

# 几类杀虫剂对灰飞虱的相对毒力 及田间种群的抗药性现状

王利华<sup>1,2</sup>, 方继朝<sup>1,\*</sup>, 刘宝生<sup>1</sup>

(1. 江苏省农业科学院植物保护研究所, 南京 210014; 2. 江苏丘陵地区镇江农业科学研究所, 江苏句容 212400)

**摘要:** 采用浸苗法测定了 6 类 11 种杀虫剂对灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 3 龄若虫的毒力, 并分析比较了江苏句容、通州、楚州、大丰、南京和苏州以及安徽庐江等 7 地灰飞虱种群对 10 种杀虫剂的抗药性水平。对云南种群而言, 在所测杀虫剂中, 以乙酰甲胺磷为标准药剂, 氟虫腈的相对毒力最高; 噻嗪酮、阿维菌素和噻虫嗪次之; 高效氯氰菊酯、IPP(硝基亚甲基类化合物)、毒死蜱、敌敌畏和三唑磷毒力处于同一数量级, 低于阿维菌素等杀虫剂; 吡虫啉的相对毒力最低。与云南种群相比, 2007 年采自苏、皖 7 个不同地区的灰飞虱种群对噻嗪酮产生了极高水平的抗性, 其抗性倍数均超过 200 倍; 对高效氯氰菊酯产生了中高水平的抗性, 其抗性倍数为 7.8~108.8; 安徽庐江灰飞虱种群对三唑磷产生了 7.7 倍的抗性, 对毒死蜱产生了 12.0 倍的抗性, 江苏楚州、南京、大丰和句容灰飞虱种群对毒死蜱产生了 5.7~12.6 倍的抗性; 所有灰飞虱种群对敌敌畏仍然敏感, 对氟虫腈、阿维菌素和新烟碱类杀虫剂吡虫啉、噻虫嗪和 IPP 等也比较敏感。

**关键词:** 灰飞虱; 抗药性; 杀虫剂; 相对毒力; 抗性倍数

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2008)09-0930-08

## Relative toxicity of insecticides to *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Homoptera: Delphacidae) and the resistance of field populations from different areas of East China

WANG Li-Hua<sup>1,2</sup>, FANG Ji-Chao<sup>1,\*</sup>, LIU Bao-Sheng<sup>1</sup> (1. Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Zhenjiang Institute of Agricultural Sciences of Ningzhen Hilly District, Jurong, Jiangsu 212400, China)

**Abstract:** Relative toxicity index of 11 insecticides belonging to six different categories against the 3rd-instar nymphs of *Laodelphax striatellus* (Fallén) and the resistance of the nymphs from 7 typically ecological sites in East China to 10 of these insecticides were surveyed with rice seedlings-dipped method. The results indicated that the toxicity of acephate was the lowest among the 11 insecticides, which was used as reference standard herein. The relative toxicity of the other 10 insecticides to the nymphs in a descending turn was fipronil, buprofezin, abamectin, thiamethoxam, alpha-cypermethrin, IPP (a new nitromethylene-compound), chlorpyrifos, dichlorvos, triazophos and imidacloprid. Compared with Yunnan (YN) susceptible population collected from fields of Chuxiong, Yunnan province in 2001, the 7 field populations respectively from Jurong (JR), Tongzhou (TZ), Chuzhou (CZ), Dafeng (DF), Nanjing (NJ) and Suzhou (SZ) of Jiangsu province and Lujiang (LJ) of Anhui province in 2007 showed very high resistance to buprofezin with the resistance ratio over 200-fold, and medium or high resistance to alpha-cypermethrin with the resistance ratio of 7.8–108.8 fold. The LJ population showed 7.7- and 12.0-fold resistance to triazophos and chlorpyrifos, respectively, and the CZ, NJ, DF and JR populations showed 5.7–12.6-fold resistance to chlorpyrifos. All the 7 field populations of *L. striatellus* were sensitive to dichlorvos, fipronil, avermectins, imidacloprid, thiamethoxam

基金项目: 国家科技支撑计划重大课题(2006BAD08A04); 江苏省基础研究计划重点项目(BK2005214); 江苏省重大攻关课题(BE2005301); 江苏省农业科技创新资金重点项目(cx08-606)

作者简介: 王利华, 1979 年生, 博士, 研究方向为昆虫毒理学, E-mail: wlyang@sohu.com

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: fangjc@jaas.ac.cn

收稿日期 Received: 2007-11-06; 接受日期 Accepted: 2008-08-12

and IPP.

**Key words:** *Laodelphax striatellus*; insecticide resistance; insecticides; relative toxicity; resistance ratio

灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén) 属同翅目、飞虱科, 主要分布于从菲律宾至西伯利亚一带的亚洲和欧洲温带地区 (Kisimoto, 1989)。在我国, 南起海南省的三亚, 北至辽宁省的铁岭, 东自上海, 西至新疆的所有水稻种植区都有灰飞虱的分布 (邓可京等, 2001)。除以成虫、若虫直接刺吸危害水稻、小麦外, 灰飞虱还传播水稻条纹叶枯病、黑条矮缩病和小麦丛矮病等多种植物病毒病, 其传毒危害造成的损失巨大, 严重时甚至颗粒无收 (谢联辉等, 2001)。在 2000 年以前很长的一段时间里, 灰飞虱在我国属于次要害虫, 不需要特别防治。但是, 自 2000 年开始, 灰飞虱在我国尤其是江苏稻区暴发危害, 给水稻生产带来严重损失。据江苏省农业科学院植物保护研究所调查, 2004 年由灰飞虱传播的水稻条纹叶枯病在江苏省的发病面积高达 160 万公顷, 占水稻种植面积的 79%。由于目前还没有理想的抗病品种和防治病毒病的药剂, 治虫防病成为挽回损失的主要手段。

