

# 江苏溧阳水稻田减量用药研究初探

葛 静<sup>1</sup>, 王冬兰<sup>1</sup>, 吴福民<sup>2</sup>, 翟丽菲<sup>1</sup>, 张志勇<sup>1</sup>, 刘贤金<sup>\*1</sup>, 余向阳<sup>\*1</sup>

(1. 江苏省农业科学院 农产品质量安全与营养研究所, 江苏省食品安全重点实验室——省部共建  
国家重点实验室培育基地, 南京 210014; 2. 溧阳市植保植检站, 江苏 溧阳 213300)

**摘 要:** 为尽可能减少稻田农药的使用量, 更好地保障稻米品质及保护农田生态环境, 通过优化药剂组合和施药次序, 综合田间防效、消解动态、最终残留及水稻产量等因素, 研究评估了江苏省溧阳市水稻田农药减量施用的可行性。分别设置常规施药组合和减量施药组合 2 套方案, 以水稻主要病虫害稻飞虱、稻纵卷叶螟及纹枯病为例, 比较了 2 种施药方案下对病虫害的防效, 分析了相关药剂在水稻中的残留消解动态以及在稻米和谷壳中的最终残留, 并对水稻产量进行了考察。结果表明: 减量施药方案对水稻上 3 种典型病虫害的防效均优于或与常规施药方案相当; 此外, 不同施药次序对水稻病虫害的防治效果差异较大; 2 种施药方案下, 供试药剂在稻米中的最终残留量均未超过其残留限量 (MRL) 标准; 与常规施药方案相比, 减量施药方案下水稻每公顷产量增加了 621 kg, 但二者差异不显著。减量方案施用农药总制剂量为 4 410 g/hm<sup>2</sup> (有效成分 1 353 g/hm<sup>2</sup>), 而常规方案为 6 885 g/hm<sup>2</sup> (有效成分 1 553 g/hm<sup>2</sup>)。研究表明, 在试验期间, 该减量施药方案能有效防控水稻病虫害, 保证水稻产量, 同时还能减少环境中农药及助剂的投入, 降低对环境的危害。

**关键词:** 农药减量; 水稻; 病虫害防治; 食品安全; 吡蚜酮; 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐; 茚虫威  
中图分类号: TQ450.2 文献标志码: A 文章编号: 1008-7303(2019)01-0066-09

## A pilot study of pesticide reduction strategy in paddy fields at Liyang, Jiangsu Province

GE Jing<sup>1</sup>, WANG Donglan<sup>1</sup>, WU Fumin<sup>2</sup>, ZHAI Lifei<sup>1</sup>,  
ZHANG Zhiyong<sup>1</sup>, LIU Xianjin<sup>\*1</sup>, YU Xiangyang<sup>\*1</sup>

(1. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Institute of Food Safety and Nutrition, Key Laboratory of Food Quality and Safety of Jiangsu Province—State Key Laboratory Breeding Base, Nanjing 210014, China; 2. Liyang Plant Protection and Inspection Station, Liyang 213300, Jiangsu Province, China)

**Abstract:** In order to reduce the use of pesticide in paddy field, improve rice quality and protect agricultural eco-environments, the feasibility of pesticide reduction strategy in paddy fields was tested at Liyang, Jiangsu Province. The analyzing control effects, pesticide dissipation, final residues and the yield were investigated. Conventional and reduction strategies were both evaluated. Three typical rice diseases and insect pests were chosen as examples. The prevention and control effects of these diseases

收稿日期: 2018-09-20; 录用日期: 2018-11-08.

基金项目: 江苏省重点研发项目 (BE2016367); 江苏省自主创新项目 (CX(18)2023).

作者简介: 葛静, 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农药环境行为, **E-mail:** cherrygejing@126.com; \*刘贤金, 共同通信作者 (Co-author for correspondence), 男, 研究员, 研究方向为农产品安全, **E-mail:** jaasliu@163.com; \*余向阳, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 研究员, 研究方向为产地污染控制, **E-mail:** yuxy@jaas.ac.cn

and pests in paddy field, the residues of the pesticide in rice, and the yield were determined to evaluate the efficacy of these strategies. The results showed that the prevention and control effects of these three main diseases and pests using reduction strategy were better than or equal to the conventional strategy. The residues of pesticide in rice were all below the maximum residue limit in the experiments using both strategies. The yield was increased by 621 kg/hm<sup>2</sup> with the reduction strategy, but the differences were not significant. The total amount of pesticide used in the reduction strategy was 4 410 g/hm<sup>2</sup> (1 353 g a.i./hm<sup>2</sup>), and which in the conventional strategy was 6 885 g/hm<sup>2</sup> (1 553 g a.i./hm<sup>2</sup>). Hence, the reduction strategy not only prevented and controlled the diseases and pests effectively and ensured the yield of rice, but also greatly reduced the input of pesticide and adjuvants in the environment, which reduced the harm to the environment.

