



带药移栽对水稻害虫防控的减药增效作用分析

魏 琪¹, 张 明², 朱旭晖¹, 何佳春¹, 刘连盟¹, 赖凤香¹,
王渭霞¹, 万品俊¹, 刘龙生², 傅 强^{1,*}

(1. 中国水稻研究所, 水稻生物育种全国重点实验室, 杭州 311401; 2. 衡阳市农业科学院, 衡阳 421101)

摘要:【目的】以新型、高效、持效期长的杀虫剂三氟苯嘧啶和四唑虫酰胺为例,探究带药移栽对水稻害虫的防控效果及农药减量增效的实践意义。【方法】通过室内模拟秧苗带药移栽分别测定了 1.95, 5.85 和 9.75 mg a. i./m² 三氟苯嘧啶处理对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* 成虫或若虫的毒力和持效期,并在浙江杭州和湖南衡阳两地评估了早、中、晚稻秧苗高剂量带药移栽处理对二化螟 *Chilo suppressalis* 和稻飞虱的田间防效以及不同施药模式对稻田寄生蜂种群动态的影响。【结果】室内经 5.85 和 9.75 mg a. i./m² 三氟苯嘧啶处理的秧苗在移栽后 35 d 时使褐飞虱雌成虫和 3 龄若虫均能保持 75% 以上的校正死亡率,且 5.85 mg a. i./m² 剂量处理在移栽后 28 d 时使白背飞虱雌成虫的校正死亡率大于 80%;使用 12.75 和 25.50 mg a. i./m² 四唑虫酰胺处理秧苗在移栽后 35 d 时对早稻二化螟为害的校正防效均在 85% 以上。综合浙江杭州和湖南衡阳两地中、晚稻田田间试验结果表明,应用 5.85 mg a. i./m² 三氟苯嘧啶和 25.50 mg a. i./m² 四唑虫酰胺进行秧苗“送嫁药”处理可减少 1~2 次大田用药和 98% 以上的农药有效成分用量,同时还保持着与常规喷施相当的防效,并使寄生蜂总种类和总数量分别提高了 29.0%~49.7% 和 61.2%~69.3%。【结论】秧苗移栽前施用防效优良且持效期长的杀虫剂能减少水稻前期的施药次数和用量,产生较好的经济和生态效益。本研究为利用带药移栽技术推行水稻病虫害的绿色防控提供了重要参考。

关键词: 带药移栽; 水稻害虫; 三氟苯嘧啶; 四唑虫酰胺; 农药减量; 天敌保护

中图分类号: Q965.9 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2024)04-0477-13

Analysis of the reduced pesticide use and enhanced effectiveness in controlling rice pests through transplanting insecticide-pretreated rice seedlings

WEI Qi¹, ZHANG Ming², ZHU Xu-Hui¹, HE Jia-Chun¹, LIU Lian-Meng¹, LAI Feng-Xiang¹, WANG Wei-Xia¹, WAN Pin-Jun¹, LIU Long-Sheng², FU Qiang^{1,*} (1. State Key Laboratory of Rice Biology and Breeding, China National Rice Research Institute, Hangzhou 311401, China; 2. Hengyang Academy of Agricultural Sciences, Hengyang 421101, China)

Abstract: 【Aim】Taking the novel, highly effective, and long-lasting insecticides triflumezopyrim and tetraniliprole as examples, this study aims to investigate the practical significance of reduced pesticide use and enhanced effectiveness in controlling rice pests through transplanting insecticide-pretreated rice seedlings. 【Methods】Laboratory simulation experiments involving transplanting insecticide-pretreated rice seedlings were conducted to assess the toxicity and duration of efficacy of triflumezopyrim (active

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2021YFD1401100); 国家水稻产业技术体系 (CARS-01); 中国农业科学院科技创新工程 (CAAS-ZDRW202412, CAAS-ASTIP-2021-CNRR1)

作者简介: 魏琪, 男, 1989 年 5 月生, 河南许昌人, 博士, 助理研究员, 研究方向为水稻害虫化学防控与抗药性治理, E-mail: weiqi01@caas.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: fuqiang@caas.cn

