药性是一个极其重要的因素<sup>[4-6]</sup>。目前,褐飞虱的防治仍然主要依赖化学药剂<sup>[7]</sup>。化学药剂的长期、大量、不合理使用导致褐飞虱对常规的有机磷类、氨基甲酸酯类杀虫剂和新烟碱类杀虫剂吡虫啉产生了不同程度的抗药性<sup>[8-10]</sup>。

氟虫腈是第一个商品化的苯基吡唑类杀虫剂,对刺吸式和咀嚼式口器害虫具有很高的杀虫活性<sup>[11]</sup>。除环戊二烯类杀虫剂外,氟虫腈与其他类型的杀虫剂间几乎不存在交互抗性<sup>[12]</sup>。20世纪90年代后期,氟虫腈引进我国并开始用于水稻、蔬菜害虫的防治<sup>[13]</sup>。近年来随着我国5种高毒有机磷杀虫剂的禁用和褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性而被暂停使用的情况下,氟虫腈被广泛用于防治稻飞虱、螟虫及稻纵卷叶螟<sup>[6,14-16]</sup>,在水稻上的使用量大幅度增加。由于氟虫腈在一些国家或地区的大量、不合理使用,一些重要农业害虫(如小菜蛾、烟粉虱、斜纹夜蛾以及二化螟等)已对氟虫腈产生抗药性<sup>[17-20]</sup>。此外,室内筛选试验证实西花蓟马对氟虫腈具有产生抗性的风险<sup>[21]</sup>,但褐飞虱对氟虫腈的抗药性至今未见报道。近年来,由于氟虫腈在我国水稻田中的大量使用以及褐飞虱的频繁暴发,因此,褐飞虱对氟虫腈的抗药性已成为人们关注的焦点。

抗性监测是害虫抗性治理的一项重要基础工作,对开展预防性抗性治理和评估抗性治理效果十分重要<sup>[22-23]</sup>。自2005年本实验室监测到褐飞虱对新烟碱类的吡虫啉暴发极高水平抗性以来<sup>[10]</sup>,近3年又连续监测了褐飞虱对苯基吡唑类的氟虫腈、新烟碱类及昆虫生长调节剂类杀虫剂噻嗪酮的抗性动态变化,以便为完善我国褐飞虱的抗性治理对策和方案提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

田间种群:在2006—2008年,每年于5—10月采集我国海南(陵水)、广西(南宁、合浦)、广东(韶关、深圳)、江西(上高)、湖北(孝感)、河南(信阳)、安徽(潜山、和县)、江苏(通州、盐都)、浙江(海盐、金华、绍兴、杭州)、福建(福清)等10省17地稻田褐飞虱种群(表1),每个种群采集约800头成虫或500~600头若虫,带回室内以无虫的汕优63分蘖期至孕穗期水稻植株饲养。饲养温度为26~30℃,光周期为16 h光照/8 h黑暗。室内饲养至 $F_0 \sim F_1$ 代的3龄中期若虫供测定。

敏感品系:1995年8月采自浙江省杭州市蒋村单季稻上的褐飞虱,在室内不接触药剂的情况下用汕优63水稻植株饲养至今。饲养温度为(27±1)℃,光周期为16 h光照/8 h黑暗。

### 1.2 供试药剂

苯基吡唑类:氟虫腈(87%原药)由杭州拜耳作物科学有限公司提供。

新烟碱类:吡虫啉(95.3%原药)由江苏常隆化工有限公司提供;烯啶虫胺(95%原药)由南通江山农化股份有限公司提供;噻虫嗪(97.7%原药)和呋虫胺(10%可溶液剂,国内无原药生产)由先正达公司提供。

昆虫生长调节剂类:噻嗪酮(98.1%原药)由江苏常隆化工有限公司提供。

上述原药以丙酮作溶剂,加100 g/L Triton X-100加工成乳油后供测定用。

### 1.3 生物测定

按照庄永林等<sup>[24]</sup>介绍的稻茎浸渍法进行毒力测定。测定数据采用本实验室编制的生物测定数据处理及管理系统 Version 2.5,按 Finney 几率值分析法计算 LD-*p* 线的回归方程、 $LC_{50}$  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<sup>[23]</sup>。根据药剂对昆虫作用快慢来确定药剂处理后检查结果时间。新烟碱类及苯基吡唑类杀虫剂处理 96 h 后检查结果,噻嗪酮杀虫剂处理 120 h 后检查结果。抗性倍数(resistance ratio, RR) = 大田种群的  $LC_{50}$  / 敏感品系的  $LC_{50}$ ,以抗性倍数的 95% 置信限是否有重叠作为判断同一药剂不同地区间的抗性水平差异是否显著的标准。抗性水平分级标准为:抗性倍数 3.0 倍以下为敏感;3.1~5.0 倍为敏感性下降;5.1~10.0 倍为低水平抗性;10.1~40.0 倍为中等水平抗性;40.1~160.0 倍为高水平抗性;>160.1 倍为极高水平抗性<sup>[23]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杀虫剂对敏感品系的毒力