**Keywords:** pesticide reduction; rice; diseases and pests management; food safety; pymetrozine; emamectin benzoate; indoxacarb

江苏省稻作历史悠久, 其水稻产业优质化已走在中国南方稻区的前列<sup>[1-2]</sup>。近年来, 由于农药、化肥的过量施用导致抗性的发生和加重, 水稻病虫害发生程度也日益加重, 华东稻区的情况尤为严重, 其中, 稻飞虱、稻纵卷叶螟及纹枯病等对水稻的危害最为严重<sup>[3-4]</sup>。化学农药虽然在一定程度上提高了农作物的产量和品质, 但过量使用也会带来很多问题, 如食品安全、环境污染及生态失衡等。由于农药的有效利用率低, 最后真正沉积到靶标上的药剂不足 1%<sup>[5]</sup>, 而大量及频繁用药还会导致病虫的抗药性增强, 进而使得综合防治难度增大。因此, 在保证防效的基础上适当减少农药的使用, 避免频繁单一施用某些农药品种, 同时合理结合育种、轮作及栽培管理等农艺措施, 以及生物防治等其他综合防治手段, 将有利于农业的可持续发展。此外, 在使用化学农药防治时, 采取将用药关口前移、作物生育后期零用药和使用低残留药剂<sup>[2]</sup>也可以有效降低农药在作物和环境中的残留。

20 世纪 80 年代, 欧盟等发达国家开始立法实行农药减量措施, 至 2006 年, 农药减量计划已成为欧盟的强制性政策<sup>[6-7]</sup>。2008 年, 法国开始基于其环境保护政策推荐植物保护产品, 计划到 2018 年实现农药使用量减半<sup>[8]</sup>; 加拿大也早在 1987 年就提出了农药减量计划, 至 2002 年其农药使用量就减少了一半<sup>[9]</sup>。近年来, 中国也提出了相应的政策, 农业农村部(原农业部)在 2015 年提出了《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》, 科技部也设立了有关农药减量的重点研发

项目。

研究表明, 采用有害生物综合治理手段代替常规的农药防治措施, 对作物产量影响不大, 同时减量和减次施用农药还可大大降低农药的环境风险<sup>[10]</sup>。但目前中国已有的农药减量研究中, 同时结合田间防效、残留消解动态与最终残留的研究还比较少, 因此, 本研究旨在从防效、残留消解及最终残留等方面综合评估稻田农药减量技术在江苏省溧阳地区的适用性、可行性及残留风险, 以期为沿江江苏南地区农药减量施用技术体系的研究建立提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及主要仪器

各农药标准品(纯度 95% 以上, 均为美国杜邦公司及德国 Dr. Ehrenstorfer 公司产品); 乙腈和正己烷均为色谱纯; 体积分数为 0.1% 的甲酸水(实验室配制); PSA (Agela Technologies 公司); GCB (Tapery 公司); 无水硫酸镁(分析纯, 成都市科龙化工试剂厂), 550 °C 烘烤 5 h, 冷却备用; 试验用水均为超纯水。

农药制剂: 25% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(以下简称甲维盐)·茚虫威水分散粒剂(25% emamectin benzoate·indoxacarb WG)、75% 三环唑水分散粒剂(75% tricyclazole WG)、1.8% 阿维菌素乳油(1.8% abamectin EC)及 5% 甲维盐水分散粒剂(浙江世佳科技有限公司); 10% 烯啶虫胺水剂(10% nitenpyram AS)(连云港立本作物科技有限公司); 5% 己唑醇悬浮剂(浙江威尔达化工有

限公司); 10% 甲维盐·茚虫威悬浮剂 (山东亿嘉农化有限公司); 50% 吡蚜酮水分散粒剂 (50% pymetrozine WG) (先正达南通作物保护有限公司); 24% 噻呋酰胺悬浮剂 (24% thifluzamide SC) (美国陶氏益农公司); 10% 己唑醇悬浮剂 (5% hexaconazole SC) (江苏洽益农化有限公司); 27% 噻呋酰胺·戊唑醇悬浮剂 (27% thifluzamide·tebuconazole SC) (江苏江南农化有限公司); 25% 吡蚜酮悬浮剂 (山东省青岛凯源祥化工有限公司); 20% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂 (20% chlorantraniliprole SC) (美国富美实公司); 75% 戊唑醇·啞菌酯水分散粒剂 (75% tebuconazole·azoxystrobin WG) (美国世科姆公司); 10% 四氯虫酰胺悬浮剂 (10% tetrachloroacetamide SC) (沈阳科创化学品有限公司); 80% 烯啶虫胺·吡蚜酮水分散粒剂 (80% nitenpyram·pymetrozine WG) [上海沪联生物药业 (夏邑) 股份有限公司]; 12.5% 氟环唑悬浮剂 (12.5% epoxiconazole SC) (江苏辉丰生物农业股份有限公司); 30% 稻瘟酰胺悬浮剂 (30% fenoxanil SC) (陕西汤普森生物科技有限公司)。

Agilent 1260 高效液相色谱-Agilent 6410 质谱联用仪, 以及 Agilent 6890N 高效气相色谱仪 (Agilent 公司, 美国); 高通量组织研磨仪 (Thmorgan 公司, 德国); TG16-WS 型高速离心机 (长沙湘智离心机仪器有限公司); 卫士 WS-16 型手动喷雾器 (山东卫士植保机械有限公司)。

## 1.2 试验地点及试验田基本情况

试验地点选在江苏省溧阳市埭头镇前六村委砖桥头村民小组, 该地前一年水稻病虫害发生较重。前茬作物为小麦, 地势平坦, 土壤肥力均匀。水稻品种为武运粳 23 号, 是目前早熟晚粳稻中抗病、抗倒及高产性能最优良的品种, 适宜在江苏省沿江及苏南地区中上等肥力条件下种植。

## 1.3 试验设计

分别设常规施药组合和减量施药组合 2 套方案, 每个处理 667 m<sup>2</sup>, 分为 3 个平行小区。其中常规施药方案是当地植保站推荐的保守 4 次综合防治施药组合, 减量施药方案则是优化后的 3 次综合防治组合。均匀喷雾施药 (喷孔直径 0.7 mm, 工作压力 3~4 kg/cm<sup>2</sup>), 每公顷用水量 450 kg。试验中设计的施药组合仅针对后期综合防治, 其他早期防控如浸种、化学除草等均采用相同处

