

## 吡蚜酮剂型和用量对稻飞虱的防控效果和经济效益评价

吴国强<sup>1,2</sup>, 谢国雄<sup>2</sup>, 朱晓群<sup>3</sup>, 郑能文<sup>4</sup>, 汪恩国<sup>5</sup>, 施 德<sup>6</sup>, 祝增荣<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> 浙江大学 农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310058; <sup>2</sup> 杭州市植保土肥总站, 浙江 杭州 310020; <sup>3</sup> 海盐县植保站, 浙江 海盐 314300; <sup>4</sup> 金华市婺城区植保站, 浙江 金华 321000; <sup>5</sup> 临海市植保站, 浙江 临海 317000; <sup>6</sup> 浙江省植物保护检疫局, 浙江 杭州 310020)

**摘 要:** 在海盐、临海和金华三地的田间试验评估了 50% 吡蚜酮 WG 水分散粒剂对灰飞虱、白背飞虱和褐飞虱的田间防控效果, 并用基于经济阈值的稻飞虱化学防治简易判别规则分析经济效益、选择最佳剂量。穗期灰飞虱的试验显示, 田间使用 75 g a. i. · hm<sup>-2</sup> 水分散粒剂 (WG) 与相同剂量的悬乳剂 (SE) 防效相当; 用 50% 吡蚜酮水分散粒剂 75.0, 112.5 g a. i. · hm<sup>-2</sup> 处理对稻飞虱药后 1 ~ 21 d 的防效分别达 60% ~ 97%; 两浓度处理对以褐飞虱为主的稻飞虱药后 4 ~ 21 d 的防效也分别达 77% ~ 98%, 均符合 Logistic 方程, 最终防效达到 98%; 2 个浓度处理均对稻飞虱有良好的速效性和控制效果, 持效期可达 21 d 左右。根据基于经济阈值的稻飞虱化学防治简易判别规则分析经济效益表明, 防治粳稻灰飞虱、籼稻和粳稻中期的灰飞虱、白背飞虱和褐飞虱均以 50% 吡蚜酮水分散粒剂 75 g a. i. · hm<sup>-2</sup> 为最佳选择。

**关键词:** 吡蚜酮; 稻飞虱; 经济阈值模型; 化学防治

中图分类号: S 482

文献标志码: A

文章编号: 1004-1524(2013)04-0808-06

### Efficacy and economic analysis of formulation and dosage of pymetrozine in controlling rice planthoppers

WU Guo-qiang<sup>1,2</sup>, XIE Guo-xiong<sup>2</sup>, ZHU Xiao-qun<sup>3</sup>, ZHENG Neng-wen<sup>4</sup>, WANG En-guo<sup>5</sup>, SHI De<sup>6</sup>, ZHU Zeng-rong<sup>1,\*</sup>

(<sup>1</sup> College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; <sup>2</sup> Hangzhou General Station of Plant Protection and Fertilization, Hangzhou 310020, China; <sup>3</sup> Haiyan County Station of Plant Protection, Haiyan 314300, China; <sup>4</sup> Wucheng District Plant Protection Station, Jinhua 321000, China; <sup>5</sup> Linhai City Plant Protection Station, Linhai 317000, China; <sup>6</sup> Zhejiang Provincial Bureau of Plant Protection and Quarantine, Hangzhou 310020, China)

**Abstract:** Field experiments in three sites in Zhejiang province were carried out for evaluation of efficacy and economic efficiency of formulation and dosage of pymetrozine in controlling rice planthoppers, by economic threshold model-based simple judgment rule of chemical control. Wettable granule (WG) of pymetrozine was as effective as suspension emulsion (SE) with the same rate of 75 g a. i. · hm<sup>-2</sup> in controlling the small brown planthopper (SBPH), *Laodelphax striatellus*, in rice panicle. Rates of 75 g a. i. · hm<sup>-2</sup> and 112.5 g a. i. · hm<sup>-2</sup> of 50% pymetrozine WG had efficacies of 60% - 97% from 1 to 21 days after treatment (DAT) for controlling SBPH and the white-

收稿日期: 2012-11-01

基金项目: 973 项目(2010CB126200); 支撑项目(2012BAD19B01); 公益性农业行业项目(201003031)

