# 不同药剂对褐飞虱作用特性的比较*

郭慧芳** 方继朝 刘宝生 王利华

(江苏省农业科学院植物保护研究所 南京 210014)

**摘 要** 为高效和合理利用化学药剂防治褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål),采用浸苗法和喷雾法测定了噻虫嗪、烯啶虫胺、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、氯噻啉和乙虫腈5种药剂对褐飞虱的作用活性和速度,同时还比较了噻虫嗪和烯啶虫胺对褐飞虱不同龄期若虫的作用活性。结果表明,在5种供试药剂中,从作用活性来看,无论是用浸苗法还是喷雾法处理,烯啶虫胺活性均最高,对褐飞虱3龄若虫的 $LC_{50}$ 分别为0.41和0.26 mg/L,氯噻啉的活性则最低。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、氯噻啉和噻虫嗪用喷雾法处理时的活性均显著高于用浸苗法处理时的活性;烯啶虫胺和乙虫腈在2种处理方式下的活性没有明显差异。从作用速度来看,喷雾法处理时,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙虫腈和氯噻啉杀虫速度均快于烯啶虫胺和噻虫嗪。噻虫嗪和烯啶虫胺对褐飞虱各个龄期若虫都表现出较理想的活性,对5龄若虫的 $LC_{50}$ 值分别是1龄若虫的7.4和9.7倍。

**关键词** 褐飞虱,烯啶虫胺,噻虫嗪,杀虫活性,杀虫速度

# Comparison of the effectiveness of different insecticides against *Nilaparvata lugens*

GUO Hui-Fang** FANG Ji-Chao LIU Bao-Sheng WANG Li-Hua

(Institute of Plant Protection, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract** The effectiveness of different insecticides, including thiamethoxam, nitenpyram, methylamino-avermectin, imidaclothiz and ethiprole, against the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), was investigated. Lethal concentration and time were determined after seedling-dipping and spraying treatments. Based on dose-mortality responses, nitenpyram showed the highest insecticidical activity against 3rd instar nymphs of all the insecticides tested with $LC_{50}$ values for seedling-dipping and spray treatments of 0.41 mg/L and 0.26 mg/L, respectively. Imidaclothiz was the least effective insecticide tested. Differences in the performance of the same insecticides between seedling-dipping and spraying treatments were found in methylamino-avermectin, imidaclothiz and thiamethoxam. The killing speed of sprayed methylamino-avermectin, ethiprole and imidaclothiz was significantly higher than that of thiamethoxam and nitenpyram. All instars of the brown planthopper were sensitive to thiamethoxam and nitenpyram, the insecticidical activity ratio of the $LC_{50}$s of 1st and 5th instar nymphs were 7.4 and 9.7, respectively.

**Key words** *Nilaparvata lugens*, nitenpyram, thiamethoxam, insecticidal activity, killing speed

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) (BPH) 是水稻上重要的迁飞性害虫。自20世纪70年代以来,褐飞虱成为我国及亚洲其它国家水稻生产的头等威胁。20世纪90年代中期以后,由于吡虫啉的大面积推广,其高效和长效特性使得褐飞虱的暴发风险大幅降低(孙建中等,1996)。然而,在2005年和2006年,褐飞虱连续2年在我国长江流域及其以南稻区大面积暴发,再次对水稻安全生产构成严重威胁。褐飞虱再次暴发的主导因子之一是害虫对吡虫啉产生了很高抗性。由于长期单一依赖吡虫啉,褐飞虱的抗性发生在所难免,已发现苏、浙、皖多个地区大田种群对吡虫啉的抗性达高水平至极高水平抗性(王彦华等,2008b,2009;凌炎等,2009;刘叙杆等,2010)。当

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200803003)。

** 通讯作者,E-mail: guohf@jaas.ac.cn

收稿日期:2011-08-18,接受日期:2011-08-22

前，药剂防治仍是褐飞虱应急防控的主要手段之一，防治用药选准与否，直接关系到防控的成败。在吡虫啉防效下降以及锐劲特已在我国禁用后，了解当前生产上推荐化学药剂对褐飞虱的作用特性更为迫切。