理。具体施药方案见表 1。

## 1.4 防效调查及计算方法

1.4.1 对稻飞虱的防效 于施药前调查虫口基数, 每次施药后 1、3、5、7、10 和 14 d 调查防治效果。采用对角线 5 点取样法, 每小区调查 20 蔸, 计数稻飞虱活虫数, 分别按式 (1) 和式 (2) 计算虫口减退率及防效。

$$D_r/\% = \frac{N_b - N_a}{N_b} \times 100 \quad (1)$$

$$E/\% = \frac{D_{rp} - D_{rc}}{1 - D_{rc}} \times 100 \quad (2)$$

式中:  $D_r$  为虫口减退率 (%);  $N_b$  为处理前虫总量;  $N_a$  为处理后虫总量;  $E$  为防效 (%);  $D_{rp}$  为药剂处理区虫口减退率 (%);  $D_{rc}$  为空白对照区虫口减退率 (%)。

1.4.2 对稻纵卷叶螟的防效 每次施药后 1、3、5、7、10 和 14 d 调查防治效果, 每小区对角线 5 点取样, 共查 50 丛稻, 按式 (3) 计算卷叶率, 与对照区卷叶率比较, 按式 (4) 计算防效。

$$R/\% = \frac{N_l}{N_t} \times 100 \quad (3)$$

$$E_r/\% = \frac{R_c - R_t}{R_c} \times 100 \quad (4)$$

式中:  $R$  为卷叶率 (%);  $N_l$  为调查卷叶数;  $N_t$  为调查总叶数;  $E_r$  为卷叶防效 (%);  $R_c$  为对照区卷叶率 (%);  $R_t$  为处理区卷叶率 (%)。

1.4.3 对纹枯病的防效 施药前调查病情基数, 每次施药后 1、3、5、7、10 和 14 d 调查病情发展情况。每小区对角线 5 点取样, 每点固定调查相连 20 丛稻, 共 100 丛, 记录总株数、病株数和病级数, 按式 (5) 和式 (6) 分别计算病情指数及防效。

病情分级标准<sup>[11]</sup>: 0 级: 全株无病; 1 级: 第 4 叶片及以下各叶鞘、叶片发病 (以顶叶为第 1 叶片); 3 级: 第 3 叶片及以下各叶鞘、叶片发病; 5 级: 第 2 叶片及以下各叶鞘、叶片发病; 7 级: 剑叶叶片及以下各叶鞘、叶片发病; 9 级: 全株发病, 提早枯死。

$$D_i = \frac{\sum(D_p \times i)}{N_p \times V_h} \times 100 \quad (5)$$

$$E/\% = \left( \frac{D_{ic} - D_{it}}{D_{ic}} \right) \times 100 \quad (6)$$

式中:  $D_i$  为病情指数;  $D_p$  为各级病株数;

表 1 施药方案及时间安排

Table 1 Pesticides combination and application date of two strategies

常规组合 Convention strategy	减量组合 Reduction strategy
7月21日(分蘖末期): July 21 <sup>st</sup> (late tillering stage): 25% 甲维盐·茚虫威 WG 10 g 25% emamectin benzoate·indoxacarb WG 10 g 1.8% 阿维菌素 EC 50 mL 1.8% abamectin EC 50 mL 10% 烯啶虫胺 AS 30 mL 10% nitenpyram AS 30 mL 5% 己唑醇 SC 80 mL 5% hexaconazole SC 80 mL	
8月10日(拔节孕穗): August 10 <sup>th</sup> (jointing and earing): 10% 甲维盐·茚虫威 SC 30 mL 10% emamectin benzoate·indoxacarb SC 30 mL 50% 吡蚜酮 WG 15 g 50% pymetrozine WG 15 g 24% 噻呋酰胺 SC 40 g 24% thifluzamide SC 40 g	8月10日: August 10 <sup>th</sup> : 25% 甲维盐·茚虫威 WG 15 g 25% emamectin benzoate·indoxacarb WG 15 g 27% 噻呋酰胺·戊唑醇 SC 33 g 27% thifluzamide·tebuconazole SC 33 g 25% 吡蚜酮 SC 30 mL 25% pymetrozine SC 30 mL
8月24日(破口抽穗): August 24 <sup>th</sup> (crevasse earing): 5% 甲维盐 WG 20 g 5% emamectin benzoate WG 20 g 50% 吡蚜酮 WG 10 g 50% pymetrozine WG 10 g 24% 噻呋酰胺 SC 30 mL 24% thifluzamide SC 30 mL 75% 三环唑 WG 30 g 75% tricyclazole WG 30 g	8月24日: August 24 <sup>th</sup> : 20% 氯虫苯甲酰胺 SC 10 mL 20% chlorantraniliprole SC 10 mL 10% 烯啶虫胺 AS 30 mL 10% nitenpyram AS 30 mL 75% 戊唑醇·啶菌酯 WG 20 g 75% tebuconazole·azoxystrobin WG 20 g 75% 三环唑 WG 30 g 75% tricyclazole WG 30 g
9月7日(齐穗): September 7 <sup>th</sup> (full panicle): 10% 甲维盐·茚虫威 SC 24 g 10% emamectin benzoate·indoxacarb SC 24 g 50% 吡蚜酮 WG 10 g 50% pymetrozine WG 10 g 10% 己唑醇 SC 48 g 10% hexaconazole SC 48 g 75% 三环唑 WG 30 g 75% tricyclazole WG 30 g	9月7日: September 7 <sup>th</sup> : 10% 四氯虫酰胺 SC 40 g 10% tetrachloroacetamide SC 40 g 80% 烯啶虫胺·吡蚜酮 WG 6 g 80% nitenpyram·pymetrozine WG 6 g 12.5% 氟环唑 SC 30 mL 12.5% epoxiconazole SC 30 mL 30% 稻瘟酰胺 SC 50 g 30% fenoxanil SC 50 g