收稿日期 Received: 2023-10-31; 接受日期 Accepted: 2023-12-27

ingredient, a. i.) exposure to rice seedlings at the doses of 1. 95, 5. 85 and 9. 75 mg a. i. /m² against the adults or nymphs of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, and the white-backed planthopper, *Sogatella furcifera*, respectively. Field experiments for transplanting high-dose insecticide-pretreated rice seedlings were carried out to evaluate their control efficacy against the rice stem borer, *Chilo suppressalis*, and rice planthoppers, as well as the impact of different modes of pesticide application on the population dynamics of parasitic wasps in paddy fields, in Hangzhou, Zhejiang Province, and Hengyang, Hunan Province, respectively, for early-, mid-, and late-season rice crops. 【Results】 In the laboratory, transplanting rice seedlings pretreated with 5. 85 and 9. 75 mg a. i. /m² of triflumezopyrim caused exceeding 75% corrected mortality rates in *N. lugens* adult females and the 3rd instar nymphs at 35 d after transplanting (DAT). The corrected mortality rate of *S. furcifera* adult females exceeded 80% when transplanting rice seedlings exposed to 5. 85 mg a. i. /m² of triflumezopyrim at 28 DAT. For controlling *C. suppressalis* in early-season rice, the applications of tetraniliprole at the doses of 12. 75 and 25. 50 mg a. i. /m² resulted in a corrected control efficacy of over 85% at 35 DAT. The comprehensive analysis of the field experiment results in both mid- and late-season rice in Hangzhou and Hengyang revealed that transplanting rice seedlings exposed to 5. 85 mg a. i. /m² of triflumezopyrim and 25. 50 mg a. i. /m² of tetraniliprole could reduce pesticide applications once or twice and the usage of effective pesticide ingredients by over 98%. Moreover, this practice of pesticide application method maintained control efficacy comparable to conventional spraying, resulting in an increase in the total number of parasitic wasp species by 29. 0% – 49. 7% and their total number of individuals by 61. 2% – 69. 3%, respectively. 【Conclusion】 The application of highly effective and long-lasting insecticides to rice seedlings before transplanting could reduce the frequency and quantity of pesticide use during the early stage of rice cultivation, thus yielding favorable economic and ecological benefits. This study offered valuable guidelines to promote environmentally friendly management of rice diseases and pests through the application of transplanting pesticide-pretreated rice seedlings.

Key words: Transplanting insecticide-pretreated rice seedlings; rice pest; triflumezopyrim; tetraniliprole; reduction of pesticide application; conservation of natural enemies

水稻对保障我国粮食安全和促进国民经济发展具有重要意义,但在其生产过程中常常会遭受到不同程度的害虫威胁,尤以稻飞虱(褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 和白背飞虱 *Sogatella furcifera*)、二化螟 *Chilo suppressalis* 和稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* 为主,农业农村部已于2023年3月将这3种害虫列入《一类农作物病虫害名录》(农业农村部,2023)。现阶段,化学农药仍是当前我国防治农作物病虫害的最主要手段,但长期不合理使用又带来了农药残留超标、环境污染、害虫抗药性与再猖獗等一系列问题(吴孔明,2018)。因此,如何科学用药、提高农药利用率已成为我国植物保护科研工作的核心任务之一。

“三防两控”技术是一种应用于水稻全程病虫害轻简化绿色防控的方案,即依据水稻生产及病虫害发生规律,主抓播种、移栽和破口3个阶段的预防,辅以分蘖期、穗期两个阶段的应急性达标防治来