为筛选防治褐飞虱的替代药剂，王彦华等(2008a)于2005—2006年采用稻茎浸渍法测定了6类20余种杀虫剂对广西南宁、桂林，湖南常德和江苏南京褐飞虱种群的室内毒力，发现噻嗪酮、噻虫嗪、烯啶虫胺、毒死蜱、异丙威、猛杀威、丁硫克百威等药剂可作为替代高毒药剂的候选品种。目前，噻虫嗪、烯啶虫胺、氯噻啉、乙虫腈等均是生产上防治褐飞虱的推荐药剂，为进一步高效合理选用这些药剂，本文室内比较它们对褐飞虱的作用特性。通过选用烯啶虫胺等药剂的常用制剂，以喷雾法和浸苗法处理比较药剂对褐飞虱的作用活性和作用速度，以及药剂对不同龄期褐飞虱作用活性，以明确不同药剂作用活性和特性的差异。研究结果对于提升褐飞虱高效安全化学防控水平具有一定指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验药剂

25%噻虫嗪水分散粒剂(先正达公司)；10%烯啶虫胺可溶性液剂(南通江山农药化工股份有限公司)；1.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐微乳剂(上海悦联化工有限公司)；10%氯噻啉WP(南通江山农药化工股份有限公司)和10%乙虫腈悬浮剂(拜耳公司)。

### 1.2 试验对象

褐飞虱若虫，2007年采集南京地区田间褐飞虱，以稻苗为饲料室内饲养5代后龄期一致的若虫用于试验，所用水稻品种为武育粳3号，饲养温度为25～28℃。

### 1.3 试验方法

分别采用浸苗法和喷雾法测定了药剂对褐飞虱的作用活性和作用速度，用浸苗法了比较了药剂对不同龄期若虫的活性。2种方法的测定过程分述如下：

浸苗法：将各药剂配成系列浓度，培养7 d左右的武育粳3号稻苗浸入药液2 s后取出，每杯内放5株小苗，晾干后置于一次性塑料杯中，杯底垫有已喷洒清水的吸水纸以保湿，再在其中接入龄期一致的试虫，各接入10头龄期和大小一致的褐飞虱若虫，每浓度处理重复4次(杯)，以清水处理作空白对照。

喷雾法：培养7 d左右的武育粳3号稻苗放入一次性杯中，每杯内放5株小苗，杯底垫有已喷洒清水的吸水纸以保湿，接入10头大小一致的褐飞虱3龄若虫，将各药剂配成系列浓度，用小型手动喷雾器对杯内有虫苗进行喷雾，每杯喷2 mL药液，每浓度处理重复4次(杯)，以清水处理作空白对照。

实验在(28±1)℃条件下进行。试验后24 h开始调查死亡虫量，此后每24 h调查一次，共查5次，最后统计各浓度处理的总死亡虫数以及单位时间内死亡虫数，应用DPS软件计算毒力回归方程、$LC_{50}$、$LC_{95}$和平均死亡时间。

### 1.4 数据处理与分析

根据观察记录的不同浓度处理以及空白对照组褐飞虱120 h内死亡数，应用DPS软件计算毒力回归方程、$LC_{50}$和$LC_{95}$。根据各药剂高剂量下褐飞虱每日死亡数，获得每头死亡虫的死亡时间，应用DPS软件计算害虫的的平均死亡时间，并采用Tukey's法进行差异显著性统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同药剂对褐飞虱若虫作用活性的比较

浸苗法下烯啶虫胺、噻虫嗪等5种药剂对褐飞虱3龄若虫的作用活性(表1)结果表明，5种药剂中烯啶虫胺对褐飞虱的作用活性最高，对3龄若虫的$LC_{50}$仅为0.41 mg/L，显著高于其它4种药剂的作用活性，其次分别为噻虫嗪、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙虫腈和氯噻啉，氯噻啉对褐飞虱3龄若虫的$LC_{50}$为59.47 mg/L，显著低于其它4种药剂的作用活性。喷雾法测定时，仍以烯啶虫胺对褐飞虱3龄若虫的活性最高，除与甲氨基阿维菌素苯甲酸盐活性无显著差异外，显著高于其它3种药剂，其次则分别为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、噻虫嗪、乙虫腈和氯噻啉，这当中，噻虫嗪的活性又显著高于乙虫腈和氯噻啉，后两者之间无显著差异(表1)。