作者简介: 吴国强(1977—), 男, 浙江义乌人, 主要从事植物保护研究与推广。

\* 通讯作者, 祝增荣, E-mail: zrzhu@zju.edu.cn

backed planthopper, *Sogatella furcifera*, in mid-season of rice growth. Same rates of 50% pymetrozine WG obtained the efficacies of 77% – 98% for the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, from 4 to 21 DAT. The trends of control efficacies for the three planthoppers species in the two experimental sites were similar and could be well-fitted by Logistic models against DAT and reached the final maximum value of 98%, suggesting both the rates of the WG formulation of pymetrozine have fast and sustainable controlling effect for at least 21 days. The economic threshold model-based simple judgment rule of chemical control indicated that 50% pymetrozine WG in a rate of 75 g a. i. · hm<sup>-2</sup> is the optimal selection in control of the three species of rice planthoppers in both *japonica* rice and *indica* hybrid rice.

**Key words:** pymetrozine; rice planthopper; economic threshold model; chemical control

吡蚜酮(pymetrozine)是一种新型的吡啶类内吸性杀虫剂,近年来由于其独特的毒理学特性以及优异的防治效果引起了国内外的广泛关注。吡蚜酮是原瑞士诺华公司(现为瑞士先正达作物保护有限公司)于1988年成功开发的新颖吡啶杂环类杀虫剂,具有高效、低毒、高选择性、对环境友好等特点;对为害水稻、蔬菜、棉花、小麦、果树等作物的蚜虫、飞虱、叶蝉、粉虱和椿象等刺吸式口器害虫有特效。2008年起该品种被全国农业技术推广中心列为高毒农药替代试验示范品种之一<sup>[1]</sup>。吡蚜酮通过专一性阻断昆虫从韧皮部取食营养物质的摄取(feeding)行为,使受害害虫立即停止韧皮部取食。虽然受害害虫仍能吸食(drinking)木质部的水分和少量矿物质<sup>[2]</sup>,且还可运动,但因其对受药植物已产生不可逆转的拒食作用最后死于饥饿。这种作用方式是一种全新的神经活性毒理机制,可作用于神经系统以及通过刺激自发电位和蠕动而作用于前肠。这些刺吸式害虫有许多可传植物病毒,因此吡蚜酮还具有阻断昆虫传毒的功能。吡蚜酮在植物体内既能在木质部输导也能在韧皮部输导,因此既可用于叶面喷雾,也可用于土壤处理。这些良好的输导特性使得茎叶喷雾后新长出的枝叶也可以得到有效保护。由于这些作用机制与烟碱类的吡虫啉、几丁质合成抑制剂类的噻嗪酮、吡啶类的氟虫腈、有机磷类的毒死蜱等在作用方式和特性方面有独特的区别,吡蚜酮可以用来防治对吡虫啉等产生高度或极高度抗性的稻飞虱,因此有较广阔的应用前景。

灰飞虱、白背飞虱和褐飞虱是亚洲水稻、玉米和麦类等禾本科作物的重要害虫,并传播多种病毒病<sup>[3]</sup>。化学杀虫剂一直被作为防治稻飞虱的最主要手段,在稻飞虱与农药互作的几十年来,稻飞虱不断被筛选,已对不少杀虫剂产生了

高倍抗药性,迫使人们不断去改良杀虫剂类型和品种,并不断开展新的试验确定防治效果及其经济效益;而且,不少农药均含有有机溶剂,对稻田环境和水生生物有严重影响,改变这一现状的一项有效措施是采用新的剂型,并将环境友好作为判别选择农药类型的一个参考指标。

水分散剂作为新型的环保剂型日益受到农药厂商的重视,但针对这种含有不同有效成分的农药剂型的防治效果仍需要进行田间评估。杀虫剂使用效果的评价往往局限于校正防治效果上,由于防效只考虑相对杀虫率,没有考虑目标作物的经济效益,在价格、作物经济价值等因素的综合作用下,致使一些防效较高的杀虫剂并不能带来较高的经济效益,因此需要一种方法来综合判别杀虫剂的经济效益。

本研究为了明确新开发的50%吡蚜酮水分散粒剂WG防治水稻稻飞虱的药效、适宜剂量及持效性,采用基于经济阈值模型的决策分析方法简易综合判别各剂型和剂量的经济效益,为水稻主产区当稻飞虱种群需要防治时的使用提供重要依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验害虫