用稻茎浸渍法测定了苯基吡唑类、新烟碱类和昆虫生长调节剂等杀虫剂对室内敏感品系的毒力基线。结果表明,6种药剂对敏感品系的毒力回归线的斜率均大于2,说明种群的同质性较高。以 $LC_{50}$ 值比较各药剂对敏感品系的毒力次序为:氟虫腈>噻嗪酮、吡虫啉、噻虫嗪、呋虫胺>烯啶虫胺(表2)。

表 1 2006—2008 年褐飞虱抗药性监测种群采集情况

Table 1. Location, collection date and developmental stage of tested populations of brown planthopper in 2006—2008.

| 地点<br>Location           | 2006               |                     | 2007               |                     | 2008               |                    |                     |
|--------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
|                          | 采集日期<br>Collection | 虫态<br>Developmental | 采集日期<br>Collection | 虫态<br>Developmental | 采集日期<br>Collection | 代次<br>Generation   | 虫态<br>Developmental |
|                          | date               | stage               | date               | stage               | date               |                    | stage               |
| 海南陵水 Linshui, Hainan     | —                  | —                   | 03-26              | 成、若虫 Adult, nymph   | 01-21              | 越冬代 Over-winter    | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 广东韶关 Shaoguan, Guangdong | —                  | —                   | —                  | —                   | 10-22              | 回迁代 Back-migration | 成虫 Adult            |
| 广东深圳 Shenzhen, Guangdong | —                  | —                   | —                  | —                   | 10-10              | 回迁代 Back-migration | 成虫 Adult            |
| 广西南宁 Nanning, Guangxi    | 06-04              | 成、若虫 Adult, nymph   | 06-05              | 成、若虫 Adult, nymph   | —                  | —                  | —                   |
| 广西合浦 Hepu, Guangxi       | —                  | —                   | —                  | —                   | 05-29              | 八(3)代 Eight(3)     | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 江西上高 Shangao, Jiangxi    | 07-31              | 成虫 Adult            | 10-08              | 成、若虫 Adult, nymph   | 09-19              | 六(4)代 Six(4)       | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 湖北孝感 Xiaogan, Hubei      | —                  | —                   | 08-31              | 成、若虫 Adult, nymph   | 09-09              | 六(4)代 Six(4)       | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 河南信阳 Xinyang, Henan      | —                  | —                   | 09-05              | 成、若虫 Adult, nymph   | —                  | —                  | —                   |
| 安徽潜山 Qianshan, Anhui     | 09-04              | 成虫 Adult            | —                  | —                   | 08-28              | 五(3)代 Five(3)      | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 安徽和县 Hexian, Anhui       | —                  | —                   | 09-13              | 成、若虫 Adult, nymph   | 08-28              | 五(3)代 Five(3)      | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 江苏通州 Tongzhou, Jiangsu   | 09-14              | 成、若虫 Adult, nymph   | 09-03              | 成、若虫 Adult, nymph   | 09-19              | 六(4)代 Six(4)       | 成虫 Adult            |
| 江苏盐都 Yandu, Jiangsu      | —                  | —                   | —                  | —                   | 09-17              | 六(4)代 Six(4)       | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 浙江海盐 Haiyan, Zhejiang    | 09-23              | 成虫 Adult            | 10-17              | 成、若虫 Adult, nymph   | —                  | —                  | —                   |
| 浙江金华 Jinhua, Zhejiang    | —                  | —                   | 10-17              | 成、若虫 Adult, nymph   | 09-24              | 六(4)代 Six(4)       | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 浙江绍兴 Shaoxing, Zhejiang  | —                  | —                   | —                  | —                   | 09-24              | 六(4)代 Six(4)       | 成、若虫 Adult, nymph   |
| 浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang  | 09-23              | 成虫 Adult            | 10-17              | 成、若虫 Adult, nymph   | 08-03              | 五(3)代 Five(3)      | 成虫 Adult            |
| 福建福清 Fuqing, Fujian      | —                  | —                   | 09-17              | 成、若虫 Adult, nymph   | 10-14              | 七(6)代 Seven(6)     | 成、若虫 Adult, nymph   |

“—”表示当年在该地区未采集褐飞虱。

“—” indicates that *N. lugens* was not collected in the region this year.

表 2 苯基吡唑类和其他类杀虫剂对褐飞虱敏感品系 3 龄若虫的敏感毒力基线

Table 2. Susceptibility baseline of phenyl pyrazole and other classes of insecticides to 3<sup>rd</sup> instar nymph of susceptible strain of *N. lugens*.

| 杀虫剂<br>Insecticide | 毒力回归式<br>LD- <i>p</i> line | LC <sub>50</sub> 值(95%置信区间) <sup>1)</sup><br>LC <sub>50</sub> (95% confidence interval) <sup>1)</sup><br>/(mg · L <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|----------------------------|---|
| 氟虫腈 Fipronil       | Y=8.0397+2.1493X           | 0.0385(0.0324~0.0457)   |
| 吡虫啉 Imidacloprid   | Y=6.6766+2.5119X           | 0.0778(0.0549~0.1014)   |
| 噻虫嗪 Thiamethoxam   | Y=7.1340+2.1840X           | 0.1054(0.0880~0.1249)   |
| 呋虫胺 Dinotefuran    | Y=7.3537+2.7162X           | 0.1360(0.1094~0.1752)   |
| 烯啶虫胺 Nitenpyram    | Y=5.7085+2.1738X           | 0.4721(0.2484~0.6053)   |
| 噻嗪酮 Buprofezin     | Y=10.0190+4.2486X          | 0.0659(0.0583~0.0741)   |

<sup>1)</sup> LC<sub>50</sub> 值的 95% 置信区间不重叠作为判断不同杀虫剂间毒力差异显著的标准。下表同。

<sup>1)</sup> No overlap of the 95% confidence interval for LC<sub>50</sub> values was used as the criterion for statistical significance. The same as in tables below.