注 (Note): 水分散粒剂 (water dispersible granule, WG); 乳油 (emulsifiable concentrate, EC); 水剂 (aqueous solutions, AS); 悬浮剂 (suspension concentrate, SC)。

$i$  为各级代表值;  $N_p$  为调查总株数;  $V_h$  为最高级代表值;  $E$  为防效 (%);  $D_{ic}$  为空白对照区病情指数;  $D_{it}$  为药剂处理区病情指数。

#### 1.4.4 对水稻产量的影响 分别考种调查千粒

重、有效穗数、穗重、穗粒数及实粒数等。采样方法: 每大区对角线 3 点取样, 每点量取 21 行, 测量行距; 量取 21 株, 测定株距, 计算每公顷的穴数; 顺序选取 20 穴计算穗数; 取与平均穗数接

近的稻株 3~5 穴 (不少于 50 穗) 调查穗粒数和结实粒; 千粒重采用大区平均千粒质量。按式 (7) 计算水稻产量 ( $Y$ , kg/hm<sup>2</sup>)。

$$Y = E \times G \times R \times m / 10^6 \quad (7)$$

式中:  $E$  为有效穗数 (穗/hm<sup>2</sup>, ears/hm<sup>2</sup>);  $G$  为每穗粒数;  $R$  为结实率 (%);  $m$  为每千粒质量 (g)。

### 1.5 残留试验设计

分别设置常规施药方案、减量施药方案和对照小区, 每处理 3 个重复, 每小区面积为 30 m<sup>2</sup>, 小区间设保护行, 对照小区以清水处理。分别于施药后 2 h 及 1、3、5、7、10、14 d 在每小区按 5 点法采集水稻样品, 对照区仅在处理后 2 h 及 14 d 采样, 测定各药剂的残留消解动态。并于水稻收获时采集稻谷样品, 测定各农药的最终残留量。

### 1.6 样品前处理

试验中共涉及 14 种农药, 其中茚虫威、己唑醇、噻呋酰胺和稻瘟酰胺采用气相色谱 (GC-ECD) 法检测, 其余 10 种农药采用液相色谱-串联质谱 (LC-MS/MS) 法分析。前处理根据 Anastassiades 等<sup>[12]</sup> 的 QuEChERS 方法并加以改进: 在 50 mL 离心管中装入 5.0 g 新鲜水稻植株样品, 加入 20 mL 乙腈, 涡旋 1 min; 高速振荡 20 min, 超声 10 min, 加入 3.0 g 氯化钠, 涡旋 1 min, 于 5 000 r/min 下离心 5 min; 取 2 mL 上清液至 10 mL 离心管中, 加入 50 mg PSA、150 mg 无水硫酸镁和 50 mg GCB, 涡旋振荡 2 min, 于 5 000 r/min 离心 5 min; 取 1 mL 上清液, 经 0.22 μm 有机滤膜过滤, 待 LC-MS/MS 检测。若采用 GC-ECD 检测, 则取 1 mL 上清液, 氮气吹干, 用正己烷定容到 1 mL, 经 0.22 μm 有机滤膜过滤, 待测。

### 1.7 仪器检测方法

LC-MS/MS 检测条件。色谱条件: ZORBAX SB-C<sub>18</sub> 色谱柱 (150 mm × 2.1 mm, 3.5 μm); 流动相  $V$  (乙腈):  $V$  (0.1% 甲酸水溶液) = 80 : 20; 进样量 10 μL; 流速 200 μL/min, 运行时间 5 min。质谱条件: 电喷雾离子源 (ESI<sup>+</sup>) 模式; 多反应监测模式 (MRM) 扫描; 喷雾电压 4 000 V; 其余参数见表 2。

GC-ECD 检测条件: HP-5 色谱柱 (30 m × 0.32 mm, 0.25 μm); 进样口 250 °C, 检测器 300 °C; 不分流进样; 进样量 1.0 μL。升温程序:

表 2 各化合物的 LC-MS/MS 检测参数

Table 2 Parameters of the compounds for the LC-MS/MS detection

化合物 Compound	母离子 Parention, $m/z$	子离子 Production, $m/z$	碰撞能 CE/eV
阿维菌素 abamectin	890.7	306.9	25
甲维盐 emamectin benzoate	886.6	158.2	50
四氯虫酰胺 tetrachlorazamide	535.9	504.9	20
氯虫苯甲酰胺 chlorantraniliprole	484	452	12
啉菌酯 azoxystrobin	404.1	372.1	10
氟环唑 epoxiconazole	330	141	10
戊唑醇 tebuconazole	308.2	125	35
烯啶虫胺 nitenpyram	271	237	10
吡蚜酮 pymetrozine	218.1	105.1	20
三环唑 tricyclazole	189.9	162.8	20