控制为害(徐春春等,2018;傅强和黄世文,2019)。近些年来,该技术已逐步推广并在农药减施增效和天敌保护等方面取得良好应用效果(姜海平等,2020;张明等,2023)。其中,带药移栽是“三防两控”技术的重要环节之一,它主要是指水稻移栽前对秧苗喷施农药,通俗讲类似于民间女儿出嫁要送嫁妆,到了新家能快速适应生活,故又可称其为“送嫁药”。带药移栽主要有防病、防虫和增加水稻抵抗力3个方面的作用,以确保秧苗健壮不带病虫害,推迟大田病虫害发生时间,实现“防小田保大田”、降低大田防治成本,提高生产效益,促进天敌种群重建,起到事半功倍的效果。通常,“送嫁药”一般在移栽前2~3 d进行,过早或过晚施用都可能导致药效减弱,而药剂选择时宜采用具内吸传导性、持效期长、活性高的农药,并需根据当地水稻早期病虫害发生特点“对症下药”。以水稻害虫防治为例,三氟苯嘧啶(triflumezopyrim)是由美国科迪华公司开发的一

种具有全新化学结构和作用机理的介离子类杀虫剂,具有高效、低毒、作用机制独特等特点,并于2017年8月在我国获准正式登记,主要用于稻飞虱防治(芦志成等,2022);四唑虫酰胺(tetraniliprole)是由德国拜耳公司开发的一种新型邻甲酰胺基苯甲酰胺类广谱杀虫剂,具有杀虫谱广、用量少、残效期长等特点,并于2021年9月在我国正式登记用于水稻二化螟和稻纵卷叶螟等害虫防治(盛祝波等,2021)。这两种新型杀虫剂以大田叶面喷雾或种子处理方式对稻飞虱或鳞翅目害虫的优良防效已得到国内不同地区的多家单位试验印证(李卫等,2019;张国等,2019;赵林等,2020;郑先报和孙俊铭,2021),这为稻田主要害虫的科学防治和合理用药提供了重要参考。

随着新型农药的研发和病虫害综合防治技术的发展,带药移栽操作也越来越多地被接受并应用于水稻病虫害绿色防控过程中(张帅等,2018;湛国华等,2021)。然而,目前尚缺乏针对“送嫁药”防控效果及其对农药减量增效实践意义的全面评估和论述。鉴于此,本研究拟通过一系列试验来探究三氟苯嘧啶和四唑虫酰胺作为“送嫁药”在室内毒力、田间防效、农药利用率以及生态效益等方面的作用,以期为发展水稻病虫害轻简化绿色防控技术提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 供试稻飞虱

供试白背飞虱和褐飞虱分别于2021年6和8月采自于浙江省杭州市富阳区中国水稻研究所科研基地试验田,采集虫态为高龄若虫和成虫,带回室内后饲以分蘖期TN1水稻。杀虫剂室内毒力测定试验均使用上述田间种群室内饲养3代以内的初羽化雌成虫或3龄若虫,饲养和生测试验均在温度(27 ± 1)℃、相对湿度 $70\% \pm 5\%$ 、光周期16L:8D的人工气候室进行。

1.2 供试杀虫剂

10%三氟苯嘧啶悬浮剂(商品名:佰靓珑;田间喷雾用药量为 $150 \sim 240 \text{ mL/hm}^2$,下同),科迪华农业科技有限责任公司;200 g/L四唑虫酰胺悬浮剂(国腾; $105 \sim 150 \text{ mL/hm}^2$),70%吡虫啉(imidacloprid)水分散粒剂(艾美乐; $30 \sim 60 \text{ g/hm}^2$),拜耳作物科学(中国)有限公司;5%阿维菌素(avermectin)乳油(剑鼎; $120 \sim 180 \text{ mL/hm}^2$),江苏

剑牌农化股份有限公司;5.7%乙基多杀菌素(spinetoram)·28.3%甲氧虫酰肼(methoxyfenozide)悬浮剂(乙基·甲氧)(斯品诺; $300 \sim 360 \text{ mL/hm}^2$),美国陶氏益农公司;20%烯啶虫胺(nitenpyram)·60%吡蚜酮(pymetrozine)水分散粒剂(烯啶·吡蚜酮)(沪联歼飞; $75 \sim 150 \text{ g/hm}^2$);30%烯啶虫胺水分散粒剂(飞丹; $300 \sim 375 \text{ g/hm}^2$);2%甲维盐(emamectin benzoate)·10%虫螨腈(chlorfenapyr)悬浮剂(甲维·虫螨腈)(弑除;农民自防用量为 300 mL/hm^2),上海沪联生物药业(夏邑)股份有限公司。上述药剂在田间药效试验中除特别说明外均使用推荐中剂量,并按每公顷兑水450 L进行喷施。