## 2.2 褐飞虱对不同种类杀虫剂的抗药性

### 2.2.1 氟虫腈

在 2006—2008 年, 采用稻茎浸渍法监测了我国主要水稻种植区褐飞虱种群对苯基吡唑类杀虫剂氟虫腈的抗性动态变化。结果表明, 2006 年广西南宁、江西上高、安徽潜山、江苏通州、浙江海盐和杭州等 5 省 6 地水稻褐飞虱对氟虫腈的抗性为敏感-低水平抗性(抗性倍数为 2.6 ~ 5.8 倍)(图 1-A); 2007 年海南陵水, 广西南宁, 江西上高, 湖北孝感, 河南信阳, 安徽和县, 江苏通州, 浙江海盐、金华、杭州及福建福清等 9 省 11 地褐飞虱对氟虫腈的抗性为敏感-低水平抗性(抗性倍数为 3.2 ~ 8.4 倍)(图

1-A); 2008 年褐飞虱对氟虫腈的抗性水平随其迁飞途径而出现急剧上升态势。其中, 1 月下旬海南陵水当地越冬代种群为敏感性下降(3.3 倍); 最早从境外迁入我国广西合浦的种群(八(3)代)为低水平抗性(9.5 倍); 后来陆续迁入我国长江中、下游流域的江西上高(六(4)代), 湖北孝感(六(4)代), 安徽潜山、和县(五(3)代), 江苏通州、盐都(六(4)代), 浙江金华、绍兴(六(4)代)、杭州(五(3)代)及东南沿海的福建福清(七(6)代)等 6 省 10 地种群为中等水平抗性(15.0 ~ 32.5 倍); 随后回迁至广东韶关、深圳的种群的抗性为高水平抗性(66.9 ~ 73.7 倍)(表 3); 2008 年采于上高、潜山、和县、通州、孝感、杭州及福清等地种