150 °C 保持 2 min, 以 15 °C/min 升到 270 °C, 保持 10 min。

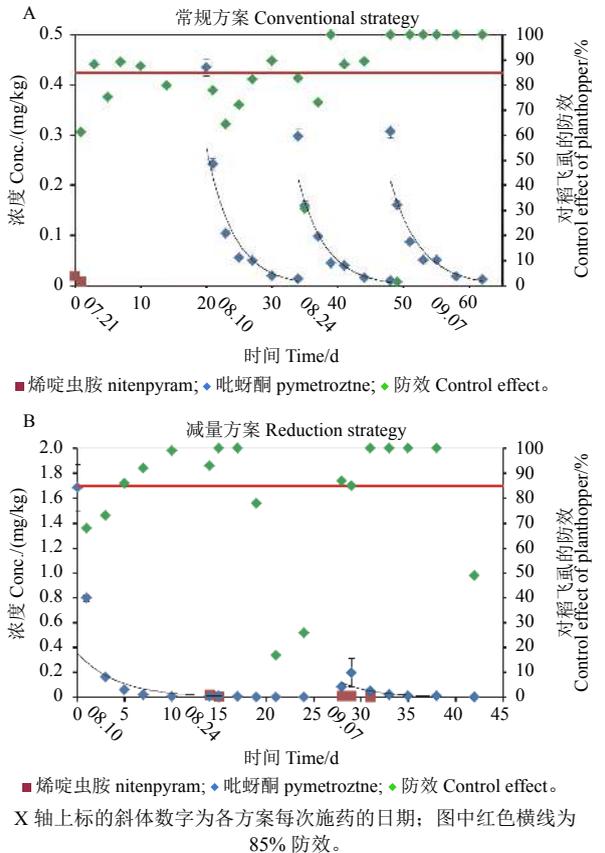
## 2 结果与分析

### 2.1 方法的线性范围、准确性及精密度

结果表明: 在线性范围内 (LC-MS/MS, 0.000 5~1.0 mg/L; GC-ECD, 0.01~1 mg/L), 各农药峰面积与对应质量浓度之间呈良好线性关系, 相关系数均大于 0.99。LC-MS/MS 检测中, 在 0.01、0.05 和 0.1 mg/kg 添加水平下, 待测化合物的回收率范围在 70%~118% 之间, 相对标准偏差 (RSD) 为 2.1%~16%。GC-ECD 检测中, 在 0.05、0.1 和 0.5 mg/kg 添加水平下, 各化合物的回收率范围在 71%~109% 之间, RSD 在 3.2%~6.9% 之间。LC-MS/MS 检测中, 10 种农药的检出限 (LOD) 均为 0.000 5 mg/kg, 定量限 (LOQ) 均为 0.001 6 mg/kg。表明该方法的线性、准确性及精密度都满足残留分析要求<sup>[13]</sup>。

### 2.2 两种施药方案下的防效及药剂在植株中的残留情况

2.2.1 对稻飞虱的防效及药剂残留消解动态 结果见图 1。2 种施药方案中, 在对稻飞虱的防治上均选择了烯啶虫胺和吡蚜酮, 2 种方案的防治效果在最后 1 次施药后 2~3 d 均可达到 100%。单独施用吡蚜酮, 药后 7 d 防效可达到 90% 以上, 但由于其独特的“口针阻塞”作用机制<sup>[14]</sup>, 因而对稻飞虱的速效性较差; 而烯啶虫胺具有较强的触杀作用, 速效性较好, 但其比吡蚜酮降解快, 持效期比吡蚜酮短。常规施药方案中, 第 1 次施药时



Numbers in italic on X-axis are the pesticides application dates; the red line represents 85% control effect.

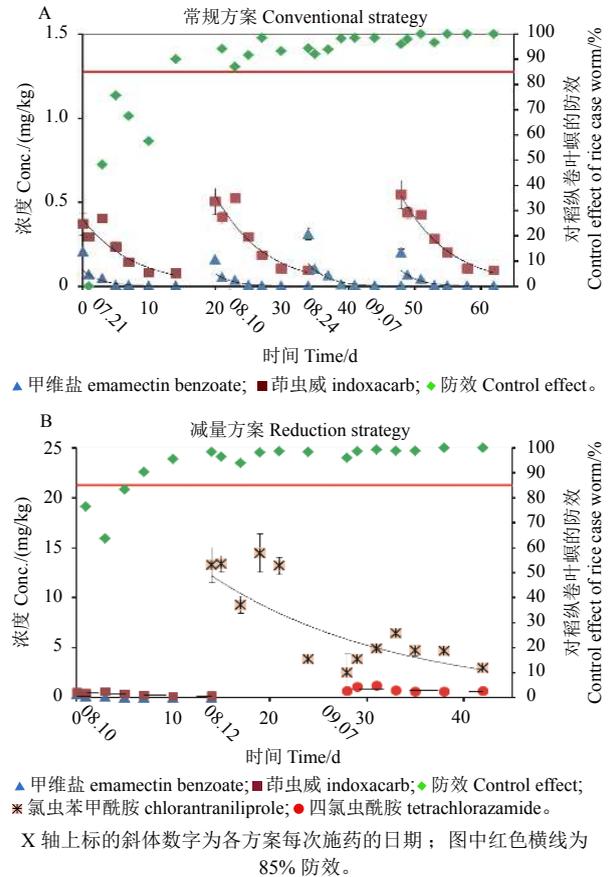
图 1 两种施药方案下对稻飞虱的防效及药剂在植株中的残留消解动态

Fig. 1 Control effect of rice planthopper and residue dynamics of two strategies

采用了烯啶虫胺, 后面 3 次均采用吡蚜酮, 从图 1A 中可看出, 第 1 次施药后 14 d 到第 3 次施药前, 该方案对稻飞虱的防效均低于 85%; 而减量方案则采用了吡蚜酮、烯啶虫胺以及吡蚜酮+烯啶虫胺的 3 次用药组合, 防效整体上要好于常规用药方案 (图 1B)。2 种施药方案下, 药后 3 d 烯啶虫胺在水稻植株中已无检出, 而吡蚜酮在药后 14 d 其消解率也都超过了 95%。