灰飞虱的防治一直以化学农药为主, 由于技术指导不到位导致化学农药的滥用, 使灰飞虱对多种杀虫剂产生了抗性。早在 1965 年 Kimura 就发现灰飞虱对马拉硫磷产生抗性。以后又陆续监测到灰飞虱对其他有机磷类杀虫剂产生了抗性 (Sone *et al.*, 1995; Endo *et al.*, 2002)。Sone 等 (1995) 监测了日本 9 个地区灰飞虱的抗药性情况, 发现绝大多数种群对醚菊酯和吡虫啉仍然敏感, 但是对有机磷类的乙拌磷产生了 5~48 倍的抗性。Endo 等 (2002) 在 1992-1994 年间采用点滴法调查日本、越南和中国富阳的 10 个灰飞虱种群的抗性水平, 发现不同地区灰飞虱对杀虫剂的敏感性存在差异。富阳两个灰飞虱种群对马拉硫磷、杀螟松和二嗪磷分别产生了 72 和 88、17 和 36、7.1 和 7.4 倍的抗性; 越南北部和我国云南种群对大多数有机磷类杀虫剂仍然敏感; 所有种群对拟除虫菊酯类和吡虫啉均无抗性。我国其他地区灰飞虱对上述杀虫剂或其他杀虫剂的抗性现状目前还不清楚。

本文采用浸苗法, 测定了 6 类 11 种杀虫剂对云南灰飞虱种群 3 龄若虫的毒力, 并以此作为敏感基线, 对江苏、安徽等地田间灰飞虱种群的抗药性水平进行了调查, 以期明确田间种群的抗性现状和适用药剂, 为灰飞虱的综合治理提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试昆虫

云南种群: 于 2001 年采自云南楚雄, 在人工气候室 (温度:  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ; 光周期: 14L:10D) 中用一周龄武育梗 3 号稻苗饲养至今, 期间不接触任何杀虫剂, 作为本实验的敏感种群。

北京种群: 由南京农业大学植物保护学院韩召军教授赠予, 其后一直在人工气候室中饲养, 期间不接触任何杀虫剂; 与以往报道相比, 该种群对乙酰甲胺磷仍然敏感, 对吡虫啉的敏感性略有降低 (Gao *et al.*, 2008)。

抗性监测种群: 江苏句容、通州、楚州和苏州灰飞虱种群分别由当地植保站提供, 其中句容、通州和楚州灰飞虱种群采自小麦上, 苏州灰飞虱种群采自水稻上; 江苏大丰、南京和安徽庐江的灰飞虱种群分别采自江苏大丰县城郊、南京市郊以及安徽庐江县城郊, 均来自水稻。从各采集点获得成虫后, 先在人工气候室中用一周龄武育梗 3 号饲养, 至下一代 3 龄若虫时, 用于生测。

### 1.2 供试药剂

48% 毒死蜱乳油, 美国陶氏益农公司; 5% 锐劲特悬浮剂, 杭州拜耳作物有限公司; 0.5% 阿维菌素可湿性粉剂, 南京保丰农药厂; 2.5% 吡虫啉可湿性粉剂, 江苏金凤凰农化有限公司; 80% 敌敌畏乳油, 高密市绿洲化工有限公司; 95% 高效氯氰菊酯原粉、84.3% 三唑磷原油、95.2% 毒死蜱原油、90% 敌敌畏原油和 95% 氟虫腈原粉, 均由江苏绿盾农药有限公司提供; 97% 乙酰甲胺磷原粉, 浙江嘉化集团有限公司提供; 94.5% 噻虫嗪原粉, 江苏克胜农药有限公司提供; 97.2% 噻嗪酮原粉、95% 吡虫啉原粉和 96.5% 阿维菌素原粉, 均由苏科农化有限公司提供; 92% IPP (硝基亚甲基化合物, 中国专利号为: ZL200410084457.1, 欧盟专利号为: European Patent EP001826209) 原粉, 华东理工大学药物化工研究所合成。

### 1.3 生物测定

采用浸苗法。对敏感种群的毒力测定均采用原药, 对田间种群的抗性调查尽量采用制剂, 其中高效氯氰菊酯、噻嗪酮、三唑磷、噻虫嗪和 IPP 由于市场

上难以采购到单剂制剂,因此在抗性调查时仍以原药进行生测。生测时,先将各杀虫剂用逐倍稀释法配成系列浓度。制剂和原药的配制方法略有不同。制剂直接用水稀释,原药先用溶剂配成高浓度溶液,再用水稀释,除噻虫嗪和 IPP 用 N,N-二甲基甲酰胺作为溶剂外,其余原药均以丙酮作为溶剂。所有原药配制的高浓度溶液中均含有 10%(v/v)乳化剂(三唑磷采用专有乳化剂,其他均采用 Triton X-100)。

生测时,将出芽后一周左右的武育粳 3 号稻苗连根一起在系列浓度的药液中浸 10 s,取出后置于一次性塑料杯中,用杯中事先放置的湿润的吸水纸包住稻苗根部,20 min 后接入 3 龄若虫,制剂生测时以清水处理作对照,原药生测时则以不加原药的处理作为对照。每个实验设 7 个浓度,每个浓度设 3 个重复,各接入 10 头 3 龄若虫,于药后 48, 72 或 120 h 检查试虫存活情况(毒死蜱、敌敌畏、三唑磷、乙酰甲胺磷和高效氯氰菊酯等速效杀虫剂在药后 48 h 检查;氟虫腈、阿维菌素和噻虫嗪在药后 72 h 检查;吡虫啉、噻嗪酮和 IPP 在药后 120 h 检查),用镊子轻触试虫,不动者视为死亡。生测在人工气候室中进行,温度:  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ,光周期: 14L:10D。

#### 1.4 数据分析

生测数据采用 PoloPlus<sup>®</sup> 软件分析。根据致死中浓度  $LC_{50}$  (mg/L),以乙酰甲胺磷为标准杀虫剂,计算其余 10 种杀虫剂对云南种群的相对毒力指数。以各杀虫剂对田间种群的  $LC_{50}$  值除以该杀虫剂对云南种群的  $LC_{50}$  值和  $LC_{90}$  值,得到抗性倍数(噻虫嗪抗