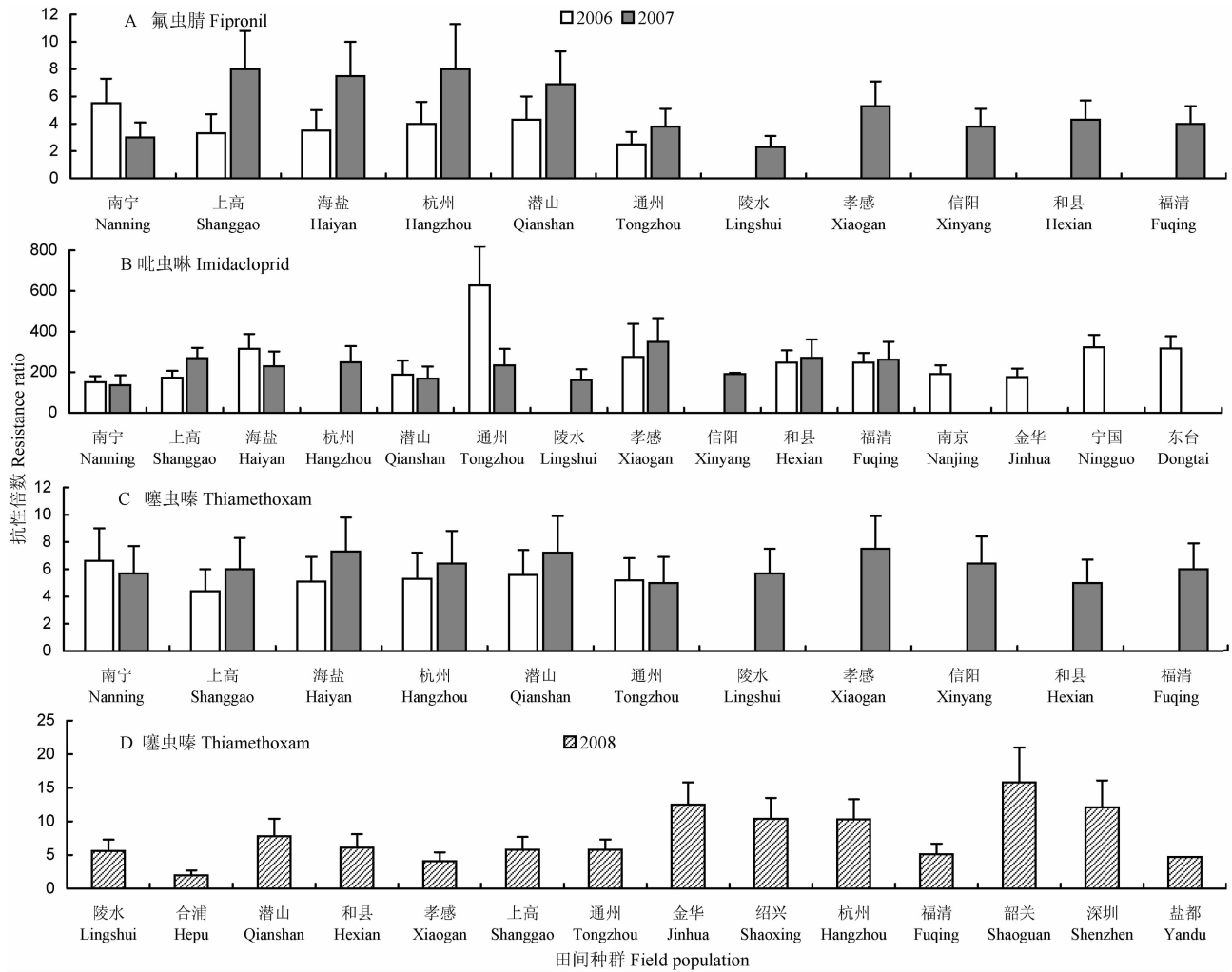


图1 2006—2008年大田褐飞虱种群对苯基吡唑类和新烟碱类杀虫剂的抗性

Fig. 1. Resistance to phenyl pyrazole and neonicotinoid classes of insecticides in field populations of *N. lugens* during 2006–2008.

群对氟虫腈的抗性水平明显高于2006年和(或)2007年。预示褐飞虱对氟虫腈的更高水平的抗性可能于2009年和2010年两年期间在全国稻区暴发。

### 2.2.2 新烟碱类药剂

自从2005年10—11月监测到褐飞虱对新烟碱类的吡虫啉暴发极高水平抗性(243.4~723.1倍)以来<sup>[10]</sup>,本实验室采用稻茎浸渍法继续监测我国褐飞虱对吡虫啉的抗性动态变化。结果表明,近3年来褐飞虱对吡虫啉的抗性虽有一定程度的上下波动,但仍处于高水平到极高水平抗性。其中,2006年除江苏通州外(627.0倍),广西南宁,江西上高,江苏南京、东台,湖北孝感,浙江金华、海盐,安徽和县、潜山、宁国,福建福清等7省12地褐飞虱对吡虫啉的抗性为高到极高水平(150.4~322.3倍),与2005年相比抗性水平有一定程度下降(图1-B);

2007年陵水、南宁、孝感、通州、信阳、和县、福清、上高、海盐、金华、杭州等9省11地褐飞虱对吡虫啉的抗性为高到极高水平(138.7~349.0倍),抗性基本趋向稳定(图1-B);2008年我国陵水、合浦、潜山、和县、孝感、上高、盐都、通州、金华、绍兴、杭州、福清、韶关、深圳9省14地褐飞虱种群的抗性为极高水平抗性(210.1~492.7倍),虽其抗性水平比去年有一定程度上升,但海南陵水越冬代种群、最早迁入我国广西合浦种群、后迁入我国长江中下游流域等6省10地种群及随后回迁至广东韶山、深圳种群间的抗性水平基本一致(表4)。

近年来,噻虫嗪也被推荐为防治褐飞虱的替代药剂。除2006年江西上高种群对噻虫嗪处于敏感性下降阶段(抗性倍数为4.4倍)外,其余2006年和2007年测定的褐飞虱种群对噻虫嗪产生了低水平抗性(5.0~7.3倍)(图1-C)。2008年全国9省

表 3 2008 年 9 省 14 地褐飞虱对氟虫腈的抗性

Table 3. Resistance to fipronil of *N. lugens* from 14 locations of nine provinces in 2008.

| 种群<br>Population         | 毒力回归式<br>LD- <i>p</i> line | LC <sub>50</sub> 值(95%置信区间)<br>LC <sub>50</sub> (95% confidence interval)<br>/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 抗性倍数(95%置信区间)<br>Resistance ratio<br>(95% confidence interval) |
|--------------------------|----------------------------|---|--|
| 海南陵水 Linshui, Hainan     | Y=7.2852+2.5500X           | 0.1270(0.1081~0.1485)   | 3.3(2.8~3.9)   |
| 广西合浦 Hepu, Guangxi       | Y=5.8759+1.9964X           | 0.3641(0.2919~0.4445)   | 9.5(7.6~11.6)  |
| 安徽潜山 Qianshan, Anhui     | Y=5.3781+2.5583X           | 0.7116(0.6073~0.8292)   | 18.2(15.7~21.5)  |
| 安徽和县 Hexian, Anhui       | Y=5.2042+2.4316X           | 0.8242(0.7014~0.9644)   | 21.1(18.2~25.1)  |
| 湖北孝感 Xiaogan, Hubei      | Y=4.9836+2.1865X           | 1.0174(0.8214~1.8950)   | 26.4(21.3~49.2)  |
| 江西上高 Shanggao, Jiangxi   | Y=5.3993+2.0788X           | 0.6426(0.5354~0.7722)   | 16.7(13.9~20.1)  |
| 江苏盐都 Yandu, Jiangsu      | Y=4.7229+2.8564X           | 1.2503(1.0758~1.4794)   | 32.5(27.9~38.4)  |
| 江苏通州 Tongzhou, Jiangsu   | Y=5.2458+2.3564X           | 0.7865(0.6670~0.9345)   | 20.4(17.3~24.3)  |
| 浙江金华 Jinhua, Zhejiang    | Y=5.2307+1.9441X           | 0.7609(0.6290~0.9301)   | 19.8(16.3~24.2)  |
| 浙江绍兴 Shaoxing, Zhejiang  | Y=5.3593+1.9788X           | 0.6583(0.5448~0.7976)   | 17.1(14.2~20.1)  |
| 浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang  | Y=5.3263+1.9896X           | 0.6854(0.5727~0.8305)   | 17.8(14.9~21.6)  |
| 福建福清 Fuqing, Fujian      | Y=5.5420+2.2600X           | 0.5757(0.4839~0.6828)   | 15.0(12.6~17.7)  |
| 广东韶关 Shaoguan, Guangdong | Y=3.9683+2.5101X           | 2.5764(2.1825~3.1232)   | 66.9(56.7~81.1)  |
| 广东深圳 Shenzhen, Guangdong | Y=4.0610+2.0848X           | 2.8210(2.3175~3.9513)   | 73.7(60.2~102.6)   |