防治对象为稻飞虱,包括白背飞虱(*Sogatella furcifera* Horvath)、褐飞虱(*Nilaparvata lugens* Stål)和灰飞虱(*Laodelphax striatellus* Fallén)。

### 1.2 供试药剂

50%吡蚜酮水分散粒剂(water soluble granule, WG)(商品名顶峰),瑞士先正达作物保护有限公司;25%吡蚜酮悬乳剂(suspension emulsion, SE),江苏克胜集团股份有限公司。

### 1.3 吡蚜酮不同剂型对稻飞虱的防治效果比较

试验在海盐县于城镇韩永泉农户的直播单季晚粳稻田进行,水稻品种为秀水09,试验时水稻处于灌浆期,试验区栽培、管理条件一致,长势较好。试验设50%吡蚜酮水分散粒剂和25%吡蚜酮悬乳剂二种剂型,试验浓度均为75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>。以25%吡蚜酮悬乳剂75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>为对照药剂,以不施药为空白对照(CK),重复4次,共16个小区,每小区面积50 m<sup>2</sup>,随机区组排列。用背负式手动喷雾机(PB-16型手动喷雾器)均匀细喷雾。施药前调查穗部灰飞虱,施药后1,4,7,14,21 d各调查一次残留虫量,计算虫口减退率和校正防治效果。

### 1.4 吡蚜酮 WG 不同剂量对稻飞虱的防治效果

试验分别在浙江省临海市和金华市二地进行。

临海试验点:水稻品种为南粳46,处于拔节孕穗期,施药时间为2011年8月11日,施药时田间各种稻飞虱混合发生(其中白背飞虱93.2%,灰飞虱6.6%,褐飞虱0.2%),虫龄以卵孵高峰至低龄若虫盛期。

金华试验点:水稻品种为寒优湘晴,处于孕穗期。施药时间为2011年9月1日。施药时田间各种稻飞虱混合发生(其中褐飞虱43.6%,灰飞虱39.3%,白背飞虱17.2%),虫龄为低龄66.3%,高龄27.6%,成虫6.1%。

试验设50%吡蚜酮水分散粒剂75.0和112.5 g a. i. · hm<sup>-2</sup>二种剂量,以25%吡蚜酮悬乳剂75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>为对照药剂,以不施药为空白对照(CK),用水量为750 g · hm<sup>-2</sup>。试验设4个处理,3次重复,小区面积54.0~91.1 m<sup>2</sup>,小区按区组随机排列,并四周设保护行。按施药前调查田间稻飞虱基数,施药后1,4,7,14,21 d各调查一次残留虫量,计算虫口减退率和校正防治效果。

### 1.5 数据分析

校正防效(%) =  $\{1 - [(Pt_1 \times CK_0) / (Pt_0 \times CK_1)]\} \times 100$ , Pt<sub>0</sub>和Pt<sub>1</sub>分别为处理区药前和药后虫量,CK<sub>0</sub>和CK<sub>1</sub>分别为空白对照区药前和药后虫量。通过方差分析和多重比较不同药剂、不同剂型之间的防效差异显著性。校正防效(Y)与处理后天数(DAT)之间用Logistic回归方程来

拟合。

采用祝增荣等<sup>[3]</sup>建立的基于经济阈值模型的害虫化学防治简易判别规则来评价吡蚜酮的防控效果。可以根据不同品种、田块的不同期望产量、不同杀虫剂成本提出相应的精准使用技术。具体步骤如下:(1)从害虫防治的经济阈值模型推导药剂防治效果与成本比值 ECR (efficacy/cost ratio) =  $E/C = F/(Y \cdot P \cdot EIL)$

其中:经济允许水平 EIL (economic injury level) =  $C \cdot F / (Y \cdot E \cdot P)$ , C (cost) 为成本, F (factor) = 2; Y (Yield, kg · hm<sup>-2</sup>) 为产量; E (efficacy) 为防治效果; P (price of grain) 为稻谷价格。