表 1　不同药剂对褐飞虱 3 龄若虫的杀虫活性

Table 1　Biological activity of different insecticides against 3rd instar nymphs of BPH

| 处理 Treatment | 药剂 Insecticides | 斜率(±标准误) Slope (±SE) | 卡方值 $\chi^2$ | $P$ 值 $P$ value | $LC_{50}$(95% CL) (mg/L) | $LC_{95}$(95% CL) (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 浸苗法 Seedling-dipping Method | 烯啶虫胺 Nitenpyram | 4.65 (±0.36) | 0.32 | 0.96 | 0.41 (0.35 – 0.47) | 0.93 (0.76 – 1.25) |
| | 噻虫嗪 Thiamethoxam | 2.68 (±0.36) | 5.86 | 0.12 | 5.67 (4.17 – 7.48) | 23.30 (15.31 – 52.30) |
| | 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Methylamino-avermectin | 1.15 (±0.20) | 4.84 | 0.44 | 6.32 (4.73 – 7.84) | 172.35 (57.88 – 1504.97) |
| | 乙虫腈 Ethiprole | 1.45 (±0.23) | 2.09 | 0.72 | 12.87 (8.7 – 18.07) | 176.36 (90.25 – 599.06) |
| | 氯噻啉 Imidaclothiz | 1.80 (±0.33) | 4.20 | 0.38 | 59.47(42.42 – 103.54) | 489.12 (221.04 – 2483.50) |
| 喷雾法 Spraying method | 烯啶虫胺 Nitenpyram | 3.83 (±0.37) | 9.28 | 0.05 | 0.26 (0.21 – 0.37) | 0.70 (0.46 – 1.62) |
| | 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Methylamino-avermectin | 1.10 (±0.22) | 0.67 | 0.96 | 0.50 (0.31 – 0.80) | 15.56 (5.55 – 154.32) |
| | 噻虫嗪 Thiamethoxam | 2.95 (±0.45) | 1.09 | 0.78 | 0.64 (0.51 – 0.79) | 2.30 (1.62 – 4.22) |
| | 乙虫腈 Ethiprole | 1.45 (±0.34) | 1.49 | 0.68 | 5.67 (3.61 – 15.38) | 77.24 (23.43 – 2513.03) |
| | 氯噻啉 Imidaclothiz | 1.22 (±0.37) | 2.07 | 0.56 | 7.85 (4.33 – 48.40) | 175.36 (34.47 – 83750.02) |

### 2.2　不同药剂对褐飞虱若虫作用速度的比较

对 5 种药剂在浸苗法和喷雾法 2 种处理方式下对褐飞虱 3 龄若虫的杀虫速度的研究表明(表 2),在对害虫的致死率≥85% 的高致死浓度下,不同药剂在同种处理方式下对褐飞虱的作用速度存在差异,同种药剂在不同处理方式下亦对褐飞虱的作用速度存在差异。浸苗法处理时,1.25 mg/L 烯啶虫胺对褐飞虱的平均致死时间为 3.4 d,显著短于 160 mg/L 氯噻啉对害虫的致死时间(4.5 d);10 mg/L 噻虫嗪、80 mg/L 乙虫腈和 24 mg/L 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对害虫的致死时间无显著差异,与烯啶虫胺间也没有差异。喷雾法处理时,以乙虫腈对褐飞虱的作用速度最快,20 mg/L 乙虫腈对褐飞虱的平均致死时间为 1.6 d,显著短于 0.63 mg/L 烯啶虫胺和 2.5 mg/L 噻虫嗪对害虫的致死速度,而与 3 mg/L 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和 40 mg/L 氯噻啉的作用速度无显著差异;烯啶虫胺和噻虫嗪对害虫的致死速度无显著差异。