性倍数计算时,以更敏感的楚州种群为敏感种群)。抗性水平划分标准参照沈晋良等(1991)的方法: < 3 倍为敏感,3~5 倍为敏感性下降,5~10 倍为低水平抗性,10~40 倍为中水平抗性,40~160 倍为高水平抗性,> 160 倍为极高水平抗性。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杀虫剂对敏感种群的毒力

不同杀虫剂对云南和北京种群的毒力如表 1 所示。对云南种群而言,氟虫腈的毒力最高,噻嗪酮、阿维菌素、噻虫嗪次之;高效氯氰菊酯、IPP 和有机磷类杀虫剂毒死蜱、敌敌畏、三唑磷的毒力处于同一数量级,低于阿维菌素等杀虫剂;吡虫啉的毒力较低,仅高于乙酰甲胺磷。毒死蜱、乙酰甲胺磷对云南种群的  $LC_{50}$  值分别为 19.07 和 727.22,高效氯氰菊酯对该种群的  $LC_{50}$  值为 12.82,均低于北京种群;氟虫腈和阿维菌素对云南和北京种群的  $LC_{50}$  值无显著差异,吡虫啉对云南种群的  $LC_{50}$  值高于北京种群,说明云南种群对毒死蜱、乙酰甲胺磷和高效氯氰菊酯的敏感性高于北京种群,对阿维菌素和氟虫腈的敏感性与北京种群相当,对吡虫啉的敏感性低于北京种群。由于云南种群已在室内饲养多年,期间不接触任何杀虫剂,所以云南种群对吡虫啉的敏感性较低可能与其来源有关,本文仍采用云南种群作为敏感种群。

表 1 几类杀虫剂对云南和北京灰飞虱种群 3 龄若虫的毒力

Table 1 Relative toxicity of some insecticides to the 3rd-instar nymphs of *Laodelphax striatellus* from Yunan and Beijing

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	致死中浓度 $LC_{50}$ (mg/L)	斜率 Slope $\pm$ SE	相对毒力指数 Relative toxicity index
乙酰甲胺磷 Acephate	YN	727.22 (490.59 - 1 204.37)	1.23 $\pm$ 0.26	1.0
	BJ	2 709.18 (1 523.46 - 13 846.52)	1.57 $\pm$ 0.30	-
毒死蜱 Chlorpyrifos	YN	19.07 (13.48 - 26.63)	1.56 $\pm$ 0.28	0.026
	BJ	35.29 (23.14 - 91.85)	1.52 $\pm$ 0.40	-
敌敌畏 Dichlorvos	YN	40.44 (29.51 - 52.67)	2.23 $\pm$ 0.36	0.056
三唑磷 Triazophos	YN	68.10 (41.98 - 104.70)	1.60 $\pm$ 0.19	0.094
氟虫腈 Fipronil	YN	0.64 (0.47 - 0.86)	1.89 $\pm$ 0.26	0.00088
	BJ	1.09 (0.75 - 1.55)	1.37 $\pm$ 0.17	-
阿维菌素 Abamectin	YN	3.88 (2.87 - 5.82)	1.72 $\pm$ 0.29	0.0053
	BJ	3.32 (2.14 - 7.83)	1.36 $\pm$ 0.30	-
噻嗪酮 Buprofezin	YN	1.35 (0.72 - 2.33)	1.21 $\pm$ 0.32	0.0019
吡虫啉 Imidacloprid	YN	139.65 (103.81 - 202.83)	1.71 $\pm$ 0.29	0.19
	BJ	29.50 (21.15 - 44.24)	1.36 $\pm$ 0.19	-
IPP	YN	17.46 (11.97 - 26.70)	2.11 $\pm$ 0.24	0.024
噻虫嗪 Thiamethoxam	YN	4.57 (3.53 - 5.83)	2.31 $\pm$ 0.28	0.0063
高效氯氰菊酯	YN	12.82 (7.18 - 20.71)	2.62 $\pm$ 0.34	0.018
Alpha-cypermethrin	BJ	178.07 (120.69 - 330.47)	1.60 $\pm$ 0.30	-

BJ: 北京种群 Beijing population; YN: 云南种群 Yunnan population.

## 2.2 不同地区田间灰飞虱种群的抗性现状

**2.2.1 氟虫腈：**与云南种群相比，7个田间种群对氟虫腈的敏感性都较高，其中有5个种群处于敏感阶段，仅有采自江苏句容和苏州的灰飞虱对氟虫腈的敏感性略有下降，对氟虫腈的耐受力分别提高了4.8和4.1倍(表2)。

**2.2.2 阿维菌素：**阿维菌素是一种新型的杀虫剂，主要用于蔬菜害虫防治，在稻飞虱防治中较少使用。但是近年来，作为一种无公害杀虫剂，阿维菌素常与其他杀虫剂复配或者单独用于水稻螟虫和稻纵卷叶螟的防治。灰飞虱对阿维菌素的抗性现状调查结果显示，田间灰飞虱种群对阿维菌素均处于敏感阶段(表2)。

**2.2.3 有机磷类杀虫剂：**灰飞虱对有机磷类杀虫剂的抗性水平在不同杀虫剂间存在差异(表2)。3种有机磷杀虫剂中，所有7个田间灰飞虱种群对敌敌畏仍然敏感，但有些种群对三唑磷和毒死蜱产生了抗性，其抗性水平与灰飞虱采集地有关。安徽庐江灰飞虱种群对三唑磷产生了低水平抗性，其抗性倍数为7.7倍；江苏通州、大丰和苏州的灰飞虱对三唑磷的敏感性略有下降，其他3个地区的灰飞虱种群对三唑磷仍然敏感。所有7个灰飞虱种群对毒

死蜱的敏感性均有不同程度的降低，江苏楚州、南京和大丰灰飞虱种群对毒死蜱产生了5.7~9.0倍的低水平抗性，江苏句容和安徽庐江灰飞虱种群对毒死蜱产生了中等水平的抗性，抗性倍数分别为12.6和12.0。