表 4 2008 年 9 省 14 地褐飞虱种群对吡虫啉的抗性

Table 4. Resistance to imidacloprid of *N. lugens* populations from 14 locations of nine provinces in 2008.

| 种群<br>Population         | 毒力回归式<br>LD- <i>p</i> line | LC <sub>50</sub> 值(95%置信区间)<br>LC <sub>50</sub> (95% confidence interval)<br>/(mg·L <sup>-1</sup> ) | 抗性倍数(95%置信区间)<br>Resistance ratio<br>(95% confidence interval) |
|--------------------------|----------------------------|---|--|
| 海南陵水 Linshui, Hainan     | Y=2.5150+1.8517X           | 21.9791(18.0780~27.4491)  | 282.5(232.4~352.8)   |
| 广西合浦 Hepu, Guangxi       | Y=1.1322+2.9234X           | 21.0401(18.0833~24.4301)  | 270.4(232.4~314.0)   |
| 安徽潜山 Qianshan, Anhui     | Y=2.3289+2.0300X           | 20.6925(17.2166~25.2168)  | 265.3(221.3~324.1)   |
| 安徽和县 Hexian, Anhui       | Y=1.5790+2.8192X           | 16.3480(14.1603~18.9465)  | 210.1(182.0~243.5)   |
| 湖北孝感 Xiaogan, Hubei      | Y=1.8418+2.3114X           | 23.2465(19.6488~27.9071)  | 298.8(252.6~358.7)   |
| 江西上高 Shanggao, Jiangxi   | Y=1.4458+2.4133X           | 29.6999(25.1032~35.9991)  | 381.7(322.7~462.7)   |
| 江苏盐都 Yandu, Jiangsu      | Y=1.5298+2.6578X           | 20.2147(17.3954~23.4717)  | 259.8(223.6~301.7)   |
| 江苏通州 Tongzhou, Jiangsu   | Y=1.3590+2.6686X           | 23.1412(19.8699~27.2113)  | 297.4(255.4~349.8)   |
| 浙江金华 Jinhua, Zhejiang    | Y=2.0657+2.3923X           | 16.8405(14.2951~19.8850)  | 216.5(183.7~255.6)   |
| 浙江绍兴 Shaoxing, Zhejiang  | Y=1.4100+2.5994X           | 24.0485(20.6714~28.0011)  | 309.1(265.7~359.9)   |
| 浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang  | Y=2.3693+1.6613X           | 38.3282(31.1498~48.3286)  | 492.7(400.4~621.2)   |
| 福建福清 Fuqing, Fujian      | Y=1.9144+2.5101X           | 16.9541(14.4844~19.7803)  | 217.9(186.2~254.3)   |
| 广东韶关 Shaoguan, Guangdong | Y=2.0391+2.0116X           | 29.6424(24.8192~35.6709)  | 381.0(319.0~458.5)   |
| 广东深圳 Shenzhen, Guangdong | Y=1.2571+2.7145X           | 23.9251(20.5711~28.1084)  | 307.5(264.4~361.3)   |

14 地稻区褐飞虱对新烟碱类的噻虫嗪为敏感-中等水平抗性(2.0~15.8 倍)(图 1-D)。

2007 年和 2008 年采自琼、桂、赣、鄂、皖、苏、浙及粤等 8 省 18 地褐飞虱田间种群对烯啶虫胺和呋虫胺均处于敏感到敏感性下降阶段(抗性倍数分别为 0.7~3.9 倍和 0.6~3.1 倍)(图 2-A、B)。

### 2.2.3 噻嗪酮

自从 20 世纪 90 年代后期开始我们实验室采用稻茎浸渍法监测褐飞虱对昆虫生长调节剂类杀虫剂噻嗪酮的抗性以来,10 多年的监测结果表明其抗性上升非常缓慢<sup>[7]</sup>。近 3 年来监测表明,褐飞虱对噻嗪酮抗性处于敏感性下降-中等水平,且上升仍相对