### 2.2.2 对稻纵卷叶螟的防效及药剂残留消解动态

从图 2 中可看出: 2 种施药方案对稻纵卷叶螟的防效都比较好, 第 1 次施药后的防效均在 85% 以上。常规方案下, 4 次施药中有 3 次同时施用了甲维盐和茚虫威, 其中 1 次只施用了甲维盐; 减量方案中, 第 1 次施药时用了甲维盐和茚虫威, 第 2 和第 3 次分别施用了氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺。相比常规方案的频繁施用甲维盐和茚虫威, 减量组合在达到良好防效的同时, 还可在一定程



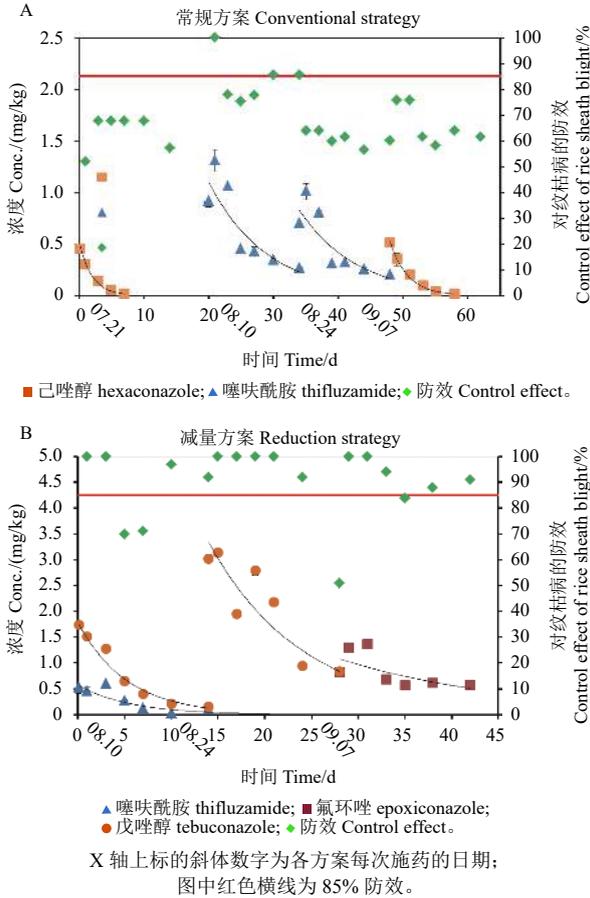
Numbers in italic on X-axis are the pesticides application dates; the red line represents 85% control effect.

图 2 两种施药方案下对稻纵卷叶螟的防效及药剂在植株中的残留消解动态

Fig. 2 Control effect of rice case worm and residue dynamics of two strategies

度上延缓害虫抗药性的产生。2 种方案下, 施药后 14 d, 甲维盐在水稻植株中的消解率可达 95% 以上, 茚虫威的消解率在 70%~85% 之间, 氯虫苯甲酰胺为 81%, 四氯虫酰胺在水稻植株中则前期消解比较慢。

2.2.3 对纹枯病的防效及药剂残留消解动态 常规方案中用于防治纹枯病的药剂主要为噻呋酰胺和己唑醇, 分别施用了 2 次; 减量方案中的药剂为噻呋酰胺、氟环唑和戊唑醇, 其中戊唑醇施用了 2 次, 其他 2 种药各施用了 1 次。从图 3 中可看出: 减量施药方案对纹枯病的防效明显优于常规方案。已有研究表明, 己唑醇、氟环唑和戊唑醇对纹枯病的室内防效均好于噻呋酰胺<sup>[15-17]</sup>。药剂单独施用容易引起抗性, 多种药剂组合间隔施用不仅能延缓抗性产生, 还能取得更好的防效。上述药剂中除己唑醇外, 其他几种的消解速率都较慢。施药后 14 d, 己唑醇的消解率达到 95% 以



Numbers in italic on X-axis are the pesticides application dates; the red line represents 85% control effect.

图 3 两种施药方案下对纹枯病的防效及药剂在植株中的残留消解动态

Fig. 3 Control effect of rice sheath blight and residue dynamics of two strategies

表 3 两种施药方案下各农药在稻米和稻壳中的最终残留量

Table 3 Final residue of pesticides in rice and husk by using two strategies

(mg/kg)

农药 Pesticide	样品 Sample	常规 Convention	减量 Reduction	农药 Pesticide	样品 Sample	常规 Convention	减量 Reduction
噻唑酰胺 thifluzamide	稻米 Rice	0.018	0.013	啞菌酯 azoxystrobin	稻米 Rice	—	ND
	稻壳 Husk	0.088	0.017		稻壳 Husk	—	ND
烯啶虫胺 nitenpyram	稻米 Rice	ND	ND	戊唑醇 tebuconazole	稻米 Rice	—	ND
	稻壳 Husk	ND	ND		稻壳 Husk	—	ND
茚虫威 indoxacarb	稻米 Rice	0.025	0.024	稻瘟酰胺 fenoxanil	稻米 Rice	—	0.022
	稻壳 Husk	0.054	0.024		稻壳 Husk	—	0.060
吡蚜酮 pymetrozine	稻米 Rice	ND	ND	氟环唑 epoxiconazole	稻米 Rice	—	ND
	稻壳 Husk	0.013	ND		稻壳 Husk	—	0.1
甲维盐 emamectin benzoate	稻米 Rice	ND	ND	氯虫苯甲酰胺 chlorantraniliprole	稻米 Rice	—	ND
	稻壳 Husk	ND	ND		稻壳 Husk	—	0.052
三环唑 tricyclazole	稻米 Rice	0.10	ND	四氯虫酰胺 tetrachlorazamide	稻米 Rice	—	ND
	稻壳 Husk	1.2	ND		稻壳 Husk	—	0.23
己唑醇 hexaconazole	稻米 Rice	ND	—	阿维菌素 abamectin	稻米 Rice	ND	—
	稻壳 Husk	ND	—		稻壳 Husk	ND	—

注：“—”表示未施用该药剂；“ND”表示低于检出限。

Note: “—” means that the pesticide was not applied in the treatment; “ND” means below LOD.