**2.2.4 高效氯氰菊酯：**在7个灰飞虱种群中，除江苏大丰种群外，其余6个灰飞虱种群均对高效氯氰菊酯产生了中到高等水平的抗性。其中以江苏通州种群对高效氯氰菊酯的抗性最高，达到108.8倍，江苏句容种群对高效氯氰菊酯的抗性最低，为22.6倍；其余4个种群——江苏楚州、南京、苏州和安徽庐江灰飞虱对高效氯氰菊酯的抗性倍数分别为50.2、39.1、36.0和38.7(表2)。

**2.2.5 噻嗪酮：**噻嗪酮是昆虫几丁质合成抑制剂，广泛应用于稻飞虱的防治。灰飞虱对噻嗪酮的抗性监测结果如表2。从表中可以看出7个灰飞虱种群对噻嗪酮都产生了极高水平的抗性，其抗性倍数均大于200倍，其中安徽庐江灰飞虱种群抗性水平最高，抗性倍数超过了1000，江苏通州灰飞虱种群对噻嗪酮的抗性倍数最低，为218倍，其他种群对噻嗪酮的抗性倍数在268.6~922.5之间。

表2 7个田间灰飞虱种群对10种杀虫剂的抗性现状

Table 2 The resistance levels of 10 insecticides to 7 field populations of *Laodelphax striatellus* in East China

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	致死中浓度 LC <sub>50</sub> (mg/L)(95%CL)	斜率 Slope ± SE	LC <sub>50</sub> 计算 抗性倍数 RF at LC <sub>50</sub>	90%致死浓度 LC <sub>90</sub> (mg/L)(95%CL)	LC <sub>90</sub> 计算抗 性倍数 RF at LC <sub>90</sub>
氟虫腈 Fipronil	YN	0.35(0.23-0.51)	2.14 ± 0.26	1.0	1.38(0.86-3.29)	1.0
	JR	1.68(1.31-2.11)	2.45 ± 0.34	4.8	5.61(4.14-9.03)	4.1
	TZ	0.67(0.52-0.82)	2.71 ± 0.37	1.9	1.98(1.53-2.92)	1.4
	CZ	0.68(0.52-0.85)	2.53 ± 0.36	1.9	2.18(1.63-3.40)	1.6
	NJ	0.79(0.57-1.03)	1.92 ± 0.29	2.3	3.65(2.49-6.95)	2.6
	DF	0.29(0.23-0.35)	3.24 ± 0.50	0.8	0.71(0.56-1.02)	0.5
	SZ	1.45(1.08-2.26)	1.91 ± 0.39	4.1	6.84(3.72-26.97)	5.0
	LJ	0.75(0.61-0.91)	3.30 ± 0.49	2.1	1.82(1.41-2.75)	1.3
阿维菌素 Abamectin	YN	0.33(0.20-0.49)	1.29 ± 0.26	1.0	3.28(1.70-13.94)	1.0
	JR	0.41(0.30-0.53)	1.95 ± 0.25	1.2	1.85(1.29-3.19)	0.6
	TZ	0.41(0.23-0.29)	1.61 ± 0.38	1.2	2.58(1.50-9.78)	0.8
	CZ	0.56(0.37-0.75)	1.74 ± 0.29	1.7	3.04(2.00-6.30)	1.0
	NJ	0.63(0.36-0.97)	0.95 ± 0.16	1.9	14.07(6.46-60.10)	4.3
	DF	0.22(0.15-0.28)	2.15 ± 0.34	0.7	0.85(0.61-1.46)	0.3
	SZ	0.18(0.10-0.26)	1.57 ± 0.30	0.6	1.18(0.76-2.71)	0.4
	LJ	0.60(0.36-1.04)	1.00 ± 0.21	1.8	11.25(4.22-112.58)	3.4
毒死蜱 Chlorpyrifos	YN	7.84(5.86-11.06)	1.74 ± 0.24	1.0	42.58(25.6-99.21)	1.0
	JR	98.50(75.49-139.44)	2.05 ± 0.29	12.6	415.71(256.83-944.12)	9.8
	TZ	37.78(30.50-47.03)	2.89 ± 0.42	4.8	104.88(77.71-171.33)	2.5
	CZ	51.92(35.80-73.53)	2.54 ± 0.30	6.6	166.26(110.08-346.06)	3.9
	NJ	44.47(29.33-64.52)	2.60 ± 0.32	5.7	138.59(90.09-319.10)	3.3
	DF	70.24(55.10-90.31)	2.50 ± 0.41	9.0	229.06(159.24-440.49)	5.4
	SZ	33.47(26.18-42.52)	2.22 ± 0.28	4.3	126.21(90.66-207.23)	3.0
	LJ	94.92(70.94-131.51)	2.24 ± 0.28	12.0	353.82(227.46-787.05)	8.3