比较缓慢。其中,2006 年我国 7 省 9 地褐飞虱对噻嗪酮的抗性为敏感到敏感性下降阶段(1.9~4.0 倍);2007 年 8 省 10 地褐飞虱对噻嗪酮的抗性为敏感性下降到低水平抗性阶段(3.6~9.1 倍);2008 年 9 省 14 地稻区褐飞虱对噻嗪酮为敏感性下降-中等水平抗性(3.0~11.9 倍)(图 3)。

## 3 讨论

褐飞虱是水稻生产上能引起严重危害的一种迁飞性害虫<sup>[7]</sup>。众所周知,从影响田间害虫种群对杀虫剂抗性选择作用的因素来看,由于迁飞性害虫在迁飞过程中敏感群体的稀释作用,可延缓其抗性的

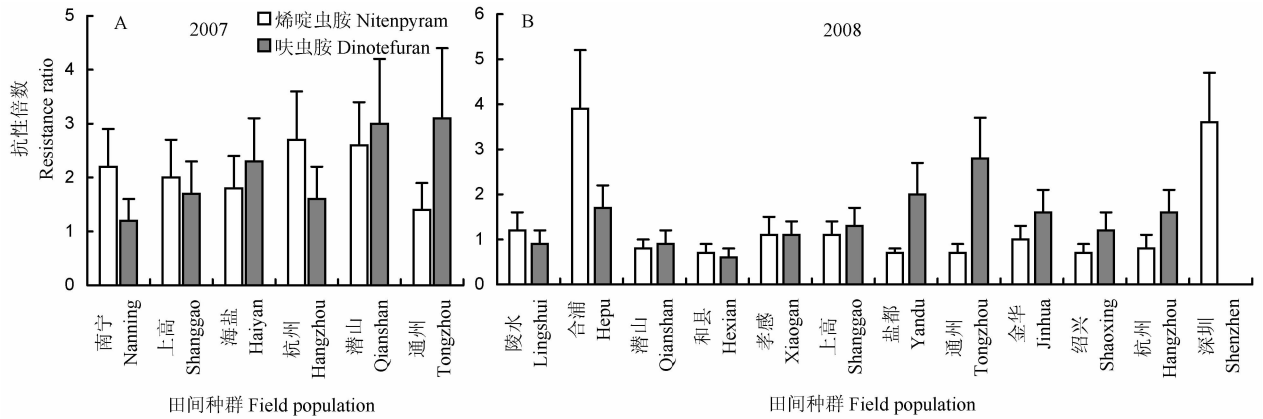


图 2 2007 年和 2008 年大田褐飞虱种群对烯啶虫胺和呋虫胺的抗性

Fig. 2. Resistance to nitenpyram and dinotefuran in field populations of *N. lugens* during 2007–2008.

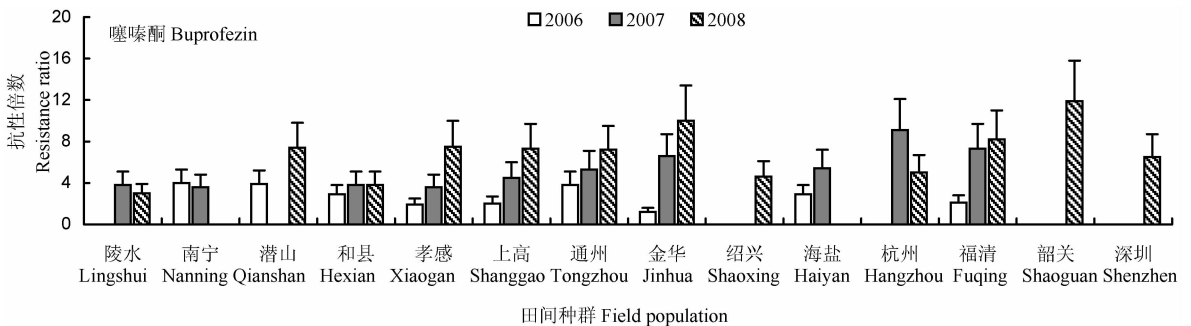


图 3 2006—2008 年大田褐飞虱种群对噻嗪酮的抗性

Fig. 3. Resistance to buprofezin in field populations of *N. lugens* during 2006–2008.