比较喷雾法和浸苗法这 2 种处理方式对药剂杀虫速度的影响,可看出不同药剂对处理方式的

表 2　不同药剂对褐飞虱 3 龄若虫的杀虫速度

Table 2　Killing speed of different insecticides to 3rd instar nymphs of BPH

| 处理 Treatment | 药剂 Insecticides | 浓度(mg/L) Concentration | 死亡率(%) Mortality | 平均死亡时间 (d) Mean time to death (d) |
|---|---|---|---|---|
| 浸苗法 Seedling-dipping method | 烯啶虫胺 Nitenpyram | 1.25 | 95.0 | 3.4 ± 10 bc |
| | 噻虫嗪 Thiamethoxam | 10.00 | 90.0 | 3.6 ± 1.5 ab |
| | 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Methylamino-avermectin | 24.00 | 85.0 | 3.9 ± 1.4 ab |
| | 乙虫腈 Ethiprole | 80.00 | 87.5 | 3.7 ± 1.3 ab |
| | 氯噻啉 Imidaclothiz | 160.00 | 87.5 | 4.5 ± 1.0 a |
| 喷雾法 Spraying method | 烯啶虫胺 Nitenpyram | 0.63 | 97.5 | 3.9 ± 1.2 ab |
| | 噻虫嗪 Thiamethoxam | 2.50 | 95.0 | 3.7 ± 1.0 ab |
| | 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 Methylamino-avermectin | 3.00 | 85.0 | 1.9 ± 1.4 d |
| | 乙虫腈 Ethiprole | 20.00 | 90.0 | 1.6 ± 1.2 d |
| | 氯噻啉 Imidaclothiz | 40.00 | 85.0 | 2.4 ± 1.6 cd |

注: 数值后不同小写字母表示其在 5% 显著水平上的差异。

Datas followed by different lower case letters indicate significant difference at 0.05 level.

反应存在差异，烯啶虫胺和噻虫嗪在分别用喷雾法和浸苗法处理害虫时，它们对褐飞虱的平均致死时间均无显著差异，而甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、乙虫腈和氯噻啉在用不同方式处理时，均表现出了喷雾法处理时对害虫的致死速度显著高于浸苗法处理时的速度。

### 2.3 同种药剂对不同龄期褐飞虱若虫的作用活性

采用浸苗法测定了噻虫嗪和烯啶虫胺对褐飞虱 5 个龄期若虫的作用活性(表 3)结果表明，2 种药剂对 5 个龄期若虫均表现出了较高的活性。从对不同龄期的 $LC_{50}$ 值比较来看，噻虫嗪对 5 龄若虫的活性显著低于对其它 4 个龄期的活性，对 1 龄若虫的相对毒力是对 5 龄若虫的 7.35 倍，对 4 龄若虫的活性显著低于对 1 龄若虫的活性，对 1 龄和 2 龄间的活性无明显差异。烯啶虫胺对 5 龄和 4 龄若虫的活性均明显低于 1 ~ 3 龄若虫，药剂对 1、2 和 3 龄若虫的活性无明显差异。

表 3 药剂对褐飞虱不同龄期若虫的杀虫活性比较

Table 3 Biological activity of insecticides to different instar nymphs of BPH

| 药剂 Insecticides | 龄期 Instar | 斜率(±标准误) Slope (±SE) | 卡方值 $\chi^2$ | *P* 值 *P* value | $LC_{50}$(95% CL)(mg/L) | $LC_{95}$(95% CL)(mg/L) | LC50 比 Ratio of $LC_{50}$ value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 噻虫嗪 Thiamethoxam | 1 | 2.08 (±0.35) | 1.15 | 0.89 | 1.66 (1.21 – 2.80) | 10.22 (5.05 – 40.11) | 7.35 |
| | 2 | 1.91 (±0.28) | 4.00 | 0.41 | 2.72 (2.05 – 4.03) | 19.68 (10.53 – 58.26) | 4.48 |
| | 3 | 2.68 (±0.36) | 5.86 | 0.12 | 5.67 (4.17 – 7.48) | 23.30 (15.31 – 52.30) | 2.15 |
| | 4 | 1.96 (±0.26) | 5.49 | 0.36 | 4.00 (2.96 – 5.24) | 27.64 (17.97 – 54.84) | 3.05 |
| | 5 | 2.08 (±0.23) | 2.88 | 0.72 | 12.20 (9.76 – 15.94) | 75.12 (47.84 – 148.29) | 1.00 |
| 烯啶虫胺 Nitenpyram | 1 | 2.14 (±0.35) | 5.11 | 0.28 | 0.26 (0.19 – 0.39) | 1.51 (0.81 – 4.85) | 9.69 |
| | 2 | 1.92 (±0.25) | 7.43 | 0.11 | 0.31 (0.24 – 0.40) | 2.21 (1.39 – 4.66) | 8.13 |
| | 3 | 4.65 (±0.36) | 0.32 | 0.96 | 0.41 (0.35 – 0.47) | 0.93 (0.76 – 1.25) | 6.15 |
| | 4 | 2.59 (±0.40) | 4.83 | 0.19 | 1.67 (1.21 – 2.12) | 7.20 (5.21 – 12.36) | 1.51 |
| | 5 | 2.43 (±0.31) | 3.95 | 0.27 | 2.52 (1.99 – 3.09) | 11.97 (8.68 – 19.64) | 1.00 |