续表 2 Table 2 continued

杀虫剂 Insecticide	种群 Population	致死中浓度 LC <sub>50</sub> (mg/L)(95% CL)	斜率 Slope ± SE	LC <sub>50</sub> 计算 抗性倍数 RF at LC <sub>50</sub>	90% 致死浓度 LC <sub>90</sub> (mg/L)(95% CL)	LC <sub>90</sub> 计算抗 性倍数 RF at LC <sub>90</sub>
敌敌畏 Dichlorvos	YN	52.49(39.82 – 74.96)	2.58 ± 0.48	1.0	164.75(105.43 – 398.84)	1.0
	JR	118.03(76.10 – 193.78)	2.94 ± 0.37	2.2	322.45(195.78 – 1178.89)	2.0
	TZ	118.47(80.12 – 173.38)	2.98 ± 0.40	2.3	319.01(208.89 – 797.56)	1.9
	CZ	88.85(51.00 – 152.52)	2.65 ± 0.36	1.7	270.51(156.36 – 1328.63)	1.6
	NJ	82.16(58.78 – 114.95)	2.60 ± 0.31	1.6	255.69(169.89 – 541.37)	1.6
	DF	114.42(85.26 – 150.50)	3.89 ± 0.47	2.2	244.52(180.71 – 420.03)	1.5
	SZ	102.02(81.62 – 133.14)	2.85 ± 0.44	1.9	287.39(201.96 – 529.83)	1.7
	LJ	198.09(130.18 – 316.55)	4.66 ± 0.64	3.8	373.02(253.12 – 1 309.76)	2.3
三唑磷 Triazophos	YN	68.10(41.98 – 104.70)	1.60 ± 0.19	1.0	432.21(244.63 – 1 217.41)	1.0
	JR	123.58(66.14 – 189.28)	1.10 ± 0.20	1.8	1804.17(939.00 – 6 446.98)	4.2
	TZ	273.66(146.90 – 495.39)	1.81 ± 0.24	4.0	1403.79(701.97 – 8 269.47)	3.2
	CZ	198.63(128.91 – 300.08)	2.50 ± 0.41	2.9	647.06(400.28 – 1 867.62)	1.5
	NJ	98.74(71.38 – 131.24)	1.66 ± 0.22	1.4	584.53(387.25 – 1 117.55)	1.4
	DF	242.36(197.38 – 302.96)	2.60 ± 0.32	3.6	755.65(553.14 – 1 212.67)	1.7
	SZ	257.75(199.73 – 368.14)	2.31 ± 0.38	3.8	923.39(576.00 – 2 217.30)	2.1
	LJ	524.03(413.19 – 724.21)	2.49 ± 0.40	7.7	1 710.89(1 113.96 – 3 718.15)	4.0
高效氯氟菊酯 Alpha-cypermethrin	YN	12.82(7.18 – 20.71)	2.62 ± 0.34	1.0	39.48(23.73 – 133.54)	1.0
	JR	289.75(134.60 – 514.65)	2.00 ± 0.30	22.6	1 267.87(662.63 – 9 584.11)	32.1
	TZ	1 394.68(955.24 – 2 587.24)	2.01 ± 0.37	108.8	6 041.33(3 085.95 – 23 444.02)	153.0
	CZ	643.16(453.92 – 1 178.79)	1.76 ± 0.35	50.2	3 425.08(1661.23 – 16 733.78)	86.8
	NJ	501.15(214.21 – 1 645.58)	1.77 ± 0.26	39.1	2 656.08(1 021.73 – 158 182.98)	67.3
	DF	100.32(60.19 – 142.19)	1.45 ± 0.27	7.8	769.95(458.29 – 2 157.98)	19.5
	SZ	461.85(352.09 – 672.37)	2.09 ± 0.34	36.0	1 901.84(1140.58 – 4 907.12)	56.0
	LJ	496.13(311.48 – 1 224.89)	1.98 ± 0.33	38.7	2 209.33(989.36 – 30 234.48)	56.0
噻嗪酮 Buprofezin	YN	1.35(0.72 – 2.33)	1.21 ± 0.32	1.0	15.32(6.27 – 205.26)	1.0
	JR	362.64(273.94 – 519.23)	1.90 ± 0.28	268.6	1717.00(1 031.16 – 4 128.96)	112.1
	TZ	294.26(177.95 – 616.48)	1.00 ± 0.25	218.0	5 751.82(1 760.92 – 176 057.38)	375.4
	CZ	670.85(460.14 – 1 275.70)	1.68 ± 0.33	496.9	3 899.89(1 817.62 – 20 878.96)	254.6
	NJ	1 245.42(749.80 – 3146.67)	1.09 ± 0.21	922.5	> 10 <sup>4</sup>	–
	DF	843.06(428.49 – 3 005.33)	0.71 ± 0.15	624.5	> 10 <sup>4</sup>	–
	SZ	734.96(424.92 – 1753.97)	0.93 ± 0.17	544.4	> 10 <sup>4</sup>	–
	LJ	1 472.57(672.46 – 7 619.37)	0.74 ± 0.16	1 090.8	> 10 <sup>4</sup>	–
噻虫嗪 Thiamethoxam	YN	4.57(3.53 – 5.83)	2.31 ± 0.28	3.9	17.39(12.33 – 29.89)	2.6
	JR	2.44(1.88 – 3.19)	2.28 ± 0.33	2.1	8.89(6.07 – 16.71)	1.3
	TZ	1.83(1.00 – 2.92)	1.75 ± 0.25	1.6	9.92(5.53 – 35.43)	1.5
	CZ	1.18(0.39 – 2.06)	1.71 ± 0.25	1.0	6.64(3.54 – 37.59)	1.0
	NJ	1.22(0.92 – 1.59)	1.90 ± 0.24	1.0	5.76(3.99 – 10.07)	0.9
	DF	1.77(0.76 – 3.62)	1.59 ± 0.22	1.5	11.25(4.96 – 147.27)	1.7
	SZ	1.93(1.59 – 2.35)	3.10 ± 0.38	1.6	5.01(3.89 – 7.24)	0.8
	LJ	1.94(1.33 – 3.21)	1.33 ± 0.27	1.6	17.85(8.00 – 111.44)	2.7
吡虫啉 Imidacloprid	YN	11.27(7.82 – 16.82)	1.40 ± 0.23	1.0	92.27(48.53 – 308.07)	1.0
	JR	11.10(8.56 – 14.18)	2.10 ± 0.26	1.0	45.15(32.25 – 74.53)	0.5
	TZ	11.80(9.02 – 15.77)	2.00 ± 0.28	1.1	51.57(33.8 – 103.28)	0.6
	CZ	11.92(8.95 – 15.72)	1.70 ± 0.22	1.1	67.74(44.61 – 129.60)	0.7
	NJ	10.64(7.99 – 13.90)	1.84 ± 0.24	1.0	52.92(35.98 – 95.92)	0.6
	DF	17.46(10.40 – 30.96)	1.60 ± 0.22	1.6	110.69(53.11 – 640.63)	1.2
	SZ	11.92(7.95 – 16.28)	1.64 ± 0.28	1.1	72.02(45.53 – 167.28)	0.8
	LJ	10.05(7.52 – 14.85)	1.92 ± 0.39	0.9	46.72(26.41 – 163.47)	0.5
IPP	YN	17.46(11.97 – 26.7)	2.11 ± 0.24	1.0	70.88(41.94 – 191.18)	1.0
	JR	22.76(17.94 – 29.38)	2.21 ± 0.28	1.3	86.34(59.95 – 151.93)	1.2
	TZ	21.50(17.15 – 27.25)	2.40 ± 0.30	1.2	73.37(52.77 – 121.00)	1.0
	CZ	20.15(13.21 – 38.41)	2.64 ± 0.40	1.2	61.66(34.03 – 387.65)	0.9
	NJ	21.50(16.66 – 35.83)	3.16 ± 0.73	1.2	54.62(33.62 – 186.82)	0.8
	DF	34.19(22.74 – 57.08)	3.16 ± 0.43	2.0	87.01(53.37 – 340.91)	1.2
	SZ	42.07(33.50 – 55.38)	2.51 ± 0.38	2.4	136.43(92.93 – 264.72)	1.9
	LJ	23.59(17.29 – 34.16)	1.53 ± 0.22	1.4	163.43(91.74 – 439.45)	2.3