发展<sup>[10]</sup>。但从褐飞虱对氟虫腈的抗性监测结果来看,仅在短短的几年时间内,褐飞虱就对氟虫腈发展了高水平抗性,使我国稻区面临可能暴发严重抗性和最终丧失这类高效药剂的很大风险。究其原因主要是在防治稻飞虱和稻纵卷叶螟这两类迁飞性害虫中,不分迁出区或迁入区,也不分上、下代,都在广泛、大量使用氟虫腈进行防治,未能切实实施对不同迁出、迁入区限制其使用的科学用药方案,致使迁飞性害虫在迁飞过程中敏感群体的稀释作用无法得到充分利用<sup>[3]</sup>。这是一个值得很好总结的惨痛教训。

从监测大田褐飞虱对吡虫啉和氟虫腈的抗性变化动态和室内抗性筛选研究的结果可以看出<sup>[7,10]</sup>,迁飞性害虫抗性的发展在时间上大体可分为三个阶段:抗性发展前期、抗性突增期及抗性相对稳定期,在空间上抗性水平的区域性差异不会十分明显。抗性发展前期为抗性开始发生并逐步上升的阶段,相对比较缓慢。该阶段抗性上升的快慢主要与害虫种类、药剂的特性、药剂的选择压力及抗性遗传特性等因素有关。抗性突增期为抗性开始达到中至高水平

抗性后,抗性水平急剧上升的阶段。由于迁飞性害虫在空间上抗性水平的区域性差异不十分明显,因而只要继续使用这种药剂,尤其是在中等-高水平抗性初期的情况下,为了确保防治效果而需加大用药量,这必然会使抗性快速上升。例如,2005 年 8 月上旬采集的广西全州县褐飞虱首次发现对吡虫啉抗性为 70 倍,8 月底江苏江浦种群抗性快速上升至 470 多倍,9—11 月长江流域的苏、浙、皖、赣等省稻区褐飞虱就全面暴发极高水平抗性(277~811 倍)<sup>[10]</sup>。2008 年 10 月回迁至广东韶关、深圳的褐飞虱种群对氟虫腈已产生高水平抗性(66.9~73.7 倍),似乎表明已进入抗性突增期。

昆虫对杀虫剂产生抗药性,来源于两个方面:一是杀虫剂本身直接对种群中抗性基因的选择作用;二是其他已使用过的杀虫剂与该杀虫剂存在交互抗性。至今仅在果蝇、家蝇及蜚蠊等昆虫的抗性研究中报道过毒死蜱、溴氰菊酯、氯菊酯和环戊二烯类杀虫剂与氟虫腈存在一定程度的交互抗性<sup>[29-32]</sup>,而在农业害虫中未见类似报道。我国已做出于 2009 年

10月1日起禁止在水稻田使用氟虫腈的决定,但同类型的杀虫剂丁烯氟虫腈和乙虫清(100g/L悬浮剂)已在我国登记或推广使用。本实验室研究表明抗氟虫腈的灰飞虱品系对丁烯氟虫腈有一定的交互抗性(未发表资料)。因此,有必要开展抗氟虫腈褐飞虱的交互抗性研究和抗性机理研究,以便为其抗性治理提供理论基础。

本实验室系统监测了褐飞虱对苯基吡唑类(氟虫腈)、新烟碱类、昆虫生长调节剂类杀虫剂(噻嗪酮)杀虫剂的抗性变化动态,在此基础上提出了迁飞性害虫褐飞虱抗性发展的基本特点与规律。为有效治理褐飞虱的抗性,笔者认为其抗性治理应考虑以下几个方面:

第一,及时制订抗性治理对策与方案。根据当地的实际情况,按迁出、迁入区或生态区及时制订抗性治理对策与方案。其原则是:1)交替轮换用药原则。轮换使用毒死蜱、噻嗪酮、吡蚜酮、烯啶虫胺、噻虫嗪和异丙威等药剂。2)压前控后的原则。在大发生的上一代选用持效期长、控制效果好的药剂(如噻嗪酮、吡蚜酮等)进行防治。3)保护天敌的原则。对天敌杀伤力高的药剂安排在水稻生长后期或对天敌较安全的阶段使用,如敌敌畏等。4)停用和限制使用的原则。对已产生高水平抗性的药剂应暂停使用(如吡虫啉和氟虫腈),对重要的常用药剂每生长季限制使用1~2次为宜。

第二,加强害虫对药剂的抗性检、监测。新药剂应在开始使用时就建立相应的抗性检、监测方法,并进行抗性风险评估;对生产上主要用于防治的药剂应进行系统的抗性监测<sup>[22]</sup>。同时,也应研究褐飞虱对氟虫腈、噻嗪酮和吡蚜酮等主要药剂的抗性机制及抗性遗传等,明确与抗性相关的代谢解毒酶及作用靶标的毒理学、生物化学及分子生物学及其抗性遗传方式,为褐飞虱的抗性治理提供理论基础。

第三,加强实施综合防治的其他各项措施。通过调整栽培制度、合理选择水稻品种、改进耕作方法、加强肥水管理及充分发挥天敌的控害作用等,来恶化褐飞虱的生存条件,以尽可能减少化学农药的使用量,从而减轻药剂对害虫的选择压力。

总之,褐飞虱抗性治理应根据褐飞虱的生物学特性、用药历史背景、抗性发展规律、抗性机理和遗传以及交互抗性等特点来确定相应的对策与方案。对新型药剂强调抗性风险评估和抗性早期检测,对常规药剂加强抗性发展的系统监测,在此基础上不断完善并提高抗性治理的效果;同时结合农业防治、