可见 ECR 包含了制订 EIL 的主要因子,在 F = 2、确定了 EIL 为 3% 的前提下,根据防治行动开展时各田块的水稻长势,估计期望单产 Y; 根据官方公布的该季水稻该品种稻谷的收购价 P (元 · kg<sup>-1</sup>), 得出各田块的临界 ECR。(2) 记录农户购买的各种农药单价, 计算单位面积 (hm<sup>2</sup>) 各农药处理的成本, 包括农药用量费用、器械损耗和防治人工成本, 根据计算的施药后不同天数的校正防治效果, 并以 DPS 统计分析软件中的逐步回归模块, 确定入选自变量, 在发现剂量因子并不被纳入自变量因子后, 以一元非线性回归模块中的 Logistic 方程回归对校正防效 (Y) 与处理后天数 (DAT) 建模, 以最高防治效果 K 为最终防效计算 ECR 值。计算最终校正防治效果 K 与成本 C 的比值即实验 ECR =  $K/C$ 。(3) 求各处理的实验 ECR 值与上述临界值之差  $d = K/C - F / (Y \cdot P \cdot EIL)$ ,  $d > 0$  则经济效益为正, 否则为负, 不值得推荐使用; 若各处理的 d 均为正, 则 d 越大的处理经济效益越好。

## 2 结果与分析

### 2.1 吡蚜酮不同剂型对稻飞虱的防治效果

在相同有效成分用量 (75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>) 下, 50% 吡蚜酮水分散粒剂和 25% 吡蚜酮悬乳剂对穗期灰飞虱的种群动态和校正防治效果 (图 1) 基本一致, 处理后 3 d 灰飞虱密度显著下降, 且一直维持着下降趋势, 而空白对照和对照药剂 (噻嗪酮) 处理的则在 7 d 即回升, 噻嗪酮处理后灰飞虱种群动态曲线与对照的基本一致; 吡蚜酮两剂

型的校正防效在 14 d 上升至 80% 左右,20 d 后达到 90%,最终为 95% 左右,校正防效(Y)与处理后天数(DAT)之间可用 Logistic 回归方程拟合(图 1-B),两种剂型方程的各参数基本相似,因此就作用于目标生物的致死效果及其机理而言,两剂型没有显著差别。而噻嗪酮处理后的防效为 20% ~ 30%,20 d 甚至低于 0,27 d 回复至 30%,很不稳定(图 1-B)。

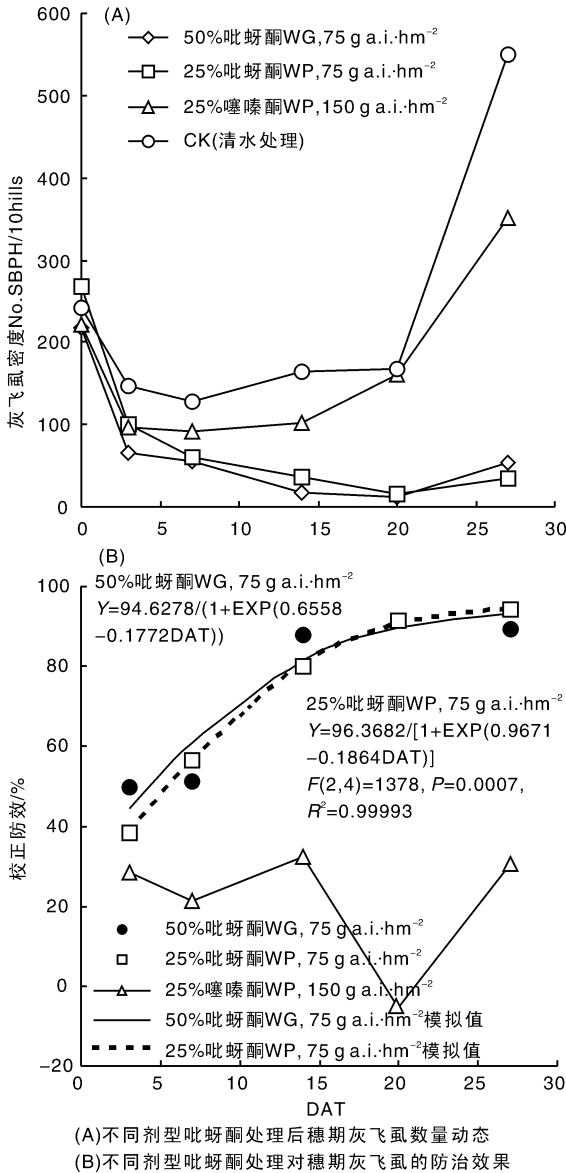


图 1 不同剂型吡蚜酮处理后穗期灰飞虱密度变化和防治效果

Fig.1 Population dynamics of the small brown planthopper *Laodelphax striatellus* in rice panicle and control efficacy after insecticide treatments