上, 噻唑酰胺为 80% 左右, 氟环唑只有 58%; 戊唑醇在第 1 次施用时, 14 d 后的消解率为 91%, 此时再施用 1 次, 消解速率明显减慢, 14 d 后的消解率只有 73%。

### 2.3 各组合药剂在稻米和稻壳中的最终残留

结果见表 3。总体来看, 稻壳中农药的残留量均大于或等于稻米中的残留量, 其中三环唑在稻壳中的残留量可达到其在稻米中残留量的 10 倍以上。就 2 种方案中均涉及的农药 (噻唑酰胺、茚虫威、吡蚜酮和三环唑) 进行比较, 发现减量施药方案中稻米和稻壳中农药的最终残留量均低于常规方案。根据中国农药信息网查到的农药残留限量标准 (MRL) [18], 2 种方案中各农药的最终残留量都在其限量值以下。

### 2.4 各施药方案对水稻产量的影响

两种施药方案下, 水稻产量测定结果见表 4。其中, 减量方案区水稻产量比常规区提高约 6%。

## 3 讨论与结论

本研究以江苏溧阳为试验点, 选择对水稻危害较大的 3 种病虫害, 结合药剂田间防效、残留消解动态、最终残留量及水稻产量等因素, 初步探索了江苏溧阳地区水稻减量用药的可行性, 以期为沿江苏南地区农药减量施用技术体系的建立提供参考。研究表明, 与常规施药方案相比, 减量方案

表 4 两种施药方案下的水稻产量

Table 4 Rice yields by using two crop protection strategies

方案 Strategy	有效穗数 Panicle number/(ears/hm <sup>2</sup> )	每穗粒数 Grain number per panicle/grain	千粒重 1 000-kernel weight/g	结实率 Setting percentage/%	实测产量 Measured yield/(kg/hm <sup>2</sup> )
常规 Convention	362.9 × 10 <sup>4</sup> a	115 a	25.5 a	92.1 a	9 801 a
减量 Reduction	360.9 × 10 <sup>4</sup> a	117 a	26.2 a	94.2 a	10 422 a

注: 同列数字后相同字母表示相互间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

Note: Same letters followed by the means in the same column represent no significant differences ( $P > 0.05$ ).

所施用农药种类更丰富多样, 该用药策略有助于延缓水稻病虫害抗药性的产生, 延长农药的使用寿命。

从所针对的 3 种病虫害情况看, 减量施药方案的防效均明显好于常规方案, 在对稻飞虱和纹枯病的防治上差别尤其明显。对稻飞虱而言, 之前大量使用的噻嗪酮和吡虫啉等农药由于害虫抗药性的产生, 目前已经较少使用<sup>[14]</sup>。本研究中, 常规和减量方案均采用了烯啶虫胺和吡蚜酮, 但由于 2 种方案的施药策略不一样, 从而导致了防治效果上的差异。吡蚜酮见效慢, 持效期长, 烯啶虫胺见效快, 但持效期短, 减量方案非常好地利用了 2 种药剂的防治特点。常规方案虽然在第 4 次施药后对稻飞虱的防效可达到 100%, 但整个防治过程中效果一般。

对水稻纹枯病而言, 减量方案的防效明显高于常规方案。在实际生产中考虑对纹枯病的防治策略时, 最好选择多种农药轮换使用, 这样不仅可以提高防效, 还可以延缓病害抗药性的产生。

在对稻纵卷叶螟的防治上, 虽然常规和减量方案的防效都很好, 但是常规方案在农药种类的选择上比较单一, 容易加快害虫抗药性的产生。已有研究表明, 稻纵卷叶螟对甲维盐的抗性发展非常迅速, 对氯虫苯甲酰胺的抗性发展则较为缓慢<sup>[19]</sup>, 因此本研究的减量方案中选择了氯虫苯甲酰胺, 以期延缓抗药性的产生。

从 2 种方案中农药的消解动态和最终残留看, 每次综合防治的施药间隔期均选择为 14 d, 大部分药剂在药后 14 d 的消解率都达到了 80% 以上, 有的甚至高于 90%。因此, 对于病虫害发生较重的年份, 选择 14 d 的施药间隔期比较合适; 但对于消解比较慢的农药, 如氯虫苯甲酰胺和四氯虫酰胺, 可考虑适当延长施药间隔期, 或者选择在水稻生长期只施用 1 次该类药剂; 对于连续施用后消解速率减慢的农药, 如戊唑醇, 也需格外注意施药间隔期和施用次数。结合最终残留量

结果看, 所施用的大部分农药在稻米中都未检出, 仍有少部分农药有微量检出, 虽然这些检出的农药在稻米中的最终残留量均未超过其残留限量标准, 但若想进一步提高江苏省稻米品质, 生产优质稻米, 在农药的选择和使用上还需进一步优化。

从水稻产量看, 减少农药的使用并未对产量产生影响, 减量方案区水稻产量反而略高于常规施药区, 因此在优化施用农药组合的前提下, 合理减少农药的使用并不会对水稻产量产生影响。