生物防治等综合治理措施,使褐飞虱的抗药性得到持续有效地控制,以实现水稻和粮食生产的可持续发展。

## 参考文献:

- [1] 程遐年,吴进才,马飞. 褐飞虱研究与防治. 北京:中国农业出版社,2003:1-37.
- [2] 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.
- [3] Matsumura M, Takeuchi H, Satoh M, et al. 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*, 2008, 64(11): 1115-1121.
- [4] 高希武,彭丽年,梁帝允. 对2005年水稻褐飞虱大发生的思考. 植物保护,2006,32(2):23-25.
- [5] 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.
- [6] 王彦华,陈进,沈晋良,等. 防治褐飞虱的高毒农药替代药剂的室内筛选及交互抗性研究. 中国水稻科学,2008,22(5):519-526.
- [7] 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). *Pest Manag Sci*, 2008, 64(10): 1050-1056.
- [8] Hirai K. Recent trends of insecticide susceptibility in the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Appl Entomol Zool*, 1993, 28(3): 339-346.
- [9] Nagata T. Insecticide resistance and chemical control of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). *Bull Kyushu Nat Agric Exp Sta*, 1982, 22: 49-164.
- [10] Wang Y H, Gao C F, Zhu Y C, et al. Imidacloprid susceptibility survey and selection risk assessment in field populations of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). *J Econ Entomol*, 2008, 101(2): 515-522.
- [11] Grant D B, Chalmers A E, Wolff M A, et al. Fipronil: Action at the GABA receptor//Pesticides and the Future: Minimizing chronic exposure of humans and the environment. *Rev Toxicol*, 1998, 2: 147-156.
- [12] Colliot F, Kukorowski K A, Hawkins D W, et al. Fipronil: A new soil and foliar broad spectrum insecticide//Proceedings of Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases. Farnham, Surrey, UK: BCPC, 1992: 29-34.
- [13] 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.
- [14] 李淑勇,刘学,高聪芬,等. 防治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. 中国水稻科学,2009,23(1):79-84.

- [15] 何月平, 邵振润, 陈文明, 等. 防治二化螟的高毒农药替代药剂的室内筛选. *中国水稻科学*, 2008, 22(3): 313-320.
- [16] 高忠文, 陶岭梅, 苏建亚, 等. 防治稻纵卷叶螟高毒农药替代药剂的室内筛选. *中国水稻科学*, 2008, 22(6): 631-636.
- [17] Sayyed A H, Wright D J. Fipronil resistance in the diamond-back moth (Lepidoptera: Plutelliadae): Inheritance and number of genes involved. *J Econ Entomol*, 2004, 97(6): 2043-2050.
- [18] Kang C Y, Wu G, Miyata T. Synergism of enzyme inhibitors and mechanisms of insecticide resistance in *Bimisia tabaci* (Gennadius) (Hom, Aleyrodidae). *J Appl Entomol*, 2006, 130: 377-385.
- [19] Ahmad M, Sayyed A H, Saleem M A, et al. Evidence for field evolved resistance to newer insecticides in *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) from Pakistan. *Crop Prot*, 2008, 27(10): 1367-1372.
- [20] He Y P, Gao C F, Cao M Z, et al. Survey of susceptibilities to monosultap, triazophos, fipronil, and abamectin in *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae). *J Econ Entomol*, 2007, 100(6): 1854-1861.
- [21] Herron G A, James T M. Monitoring insecticide resistance in Australian *Frankiniella occidentalis* Pergnade (Thysanoptera: Thripidae) detects fipronil and spinosad resistance. *Austral J Entomol*, 2005, 44: 299-303.
- [22] Prabhaker N, Toscano N C, Perring T M, et al. Resistance monitoring of the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) in the Imperial Valley of California. *J Econ Entomol*, 1992, 85(4): 1063-1068.
- [23] 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: 25-88.
- [24] 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.
- [25] Maienfisch P, Huerlimann H, Rindlisbacher A, et al. The discovery of thiamethoxam; A second-generation neonicotinoid. *Pest Manag Sci*, 2001, 57(2): 165-176.
- [26] 程 霞. 第二代新烟碱类杀虫剂噻虫嗪的开发. *世界农药*, 2001, 23(4): 17-25.
- [27] 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.
- [28] Scott J G. Investigating mechanisms of insecticide resistance: Method, strategies and pitfalls//Roush R T, Tabashnik B E. *Pesticide Resistance in Arthropods*. New York & London: Chapman and Hall, 1990: 39-57.
- [29] Cole L M, Roush R T, Casida J E. Drosophila GABA-gated chloride channel: Modified [<sup>3</sup>H] EBOB binding site associated with Ala→Ser or Gly mutants of *Rdl* subunit. *Life Sci*, 1995, 56 (10): 757-765.
- [30] Kristensen M, Hansen K K, Jensen K M. Cross-resistance between dieldrin and fipronil in German cockroach (Diptoptera: Blattellidae). *J Econ Entomol*, 2005, 98(4): 1305-1310.
- [31] Liu N, Yue X. Insecticide resistance and cross-resistance in the house fly (Diptera: Muscidae). *J Econ Entomol*, 2000, 93 (4): 1269-1275.
- [32] Salmeron E, Omoto C. Characterization of deltamethrin and chlorpyrifos resistance in *Blattella germanica* (L.) (Diptoptera: Blattellidae) and cross-resistance relationships to fipronil. *Neotrop Entomol*, 2003, 32(1): 177-181.