注：$LC_{50}$ 比 = 同种药剂对 5 龄若虫的 $LC_{50}$ / 对其它龄若虫的 $LC_{50}$。

Ratio of $LC_{50}$ value refers to the ratio of $LC_{50}$ of one insecticide on 5th instar nymphae to that of the same insecticide on other instar nymphae.

## 3 讨论

作为一种迁飞性的害虫，褐飞虱的高效应急控制在很大程度上依赖高效低毒化学农药。烟碱类杀虫剂吡虫啉曾因其高效和持效以及低毒等特性而使生产上褐飞虱的防治较容易掌控。在褐飞虱对吡虫啉产生高水平抗性导致田间防效显著下降后，人们对如何选择有效药剂防治褐飞虱再度重视起来。本文比较了包括 3 种新烟碱类农药在内的 5 种药剂对褐飞虱的作用特性，再结合一些已有的研究报道，由此评价其在褐飞虱防治上的应用前景。

烯啶虫胺属烟酰亚胺类杀虫剂，是由日本武田公司开发的一类新烟碱类杀虫剂，具有高效和残效期长等特点，对刺吸式口器害虫具有优异的防效。在本研究中，烯啶虫胺对褐飞虱表现出最优异的活性，无论是用喷雾法还是浸苗法处理，其对害虫的活性均最高。这与前人的报道(王彦华等，2008a)一致。本研究还表明，烯啶虫胺对褐飞虱 5 个龄期的若虫均表现出理想的活性。再结合高抗吡虫啉褐飞虱种群对烯啶虫胺无明显交互抗性(王彦华等，2008a)和田间效果的报道(程勤海等，2008；束兆林，2010)，进一步说明烯啶虫胺可作为当前褐飞虱防治的理想替代药剂，值得推荐。但研究也发现烯啶虫胺对褐飞虱的作用速度较慢。因而，在害虫特大发生时，要注意与速效性药剂混用。另已发现少数地区褐飞虱对烯啶虫胺的敏感性下降(刘叙杆等，2010)。田间应用时要避免高频次施用烯啶虫胺，以防害虫抗药性的迅速产生。

噻虫嗪是先正达公司推出的一种具有独特结构和优良杀虫活性的新型新烟碱类化合物，该杀虫剂分子结构中引入了氯代噻唑结构，是第 2 代新烟碱类化合物的代表品种(Maienfisch

*et al.*, 2001)。在褐飞虱对吡虫啉产生高抗水平后,噻虫嗪作为防治褐飞虱的替代药剂受到重视。本研究生测结果表明,噻虫嗪在用喷雾法处理时对褐飞虱有理想的活性。噻虫嗪除对褐飞虱低龄若虫表现出优异的活性外,对褐飞虱高龄期虫也表现出较好的活性。噻虫嗪的作用机理与吡虫啉等类似,作用靶标是害虫烟碱乙酰胆碱受体(Bai *et al.*, 1991),而褐飞虱对吡虫啉产生抗性的机理就是乙酰胆碱受体产生突变(Liu *et al.*,2003,2005)。已在部分地区发现了褐飞虱对噻虫嗪产生低水平抗性(刘叙杆等,2010)。因此,生产上要特别注意将噻虫嗪与其它非烟碱类杀虫剂轮用或混用。

氯噻啉是由南通江山公司研发的一种噻唑杂环类的新烟碱类杀虫剂。本文结果表明,氯噻啉对褐飞虱的生物活性要低于同为新烟碱类的烯啶虫胺和噻虫嗪。这也与王彦华等(2008a)的测定结果一致,他们的研究还表明,褐飞虱对吡虫啉和氯噻啉有交互抗性。因此,同烯啶虫胺和噻虫嗪相比,氯噻啉作为褐飞虱防治药剂的优势不明显。