YN: 云南种群 Yunnan population; JR: 句容种群 Jurong population; TZ: 通州种群 Tongzhou population; CZ: 楚州种群 Chuzhou population; NJ: 南京种群 Nanjing population; DF: 大丰种群 Dafeng population; SZ: 苏州种群 Suzhou population; LJ: 庐江种群 Lujiang population.

**2.2.6 烟碱类杀虫剂：**吡虫啉是第 2 代氯代烟碱类杀虫剂，噻虫嗪是第 3 代硫代烟碱类杀虫剂，IPP 为华东理工大学开发的具有自主知识产权的新型烟碱类杀虫剂。7 个灰飞虱种群对 3 种烟碱类杀虫剂的敏感性如表 2 所示。从表中可以看出，与云南种群相比，7 个田间灰飞虱种群对它们的敏感性仍然较高。

### 3 讨论

杀虫剂对害虫毒力的测定和抗性现状的调查是害虫综合防治中杀虫剂选用的重要依据。在水稻不同生育阶段，田间化学防治灰飞虱的效果不同，秧田期可供选择的药剂较多，防效也好，是控虫断毒的关键时期(朱龙粉等, 2006)。因此，与其他方法相比，浸苗法更贴近田间实际用药的情况，可以为田间防治提供更准确的信息。而灰飞虱的毒力测定常采用点滴法(Kimura, 1965; Endo and Tsurumachi, 2000; Endo *et al.*, 2002)，少数采用浸稻茎法(林友伟等, 2004)，尚无浸苗法的测定结果。本文采用浸苗法测定了 6 类 11 种杀虫剂对灰飞虱 3 龄若虫的毒力，并对其中 10 种杀虫剂的田间抗药性现状进行了调查比较。

在实验所选的 11 种杀虫剂中，氟虫腈对云南种群的毒力最高，乙酰甲胺磷的毒力最低。令人吃惊的是，吡虫啉对云南种群的毒力低于大多数有机磷类和拟除虫菊酯类杀虫剂。对北京种群的生测表明，云南种群对吡虫啉的敏感性比北京种群低 5 倍左右；而云南种群自 2001 年以来已在室内饲养多年，对毒死蜱、乙酰甲胺磷、高效氯氰菊酯等杀虫剂比北京种群更敏感。因此，该差异可能是云南与北京的灰飞虱种群自生差异导致的。

毒死蜱是目前全球应用最广泛的 5 种杀虫剂之一(边全乐, 1997)，也是我国规划用于替代高毒有机磷农药的品种之一，具有触杀、胃毒和熏蒸作用。毒死蜱对灰飞虱毒力较高，速效性好，常单用或与锐劲特、吡虫啉等长效杀虫剂混用(夏华兴等, 2006)。害虫或螨对毒死蜱的抗性发展一般比较缓慢(Torres-Vila *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2003; Ahmad *et al.*, 2007)，但是在土耳其，二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 对毒死蜱的抗性高达 1 774 倍(Recep, 2005)，我国甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 对毒死蜱也产生了 100 倍以上的高水平抗性(王开运等, 2001)。本文对毒死蜱的抗性现状调查结果表明，江苏句容和安徽庐江的灰飞虱种群对毒死蜱已经产生了中等水平的抗

性，其 90% 致死浓度已超出目前毒死蜱的推荐使用浓度。因此，在灰飞虱的防治中应该合理使用毒死蜱，以延缓抗性的发展。

敌敌畏是另一种灰飞虱防治中常用的有机磷类杀虫剂，特别是对小麦生长后期灰飞虱的防治效果优异，因为小麦穗期灰飞虱在麦株下部，而将药剂喷施于下部较困难。采用敌敌畏毒土熏蒸的施药方法可以较好的解决这一难题。尽管目前试验所取 7 个种群的灰飞虱对敌敌畏仍然敏感，但是由于敌敌畏与毒死蜱等有机磷杀虫剂具有相同的靶标，我们在室内用毒死蜱对灰飞虱进行连续汰选时发现，对毒死蜱高抗的灰飞虱品系对敌敌畏有明显的交互抗性(数据尚未发表)，因此，应尽量避免敌敌畏与毒死蜱、三唑磷等杀虫剂轮用。

拟除虫菊酯类杀虫剂到目前为止仍禁止在我国稻田使用。Sone 等(1995)和 Endo 等(2002)在对日本、越南和中国富阳灰飞虱种群的抗性监测中均发现，这些地区的灰飞虱种群对拟除虫菊酯类杀虫剂比较敏感。但本文研究发现，江苏部分地区灰飞虱种群对高效氯氰菊酯产生了高水平的抗性，其他大多数地区灰飞虱种群对高效氯氰菊酯也产生了中等水平的抗性，这可能有两方面的原因。一是在小麦生长后期，拟除虫菊酯常用于防治越冬代灰飞虱或者其他害虫；二是有些农药企业在其用于防治稻纵卷叶螟等水稻害虫的复配杀虫剂中违规添加菊酯类农药，从而使灰飞虱对该类杀虫剂逐步产生了抗性。同时，由于菊酯类杀虫剂对稻田天敌如蜘蛛等的杀伤力较高，很可能使稻田生态失衡，导致害虫种群暴发。因此，应严格禁止拟除虫菊酯类杀虫剂在稻田使用，并限制其在麦田灰飞虱防治中的使用次数。