1.3 室内毒力测定

室内带药移栽模拟试验采用秧盘秧苗进行,准备工作如下:在装有自制育秧基质的9寸秧盘($60 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$)中均匀播撒约100 g(干重)经浸种、催芽的稻种,之后覆以细土,适量喷水,放置于自然控温的玻璃温室中进行育秧,水稻品种为中浙优8号(浙江勿忘农种业股份有限公司)。待苗高 $15 \sim 20 \text{ cm}$ 、3~4叶时即可进行“送嫁药”喷施操作,具体操作如下:先用蒸馏水将10%三氟苯嘧啶悬浮剂配制成为 1000 mg/L 的母液,然后依据试验方案对单位面积的秧盘进行不同剂量处理的药液配制。例如,1倍剂量下每个秧盘的受药量约为 0.35 mg 有效成分(active ingredient, a. i.),即 $1.95 \text{ mg a. i./m}^2$ 秧盘,其他高倍剂量依次类推。上述所有处理施药总体积均为15 mL,使用便携式细雾喷壶(容积30 mL)在室内对秧盘秧苗进行均匀喷施,并在药后第2天时将秧苗移栽于带土苗盆(直径约10 cm)中,接虫处理分别安排在移栽后7~49 d(days after transplanting, DAT)进行(因室内饲养种群的虫龄结构及数量等因素导致两种飞虱的生测时间略有不同),每盆稻苗为1个重复,每个药剂浓度处理设置4个重复,每个重复接入15头飞虱初羽化雌成虫或3龄若虫,120 h后检查死亡虫数,并以空白对照组为参照计算各处理的校正死亡率。校正死亡率(%)=[(处理组死亡率-空白对照组死亡率)/(1-空白对照组死亡率)]×100。

1.4 田间药效试验安排

田间药效试验于2022年分别在浙江杭州(中国水稻研究所富阳科研基地)和湖南衡阳(湖南省衡阳市农业科学院梅花科研基地)进行,并根据播种期和当地病虫害发生情况等涵盖早、中、晚稻。

2022年浙江杭州的早稻试验主要测试不同剂

量四唑虫酰胺作“送嫁药”对二化螟为害的防控效果。早稻品种为中嘉早 17(2022 年 3 月下旬播种, 4 月下旬人工移栽), 采用低拱架薄膜覆盖保温育秧方式在田间准备秧苗, 秧盘播种操作如前所述。“送嫁药”剂量设置为 7.65, 12.75 和 25.50 mg a. i./m²秧床, 每个处理设置 3 个重复(小区), 每个小区面积约 135 m², 9 寸秧盘数量按照 600 个/hm²大田进行计算。送嫁药采用 5 L 喷壶进行均匀喷洒, 并于药后第 2 天进行人工移栽。

2022 年浙江杭州的中稻试验主要测试 5.85 mg a. i./m² 三氟苯嘧啶和 25.50 mg a. i./m² 四唑虫酰胺作“送嫁药”分别对白背飞虱和二化螟为害的防控效果。中稻品种为中浙优 8 号(2022 年 5 月下旬播种, 6 月中旬人工移栽)。秧盘秧苗准备和送嫁药喷施操作如前所述。另设常规防治和空白处理(移栽后不喷施任何化学药剂进行病虫害防治)。常规防治采用人工背负式喷雾器分别在 10 DAT 喷施吡虫啉、阿维菌素(第 1 次施药)、25 DAT 喷施三氟苯嘧啶(第 2 次施药, 但药后 3.5 h 时出现阵雨)和 34 DAT 喷施烯啶虫胺(第 3 次施药)防治白背飞虱和二化螟。需要说明的是, 由于 35 DAT 田间调查后发现“送嫁药”和常规喷雾处理下二化螟的枯心为害均达到防治指标, 故在当天同时进行了乙基·甲氧的药剂防治。以上两种施药模式均设置 3 个重复, 每个重复小区面积约为 220 m²。