2.2 吡蚜酮 WG 不同剂量对稻飞虱的防治效果  
 临海试验点 50% 吡蚜酮水分散粒剂防治水稻飞虱的防效(图 2-A, B)结果显示,50% 吡蚜酮水分散粒剂在 75.0 和 112.5 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>两种剂量下药后 1,4,7,21 d 对水稻飞虱(白背飞虱和灰飞虱)的校正防效分别为 59.9% 和 50.7,89.7% 和 92.0%,97.5% 和 97.7%,97.3% 和 97.0%。

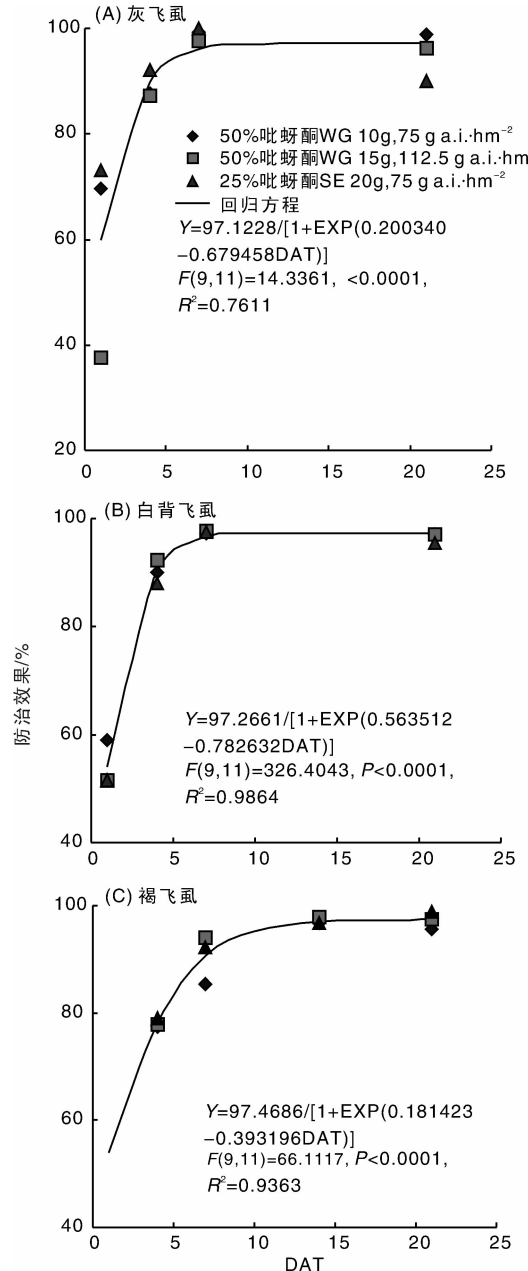


图 2 不同剂量吡蚜酮处理对 3 种稻飞虱的防治效果动态变化

Fig.2 Trends of control efficacy by insecticides on rice planthoppers

由此看出,50%吡蚜酮水分散粒剂 WG(75 ~ 215 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>)防治稻飞虱速效性较差,持效性好。50%吡蚜酮水分散粒剂在低剂量时防效已与对照药剂 25%吡蚜酮悬乳剂 SE 相似。各不同剂量的处理间差异不显著( $P > 0.05$ ),可见供试药剂在低剂量下已经基本达到预期防治效果,各剂量防效的平均值与施药后天数之间的关系可以用 Logistic 方程来拟合,并得到各自的最高防效  $K$  (图 2)。

金华试验点的结果见图 2-C。结果表明,药后 4 d,50%吡蚜酮 WG 75.0,112.5 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>对以褐飞虱为主的稻飞虱的防效分别为 77.3%,77.9%;药后 7 d,分别为 85.3%,94.0%,对照药剂 25%吡蚜酮 SE 75 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>的防效为 92.2%。药后 14 d,50%吡蚜酮 WG 75.0,112.5 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>防效分别为 96.7%,98.0%;药后 21 d,分别为 95.6%,97.4%。供试药剂 50%吡蚜酮 WG 速效性、持效性均较好,总体防效高,但是试验处理与对照药剂差异不显著( $P = 0.05$ ),两处理之间差异不显著;各剂量防效与施药后天数之间的关系