与常规杀虫剂相比，氟虫腈作用机制特殊，与常规杀虫剂间一般不存在交互抗性。尽管自 1997 年氟虫腈就用于水稻螟虫或飞虱的防治(姜卫华等, 2005)，但是对江苏六地和安徽庐江田间灰飞虱种群的抗性现状调查结果表明，灰飞虱对氟虫腈的敏感性仍然较高。由于氟虫腈具有慢性神经毒性，能提高啮齿目动物肝代谢功能和刺激甲状腺激素的分泌，有形成甲状腺癌的可能，被定为 C 类致癌物质，还具有一定程度的生物毒性，对水生甲壳类动物鱼、虾、蟹剧毒，而且在环境中代谢缓慢，在生物体脂肪内有富集作用(徐广春等, 2008)；而本研究发现氟虫腈对 7 个田间种群的 99% 致死浓度(最高的江苏苏州种群为 24 mg/L，一般在 5 mg/L 左右)均低于现有推荐使用浓度(30 ~ 50 mg/L)，所以我们建议在田

间使用时可以根据各地灰飞虱对氟虫腈的敏感性现状,适当降低推荐使用剂量,一方面可以减少用药成本,另一方面也可保护生态环境,降低安全风险。

阿维菌素是一类新型杀虫剂,主要用于蔬菜害虫防治,近年来也用于水稻螟虫和稻纵卷叶螟 *Chaphalocrocis medinalis* 的防治。与蔬菜害虫相比,灰飞虱对阿维菌素的敏感性较低;但与其他杀虫剂相比,阿维菌素对灰飞虱的相对毒力较高。目前的研究表明:由于阿维菌素的作用靶标与常规杀虫剂不同,因此它除了与其类似物具有交互抗性外,与其他大多数农药都没有明显的交互抗性(刘开林等, 2007),因此,阿维菌素与毒死蜱和敌敌畏等杀虫剂之间可能也不存在交互抗性。可结合水稻其他害虫的防治,兼治田间灰飞虱,以避免氟虫腈、毒死蜱等杀虫剂的连续使用。

吡虫啉是近 10 年来广泛应用的新型硝基亚甲基类杀虫剂,对飞虱、粉虱等刺吸式口器害虫有优异的防治效果。抗性监测发现,20 世纪 90 年代,采自日本及东亚的多个灰飞虱种群对吡虫啉都比较敏感(Sone *et al.*, 1995; Endo *et al.*, 2002),但是 Gao 等(2008)报道来自中国江苏的 3 个灰飞虱种群对吡虫啉产生了高水平抗性,福建和广东灰飞虱种群对吡虫啉也产生了中等水平的抗性。本研究发现,与云南种群相比,来自江苏、安徽 7 地的灰飞虱种群对吡虫啉的敏感性没有降低,与 Gao 等(2008)的结果略有不同。这可能有三方面的原因:一是生测方法不同,本文采用浸苗法,而 Gao 等采用点滴法;二是采用的敏感基线不同,本文采用云南种群作为敏感种群,而 Gao 等采用北京种群作为敏感种群;三是虫源地不同,尽管都采自江苏,但具体采集地点和年份不同。尽管与云南种群相比,用于抗性监测的 7 地田间灰飞虱种群对吡虫啉的敏感性没有下降,但吡虫啉对云南灰飞虱种群的 90% 致死浓度(92.27 mg/L)远高于目前田间推荐使用浓度(5 ~ 8 mg/L),二者相差 11 ~ 18 倍。由此可见,在目前的推荐使用剂量下,吡虫啉已不适宜用于田间灰飞虱防治。

噻嗪酮对云南灰飞虱种群的相对毒力较高,但在抗性监测中发现,江苏各地和安徽庐江的田间灰飞虱种群对噻嗪酮产生了高水平的抗性。孙春来等(2005)也报道,噻嗪酮对江苏海安地区灰飞虱的防效极差,在亩用量 50 g(25% 可湿性粉剂)的情况下,施药 6 天后防效仅为 16.15%;林付根等(2006)在江苏盐都也得到相似的试验结果。噻嗪酮自 20 世纪 80 年代末在江苏推广用于褐飞虱和白背飞虱的

防治,而灰飞虱在 2000 年前的很长时间里都是次要害虫,没有进行针对性防治,所以灰飞虱对噻嗪酮的敏感性下降很可能是该杀虫剂在防治褐飞虱和白背飞虱的过程中对非靶标生物筛选的结果。因此,除了在灰飞虱的防治中应限制噻嗪酮的使用外,也应减少噻嗪酮在稻田褐飞虱、白背飞虱防治中的使用次数,尤其在灰飞虱大发生的江苏地区,以利于田间灰飞虱抗药性的综合治理。