2022 年湖南衡阳的晚稻试验主要测试 5.85 mg a. i./m² 三氟苯嘧啶和 25.50 mg a. i./m² 四唑虫酰胺作“送嫁药”分别对褐飞虱和二化螟为害的防控效果。晚稻品种为农香 42(2022 年 6 月下旬播种, 7 月中旬机插移栽)。秧盘秧苗准备和送嫁药喷施操作如前所述。另设常规防治和空白处理。常规防治采用人工背负式喷雾器分别在 15 DAT 喷施阿维菌素、烯啶·吡蚜酮和甲维·虫螨腈(第 1 次施药)和 25 DAT 喷施三氟苯嘧啶和乙基·甲氧(第 2 次施药)用于晚稻褐飞虱和二化螟的防治。以上两种施药模式均设置 3 次重复, 每个重复小区面积 600 m² 以上。

1.5 田间药效评价

白背飞虱、褐飞虱和二化螟的发生和为害调查以及药剂防效计算参考农药田间药效试验准则(GB/T 17980.1/4-2000)进行并稍作修改: 调查稻飞虱发生时, 各处理每个重复采用盆拍法平行跳跃式取样 10 点, 每点调查 2 丛, 记录飞虱种类及其各龄期的虫量; 调查二化螟为害时, 各处理的每个重复

采取平行跳跃式 5 点取样, 每点调查 10 丛, 记录枯鞘(心)等为害的丛数和株数。校正防效(%) = [(对照组虫口数或为害率 - 处理组虫口数或为害率)/对照组虫口数或为害率] × 100。

天敌调查采用马氏网法收集(何佳春等, 2022), 具体操作简述如下: 马氏网在水稻移栽 1 周时安装固定于不同处理组试验田块旁, 其收样口配有可替换的塑料瓶, 瓶中含约 1/2 容积的 75% 酒精, 飞入网中的昆虫因受到隔断的阻挡落于其上, 随后往高处透光面爬行, 最终掉入收样瓶。应注意及时清除收样口内部蜘蛛网, 防止昆虫进入收样瓶时受阻。样品收集瓶每隔 1 周更换 1 次, 带回室内后进行分类和计数, 寄生蜂标本分类鉴定参考傅强等(2021)。

1.6 数据分析

采用 DPS 14.50 数据处理软件完全随机设计的单因素方差分析模块进行数据分析, 室内毒力试验中不同剂量或处理时间以及田间药效试验中不同施药模式或处理时间之间的差异显著性检验采用 Student 氏 *t* 检验或 Duncan 氏新复极差法进行, 百分类数据在方差分析前需经过反正弦平方根转换。

2 结果

2.1 三氟苯嘧啶作“送嫁药”对稻飞虱的室内毒力测定

室内模拟“送嫁药”试验结果表明, 不同剂量三氟苯嘧啶对褐飞虱和白背飞虱的毒力随着移栽时间的延长而降低。对于褐飞虱雌成虫而言, 14 DAT 时, 1.95, 5.85 和 9.75 mg a. i./m² 剂量处理下的校正死亡率均在 80% 以上, 其中 9.75 mg a. i./m² 剂量处理下的校正死亡率显著高于 1.95 mg a. i./m² 剂量处理下的($P < 0.05$), 35 DAT 时 5.85 和 9.75 mg a. i./m² 剂量处理下校正死亡率下降至 75.14% ~ 79.66%, 均显著高于 1.95 mg a. i./m² 剂量处理下的($P < 0.05$), 且这两个高剂量处理间无显著差异($P > 0.05$); 49 DAT 时, 1.95 mg a. i./m² 剂量处理下校正死亡率仅为 24.14%, 显著低于高剂量处理下的($P < 0.05$)(5.85 和 9.75 mg a. i./m² 剂量下的校正死亡率分别为 37.93% 和 40.23%), 且高剂量之间无显著差异($P > 0.05$)(表 1)。对于褐飞虱若虫而言, 5.85 和 9.75 mg a. i./m² 剂量处理下在 21, 35 和 49 DAT 时校正死亡率均显著高于 1.95 mg a. i./m² 剂量处理下的($P < 0.05$), 且在 35 DAT 时仍可保持接近 80% 或以上的校正死亡率, 而 49 DAT 时下降至 57.63% ~ 61.02%, 但两者