也可以用 Logistic 方程来拟合,各自的最高防效  $K$  在 97.1%~97.5%。

从图 2 可见,吡蚜酮对白背飞虱和灰飞虱的控制作用要快于对褐飞虱的作用,但最终防效均差异不显著, $K$  值基本为 97%。

### 2.3 经济效益评价

采用基于经济阈值模型的害虫化学防治简易判别规则,在针对同一目标害虫有多种化学防治选择时,选用 ECR 之差  $d$  最大者;当多种选择项的 ECR 一样大时,选择对环境影响小者。3 个试验中,2008 年海盐做的防治穗期灰飞虱时,50%吡蚜酮 WG(75 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>)和 25%吡蚜酮 WP(75 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>)的 ECR 之差  $d$  一样,应该选择对环境比较友好的前者;2011 年临海做的防治灰飞虱的 50%吡蚜酮 WG(75 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>)和 25%吡蚜酮 SE(75 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>)也一样,也应该选择对环境比较友好的前者,而且综合不同试验对白背飞虱及总飞虱的结果,也应该选前者。金华 2011 年的试验分析结果也表明应该选择 50%吡蚜酮 WG(75 g a. i. ·hm<sup>-2</sup>)(表 1)。

**表 1** 用于害虫化学防治效益简易判别法的各杀虫剂处理的成本、水稻生产等基本参数及其计算的效益成本比值与差值  
**Table 1** Parameters of costs of different insecticide treatment and rice production, calculated efficiency over cost and difference values for the simple rule of economic threshold model-based decision making for pest chemical control

处理药剂	用量/ (g a. i. ·hm <sup>-2</sup> )	成本/(元·hm <sup>-2</sup> )		目标害虫	最终防效 (%,K)	水稻 品种	预期产量/ (kg·667m <sup>-2</sup> )	稻谷单价/ (元·kg <sup>-1</sup> )	总成本/ (元·hm <sup>-2</sup> )	临界 ECR	试验 ECR	ECR 之 差值( $d$ )	最佳 选择	
海盐(2008年)														
50%吡蚜酮 WG	75.0	7.5	75	115.50	灰飞虱	94.63	秀水 09	600	2.8	198.0	0.26	0.48	0.21	✓
25%吡蚜酮 WP	75.0	7.5	75	120.00	灰飞虱	96.37	秀水 09	600	2.8	202.5	0.26	0.48	0.21	
25%噻嗪酮 WP	150.0	7.5	75	60.00	灰飞虱	21.40	秀水 09	600	2.8	142.5	0.26	0.15	-0.11	
临海(2011年)														
50%吡蚜酮 WG	75.0	7.5	75	115.50	灰飞虱	97.24	南粳 46	600	2.8	198.0	0.26	0.49	0.23	✓
50%吡蚜酮 WG	112.5	7.5	75	180.00	灰飞虱	94.71	南粳 46	600	2.8	262.5	0.26	0.36	0.10	
25%吡蚜酮 SE	75.0	7.5	75	120.00	灰飞虱	100.00	南粳 46	600	2.8	202.5	0.26	0.49	0.23	
50%吡蚜酮 WG	75.0	7.5	75	115.50	白背飞虱	97.54	南粳 46	600	2.8	198.0	0.26	0.49	0.23	✓
50%吡蚜酮 WG	112.5	7.5	75	180.00	白背飞虱	96.75	南粳 46	600	2.8	262.5	0.26	0.37	0.10	
25%吡蚜酮 SE	75.0	7.5	75	120.00	白背飞虱	97.55	南粳 46	600	2.8	202.5	0.26	0.48	0.22	
50%吡蚜酮 WG	75.0	7.5	75	115.50	灰飞虱和 白背飞虱	97.88	南粳 46	600	2.8	198.0	0.26	0.49	0.23	✓
50%吡蚜酮 WG	112.5	7.5	75	180.00	灰飞虱和 白背飞虱	97.49	南粳 46	600	2.8	262.5	0.26	0.37	0.11	
25%吡蚜酮 SE	75.0	7.5	75	120.00	灰飞虱和 白背飞虱	96.48	南粳 46	600	2.8	202.5	0.26	0.48	0.21	
金华(2011年)														
50%吡蚜酮 WG	75.0	7.5	75	115.50	褐飞虱	97.11	寒优湘晴	550	2.5	198.0	0.32	0.49	0.17	✓
50%吡蚜酮 WG	112.5	7.5	75	180.00	褐飞虱	97.72	寒优湘晴	550	2.5	262.5	0.32	0.37	0.05	
25%吡蚜酮 SE	75.0	7.5	75	120.00	褐飞虱	98.06	寒优湘晴	550	2.5	202.5	0.32	0.48	0.16	