## 参 考 文 献 (References)

- Ahmad M, Arif MI, Ahmad M, 2007. Occurrence of insecticide resistance in field populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) in Pakistan. *Crop Protection*, 26: 809 - 817.
- Bian QL, 1997. The safety of chlorpyrifos' application. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 13: 71. [边全乐, 1997. 使用毒死蜱的安全性. 中国农学通报, 13: 71]
- Deng KJ, Yang YY, Hu CY, 2001. Cytoplasmic incompatibility caused by *Wolbachia* in small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén. *Journal of Fudan University (Natural Science)*, 36 (5): 500 - 506. [邓可京, 杨琰云, 胡成业, 2001. 灰飞虱共生菌 *Wolbachia* 引起的细胞质不亲和性. 复旦学报(自然科学版), 36 (5): 500 - 506]
- Endo S, Takahadhi A, Tsurumachi M, 2002. Insecticides susceptibility of the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén (Homoptera: Delphacidae), collected from East Asia. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 37(1): 79 - 84.
- Endo S, Tsurumachi M, 2000. Insecticide resistance and insensitive acetylcholinesterase in small brown planthopper, *Laodelphax striatellus*. *Journal of Pesticide Science*, 25: 395 - 397.
- Gao BL, Wu J, Huang SJ, Mu LF, Han ZJ, 2008. Insecticide resistance in field populations of *Laodelphax striatellus* Fallén (Homoptera: Delphacidae) in China and its possible mechanisms. *International Journal of Pest Management*, 54(1): 13 - 19.
- Jiang WH, Han ZJ, Hao ML, 2005. Primary study on resistance of rice stem borer (*Chilo suppressalis*) to fipronil. *Chinese Journal of Rice Science*, 19(6): 577 - 579. [姜卫华, 韩召军, 郝鸣丽, 2005. 二化螟对氟虫腈抗性初探. 中国水稻科学, 19(6): 577 - 579]
- Kimura Y, 1965. Resistance to malathion in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 9: 251 - 258.
- Kisimoto R, 1989. Flexible diapause response to photoperiod of a laboratory selected line in the small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén. *Journal of Applied Entomology and Zoology*, 24: 157 - 159.
- Lin FG, Zhao Y, Chou GC, Wang QQ, Wang YG, Chen XS, 2006. Controlling effects of endosulfan and other insecticides on small brown planthopper in wheat. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 3: 86 - 88. [林付根, 赵阳, 仇广灿, 王清泉, 王玉国, 成晓松, 2006. 35% 赛丹 EC 等药剂防治小麦田灰飞虱的效果. 江苏农业科学, 3: 86 - 88]
- Lin YW, Lin MZ, Shen JL, 2004. Rearing and susceptibility to four insecticides of the small brown planthopper. *Chinese Journal of Pesticides*, 43(11): 520 - 521. [林友伟, 林美珍, 沈晋良, 2004. 灰

- 飞虱的饲养及其对 4 种药剂的敏感性测定. 农药, 43(11): 520 - 521]
- Liu KL, He L, Wang JJ, Zhao ZM, 2007. Advances in the research on the pest resistance to avermectins. *Chinese Bulletin of Entomology*, 44(2): 194 - 200. [刘开林, 何林, 王进军, 赵志模, 2007. 害虫及害螨对阿维菌素抗药性研究进展. 昆虫知识, 44(2): 194 - 200]
- Recep AY, 2005. Determination of susceptibility and resistance of some greenhouse populations of *Tetranychus urticae* Koch to chlorpyrifos (Dursban 4) by the petri dish-Potter tower method. *Journal of Pest Science*, 78: 139 - 143.
- Ribeiro BM, Guedes RNC, Oliveira EE, Santos JP, 2003. Insecticide resistance and synergism in Brazilian populations of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Stored Products Research*, 39: 21 - 31.
- Shen JL, Tan JG, Xiao B, Tan FJ, You ZP, 1991. Monitoring and forecasting of pyrethroids resistance of *Heliethis armigera* (Hübner) in China. *Entomological Knowledge*, 28(6): 337 - 340. [沈晋良, 谭建国, 肖斌, 谭福杰, 尤子平, 1991. 我国棉铃虫对拟除虫菊酯类农药的抗性监测及预报. 昆虫知识, 28(6): 337 - 340]
- Sone S, Hattori Y, Tsuboi S, Otsu Y, 1995. Difference in susceptibility to imidacloprid of the populations of small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* Fallén, from various localities in Japan. *Journal of Pesticide Science*, 20: 541 - 543.
- Sun CL, Lu XF, Meng AZ, Peng XL, 2005. Preliminary result of efficacy for different insecticides to control *Laodelphax striatellus*. *Shanghai Agricultural Science and Technology*, 4: 109 - 110. [孙春来, 陆晓峰, 孟爱中, 贲秀兰, 2005. 不同药剂防治灰飞虱试验简报. 上海农业科技, 4: 109 - 110]
- Torres-Vila LM, Rodríguez-Molina MC, Lacasa-Plasencia A, Bielza-Lino P, 2002. Insecticide resistance of *Helicoverpa armigera* to endosulfan, carbamates and organophosphates: the Spanish case. *Crop Protection*, 21: 1 003 - 1 013.
- Wang KY, Jiang XY, Yi MQ, Chen BK, 2001. Studies of resistance change and management strategy of *Spodoptera exigua*. *Chinese Journal of Pesticides*, 40: 29 - 32. [王开运, 姜兴印, 仪美芹, 陈丙坤, 2001. 甜菜夜蛾的抗药性变化及治理对策的研究. 农药, 40: 29 - 32]
- Xia HX, Liu WX, Lu CH, Bian ZJ, 2006. Preliminary result of efficacy for several kinds of insecticides to control *Laodelphax striatellus* (Fallén). *Modern Agrochemicals*, 5(2): 53 - 54. [夏华兴, 刘维新, 吕迟华, 卞中杰, 2006. 几种药剂混用防治灰飞虱药效试验初报. 现代农药, 5(2): 53 - 54]
- Xie LH, Wei TY, Lin HX, Wu ZJ, Li QY, 2001. Advances in molecular biology of rice stripe virus. *Journal of Fujian Agricultural University*, 30: 269 - 279. [谢联辉, 魏太云, 林含新, 吴祖建, 林奇英, 2001. 水稻条纹病毒的分子生物学. 福建农业大学学报, 30: 269 - 279]
- Xu GC, Gu ZY, Yang YQ, Xu DJ, Xu XL, Shi WS, 2008. Progress in research on risks of pesticide fipronil and its application. *Modern Agrochemicals*, 7(2): 1 - 5. [徐广春, 顾中言, 杨玉清, 徐德进, 许小龙, 石伟山, 2008. 氟虫腈的应用和风险研究进展. 现代农药, 7(2): 1 - 5]
- Zhu LF, Fu HX, Jing WF, Tan WH, Yang XL, Tan CY, 2006. Effect of chemical pesticides on controlling *Laodelphax striatellus* in different periods. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2: 62 - 64. [朱龙粉, 傅华欣, 荆卫锋, 谈文华, 杨小龙, 谈春燕, 2006. 不同生育阶段及不同虫量化学防治灰飞虱效果与策略. 江苏农业科学, 2: 62 - 64]

(责任编辑: 赵利辉)