之间无显著差异 ($P > 0.05$) (表 2)。此外,对于白背飞虱雌成虫而言, 5.85 mg a.i./m² 剂量处理下 28 DAT 的校正死亡率大于 80%,而在 35 和 42 DAT 时分别下降至 67.44% 和 58.14% (图 1)。

表 1 不同剂量三氟苯嘧啶作“送嫁药”处理对褐飞虱初羽化雌成虫的室内毒力比较
Table 1 Comparison of the laboratory toxicity of transplanting rice seedlings pretreated with different doses of triflumezopyrim against the newly emerged female adults of *Nilaparvata lugens*

移栽后天数 Days after transplanting (DAT)	不同剂量处理下的校正死亡率 (%) Corrected mortality rates under different dose treatments		
	1.95 mg a.i./m ²	5.85 mg a.i./m ²	9.75 mg a.i./m ²
14	82.14 ± 7.14 Ab	92.86 ± 3.57 Aab	100.00 ± 0.00 Aa
35	48.02 ± 5.79 Bb	75.14 ± 4.79 Ba	79.66 ± 4.38 Ba
49	24.14 ± 2.82 Cb	37.93 ± 3.3 Ca	40.23 ± 4.34 Ca

表中数据为平均值 ± 标准误; 表中剂量为每平方米秧苗喷施的杀虫剂有效成分含量; 同列数据后不同大写字母和同行数据后不同小写字母分别表示在 0.05 水平下同一剂量不同移栽后时间和同一移栽后时间不同剂量间差异显著, 两组和两组以上数据差异显著性分析分别采用 Student 氏 *t* 检验和 Duncan 氏新复极差法进行。表 2 和 3 同。Data in the table are mean ± SE and the doses represent the contents of insecticide active ingredient sprayed per square meter of rice seedlings. Different uppercase letters following the data in the same column and lowercase letters following the data in the same row indicate statistically significant differences among different time after transplanting at the same dose and among different doses at the same time after transplanting, respectively, at the 0.05 level. Significances of differences between two groups and among more than two groups are statistically analyzed using Student's *t*-test and Duncan's new multiple range test, respectively. The same for Tables 2 and 3.

表 2 不同剂量三氟苯嘧啶作“送嫁药”处理对褐飞虱 3 龄若虫的室内毒力比较
Table 2 Comparison of the laboratory toxicity of transplanting rice seedlings pretreated with different doses of triflumezopyrim against the 3rd instar nymphs of *Nilaparvata lugens*

移栽后天数 Days after transplanting (DAT)	不同剂量处理下的校正死亡率 (%) Corrected mortality rates under different dose treatments		
	1.95 mg a.i./m ²	5.85 mg a.i./m ²	9.75 mg a.i./m ²
21	82.76 ± 5.97 Ab	93.10 ± 2.82 Aa	98.28 ± 1.72 Aa
35	65.38 ± 4.38 Bb	79.49 ± 3.63 Ba	84.62 ± 2.09 Ba
49	25.42 ± 2.77 Cb	57.63 ± 3.25 Ca	61.02 ± 4.27 Ca

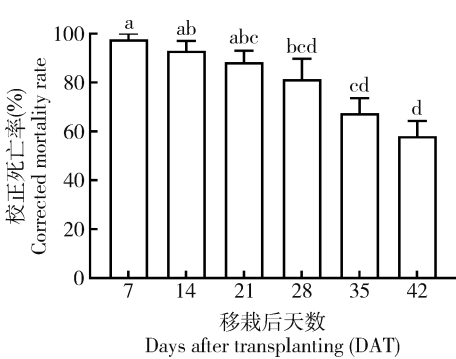


图 1 三氟苯嘧啶以 5.85 mg a.i./m² 剂量作“送嫁药”对白背飞虱初羽化雌成虫的室内毒力
Fig. 1 Laboratory toxicity of transplanting rice seedlings pretreated with 5.85 mg a.i./m² of triflumezopyrim against the newly emerged female adults of *Sogatella furcifera*

图中数据为平均值 ± 标准误; 柱上不同小写字母表示在 0.05 水平下不同移栽后天数间差异显著 (Duncan 氏新复极差法)。Data in the figure are mean ± SE. Different lowercase letters above bars indicate statistically significant difference among different days after transplanting at the 0.05 level (Duncan's new multiple range test).