在病虫害防治过程中, 平衡农药减量和防效的关系非常关键。本研究从田间药效、消解动态和最终残留等多方面综合考虑, 所提出的减量施药方案不仅可减少农药的使用量及施药次数, 节省时间和劳动力成本, 同时还在一定程度上提高了水稻产量, 研究思路和结果可为后续相关研究提供参考, 但关于如何建立农药残留消解与田间防效的对应关系, 以便精准设定施药间隔期等还需进一步研究。

## 参考文献 (Reference):

- [1] 王才林, 张亚东, 朱镇, 等. 水稻优质抗病高产育种的研究与实践[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 921-927.  
WANG C L, ZHANG Y D, ZHU Z, et al. Studies and practices on the development of japonica rice varieties with good quality, disease resistance and high yield[J]. Jiangsu J Agric Sci, 2012, 28(5): 921-927.
- [2] 刘贤金, 余向阳, 王冬兰, 等. 优质粳稻组合用药过程管控技术与示范[J]. 农产品质量与安全, 2018(1): 12-18.  
LIU X J, YU X Y, WANG D L, et al. Process controlling technology for combined pesticides and demonstration for high quality japonica rice[J]. Qual Saf Agro-Prod, 2018(1): 12-18.
- [3] 王艳青. 近年来中国水稻病虫害发生及趋势分析[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 343-347.  
WANG Y Q. Analysis on the occurrence and development of rice diseases and insects in China[J]. Chin Agric Sci Bull, 2006, 22(2):

- 343-347.
- [4] 李涛, 路雪君, 廖晓兰, 等. 水稻纹枯病的发生及其防治策略[J]. 江西农业学报, 2010, 22(9): 91-93.  
LI T, LU X J, LIAO X L, et al. Occurrence and control strategy of rice sheath blight[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(9): 91-93.
- [5] METCALF R L. Changing role of insecticides in crop protection[J]. Annu Rev Entomol, 1980, 25: 219-256.
- [6] NIELSEN H. Danish pesticide use reduction programme: to benefit the environment and the health[M]. PAN-Europe, Øko-tryk, Denmark, 2005.
- [7] NEUMEISTER L. Pesticide use reduction: strategies in Europe: six case studies[M]. London: PAN Europe, Calverts, London, 2007.
- [8] JACQUET F, BUTAULT J P, GUICHARD L. An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops[J]. Ecol Econ, 2011, 70(9): 1638-1648.
- [9] BRETHOUR C, WEERSINK A. Rolling the dice: on-farm benefits of research into reducing pesticide use[J]. Agric Syst, 2003, 76(2): 575-587.
- [10] WETZSTEIN E M, MUSSER W N, LINDER D K, et al. An evaluation of integrated pest management with heterogeneous participation[J]. West J Agric Econ, 1985, 10(2): 344-353.
- [11] 檀根甲, 李辉. 水稻纹枯病不同分级标准病情指数间的关系[J]. 安徽农业大学学报, 1993, 20(3): 228-233.  
TAN G J, LI H. Relationships among disease indices of different gradation standards of rice sheath blight[J]. J Anhui Agric Univ, 1993, 20(3): 228-233.
- [12] ANASTASSIADES M, LEHOTAY S, STAJNBAHER D, et al. Fast and easy multiresidue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce[J]. J AOAC Int, 2003, 86(2): 412-431.
- [13] European Commission, Directorate General for Health and Food Safety (2010) Guidance document on analytical quality control and method validation procedures for pesticide residues and analysis in food and feed, SANTE/11813/2017 rev. 0[S/OL]. [2018-09-05]. [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides\\_mrl\\_guidelines\\_wrkdoc\\_2017-11813.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2017-11813.pdf)
- [14] HARREWIJN P, KAYSER H. Pymetrozine, a fast-acting and selective inhibitor of aphid feeding. *In-situ* studies with electronic monitoring of feeding behaviour[J]. Pest Sci, 1997, 49(2): 130-140.
- [15] 王晓琳, 娄远来, 储西平, 等. 水稻纹枯病防治药剂配方筛选及其剂型的研制[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(2): 302-308.  
WANG X L, LOU Y L, CHU X P, et al. Screening of fungicides combination against rice sheath blight and development of its formulation[J]. Jiangsu J Agric Sci, 2012, 28(2): 302-308.
- [16] 刘玉坤, 陈宇, 席春虎, 等. 5种药剂对稻飞虱防治效果评价[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(8): 57.  
LIU Y K, CHEN Y, XI C H, et al. Evaluation on control effects of five kinds of pesticides on rice planthopper[J]. Anhui Agric Sci Bull, 2018, 24(8): 57.
- [17] 王彦华, 沈晋良, 王鸣华. 褐飞虱抗性机理及其治理研究进展[J]. 农药科学与管理, 2005, 26(4): 24-28.  
WANG Y H, SHEN J L, WANG M H. Advance of research on resistance mechanism and management of *Nilaparvata lugens* (Stål)[J]. Pest Sci Admin, 2005, 26(4): 24-28.
- [18] 农药最大残留限量数据库. 最大残留限量值[EB/OL]. [2018-09-10]. <http://202.127.42.84/tbt-sps/mrlsdb/mrlsdb.do>.  
China Pesticide Information Network. Pesticide residue limit data[EB/OL]. [2018-09-10]. <http://202.127.42.84/tbt-sps/mrlsdb/mrlsdb.do>.
- [19] 郭炜. 湖南省稻纵卷叶螟抗性监测及防治研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010.  
GUO W. The studies of monitoring on resistance and control of rice leafroller *Cnaphalocrocis medinalis* guenee in Hunan Province[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010.

(责任编辑: 唐静)