### 3 讨论

本试验针对防治稻飞虱需要考虑的化学农药防治效果的评价问题,采用了常见的校正防效和基于经济阈值模型的害虫化学防治效益简易判别法,比较了不同剂型、不同剂量的新型杀虫剂吡蚜酮对3种稻飞虱的防治效果和经济效益,得出了明确的结论。

相同剂量、不同剂型的吡蚜酮(75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>)对穗期灰飞虱的防效动态基本一致,可有效持续压制灰飞虱动态超过20 d,可有效保护穗期受害,同时施药时离水稻收割还有40 d以上,远远长于安全间隔期<sup>[5]</sup>;50%吡蚜酮水分散粒剂防治水稻生产中期的灰飞虱、白背飞虱和褐飞虱的持效期均较长,可以达21 d,因此防治稻飞虱的防治间隔期可达21 d;2个50%吡蚜酮WG的推荐使用量的防治效果与对照药剂25%吡蚜酮SE(75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>)基本相当,与文献报道防效一致<sup>[1,6,7]</sup>,效果较好,而且对环境相对友好<sup>[8]</sup>、对作物安全,故值得推广使用,一般在稻飞虱卵孵高峰至低龄若虫盛期密度达到防治指标时用喷雾法均匀喷雾,使用剂量75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>,兑水量750 ~ 900 kg·hm<sup>-2</sup>。

本文采用的害虫化学防治效益简易判别法是建立在经济阈值模型<sup>[4]</sup>的基础上的决策工具,综合考虑了防治成本、防治效果、作物产量与价格等收益因素,比较全面地反映了化学防治的经济效益,避免了单一防治效果高但经济效益反而低的困境,2011年金华试验的25%吡蚜酮SE(75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>)的防效确实比50%吡蚜酮WG(75 g a. i. · hm<sup>-2</sup>)高,但ECR差值低,因而没被选为最佳。基于经济阈值模型的经济效益决策,并结

合农药有效成分本身和其溶剂、助剂的生态环境效应定性判别来决定防治稻飞虱的最合适药剂与剂型,本文提出了一个综合决策方法。当下,这种综合决策尤其重要,随着农民、消费者对环境和健康的日益关注,并且统防统治、专业合作社、大农户的成长更要求防治决策时谨慎用药,相信这种综合决策将日益得到重视和推广<sup>[3]</sup>。下一步,我们将在明确各类型的化学农药对人类健康、对害虫的天敌安全性以及水土环境的负面影响等定量化的基础上,继续进行综合决策方法的探索和完善。

### 参考文献:

- [1] 张梅凤,于乐祥,张秀珍. 高毒农药替代品种吡蚜酮的研究[J]. 今日农药,2009,(1):22-23.
- [2] He Y, Chen L, Chen J, et al. Electrical penetration graph evidence that pymetrozine toxicity to the rice brown planthopper is by inhibition of phloem feeding[J]. *Pest Management Science*, 2011, 67(4): 483-91.
- [3] 祝增荣. 生态工程治理水稻有害生物[M]. 北京:中国农业出版社,2012:130.
- [4] Mumford JD, Norton GA. Economics of decision making in pest management [J]. *Annual Review of Entomology*, 1984, 29: 159-174.
- [5] 杨辉. 水稻及其生长环境中吡蚜酮残留的研究[D]. 长沙:中南大学,2011.
- [6] 盛仙俏,廖璇刚,陈桂华. 吡蚜酮可湿性粉剂等药剂对褐飞虱的防控效果[J]. 浙江农业科学,2009,(1):144-145.
- [7] 朱福官,穆兰芳,曹卫菊,等. 吡虫啉替代药剂的田间筛选试验[J]. 农药,2008,47(2):145-147.
- [8] Gašić S, Brkić D, Radivojević L, et al. Development of water based pesticide system[J]. *Pesticidi i fitomedicina*, 2012, 27(1): 77-81.

(责任编辑 黄芳)