乙虫腈是拜耳公司开发的一种新型苯基吡唑类杀虫剂,属于第 2 代作用于 γ-氨基丁酸受体的杀虫剂。在氟虫腈禁用后,乙虫腈被寄予厚望,期望其替代氟虫腈,在重大害虫的控制中发挥作用。本研究发现,乙虫腈对褐飞虱的活性显著低于烯啶虫胺和噻虫嗪,但作用速度快于它们。田间试验表明,乙虫腈对褐飞虱表现出较好的控制效果(谭乾开等,2009)。因此,乙虫腈可与烯啶虫胺等交替使用,用于控制褐飞虱。

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐是由阿维菌素发展而来的一种杀虫杀螨剂,同阿维菌素相比,其增加了对鳞翅目害虫的活性,并且其对刺吸式口器害虫的毒力也显著提高(毕富春和徐风波,2002)。当前生产上更多的是推荐该药用于防治稻纵卷叶螟等鳞翅目害虫,由于水稻生产上螟虫和飞虱等害虫常混合发生,因此有必要评价甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对褐飞虱的作用特性。研究发现,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在喷雾处理时对褐飞虱表现出较高的活性。因此,该药剂可在生产上用于兼治飞虱和螟虫,但应用时要特别注意其对水生生物的毒性。

## 参考文献(References)


Bai DL, Lummis SCR, Leicht W, Breer H, Sattelle DB, 1991. Actions of imidacloprid and a related nitromethylene on cholinergic receptors of an identified insect motor neurone. *Pestic. Sci.*, 33(2): 197—204.

毕富春, 徐风波, 2002. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐苯甲酸盐研究概述. 农药科学与管理, 23(3): 31—33.

程勤海, 马利萍, 陆志杰, 董伟明, 陈国祥, 姚士桐, 2008. 几种新烟碱类杀虫剂对褐飞虱的防效及用药技术研究. 农药研究与应用, 12(3): 26—27.

凌炎, 周国辉, 范桂霞, 黄所生, 黄凤宽, 龙丽萍, 2009. 褐飞虱对吡虫啉、噻嗪酮和氟虫腈的抗性监测. 植物保护, 35(1): 104—107.

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, Han ZJ, Wang YC, Zhang LC, Zhang HW, Liu CJ, 2003. Selection for imidacloprid resistance in *Nilaparvata lugens*: cross-resistance patterns and possible mechanisms. *Pest Manag. Sci.*, 59(12): 1355—1359.

Liu ZW, Williamson MS, Lansdell SJ, Denholm I, Han ZJ, Millar NS, 2005. A nicotinic acetylcholine receptor mutation conferring target-site resistance to imidacloprid in *Nilaparvata lugens* (brown planthopper). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102(24): 8420—8425.

Maienfisch P, Huerlimann H, Rindlisbacher A, Gsell L, Dettwiler H, Haettenchwiler J, Sieger E, Walti M, 2001. The discovery of thiamethoxam: a second-generation neonicotinoid. *Pestic. Sci.*, 57(2): 165—176.

束兆林, 孙庭东, 张芳, 缪康, 赵来成, 2010. 烯啶虫胺对水稻褐飞虱田间控制效果. 江西农业学报, 22(9): 89—90.

孙建中, 方继朝, 夏礼如, 杨金生, 沈雪生, 1996. 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, 39(1): 37—45.

谭乾开, 李水源, 陈健章, 谭卫娜, 廖昌庆, 2009. 乙虫腈防治稻飞虱药效试验. 广东农业科学, (3): 113—117.

王彦华, 苍涛, 赵学平, 吴长兴, 陈丽萍, 俞瑞鲜, 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.

王彦华, 陈进, 沈晋良, 高聪芬, 黄悦, 张久双, 李文红, 周威君, 2008a. 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, 22(5): 519—526.

王彦华, 李永平, 陈进, 沈晋良, 李文红, 高聪芬, 庄永林, 戴德江, 周威君, 梁桂梅, 邵振润, 2008b. 褐飞虱对吡虫啉敏感性的时空变化及现实遗传力. 中国水稻科学, 22(4): 421—426.