2.2 不同剂量四唑虫酰胺作“送嫁药”对二化螟的田间防效

早稻田间试验结果表明, 四唑虫酰胺以 12.75 和 25.50 mg a.i./m² 剂量作“送嫁药”在 18 DAT 时对二化螟造成枯鞘的校正防效 (>85%) 均显著高于 7.65 mg a.i./m² 剂量处理对二化螟造成枯鞘的校正防效 (72.66%) ($P < 0.05$); 35 DAT 时, 25.50 mg a.i./m² 剂量处理对二化螟造成枯心的校正防效 (92.91%) 显著高于 7.65 mg a.i./m² 剂量处理对二化螟造成枯心的校正防效 (70.40%) ($P < 0.05$), 但与 12.75 mg a.i./m² 剂量处理之间无显著差异 ($P > 0.05$) (表 3)。此外, 18 和 35 DAT 在相同剂量四唑虫酰胺处理对二化螟造成枯鞘 (心) 的校正防效均无显著差异 ($P > 0.05$)。

2.3 “送嫁药”处理对中、晚稻水稻害虫的田间防效

2022 年浙江杭州中稻田间试验结果表明, 三氟苯嘧啶以 5.85 mg a.i./m² 剂量作“送嫁药”对白背飞虱的校正防效持效期较长, 49 DAT 的校正防效仍

表 3 不同剂量四唑虫酰胺作“送嫁药”对早稻二化螟的田间防效(浙江杭州,2022)
Table 3 Field efficacy of transplanting rice seedlings pretreated with different doses of tetranilprole against *Chilo suppressalis* in early-season rice (Hangzhou, Zhejiang, 2022)

移栽后天数 Days after transplanting (DAT)	不同剂量处理对二化螟造成枯鞘(心)的校正防效(%) Corrected control efficacy against withered leaf sheaths or dead hearts caused by <i>C. suppressalis</i> under different dose treatments		
	7.65 mg a. i. /m ²	12.75 mg a. i. /m ²	25.50 mg a. i. /m ²
18	72.66 ± 1.74 Ab	86.61 ± 1.26 Aa	90.31 ± 2.46 Aa
35	70.40 ± 0.59 Ab	87.74 ± 5.31 Aab	92.91 ± 4.13 Aa

校正防效(%) = [(对照组虫口数或为害率 - 处理组虫口数或为害率) / 对照组虫口数或为害率] × 100。Corrected control efficacy (%) = [(Pest number or damage percentage in the control group - Pest number or damage percentage in the treatment group) / Pest number or damage percentage in the control group. 表 4 和 5 同。The same for Tables 4 and 5.

可保持在 90% 以上,且与常规喷雾模式下 3~7 周的防效无显著差异($P>0.05$),但后者在移栽后进行了 2 次靶标害虫的药剂防治。用 12.75 mg a. i. /m² 四唑虫酰胺作“送嫁药”对二化螟为害的校正防效随作用时间的延长而降低,14 DAT 带药移栽和常规喷雾对枯鞘的校正防效之间无显著差异($P>0.05$),均在 85% 以上,但 35 DAT 时带药移栽对二化螟造成枯心的校正防效(77.31%)显著低于常规喷雾时的(83.75%)($P<0.05$)(表 4)。湖南衡阳晚稻田间试验结果表明,用三氟苯嘧啶和四唑虫酰胺作“送嫁药”时在 35 DAT 时的校正防效均显著高于常规处理第 1 次施药时的($P<0.05$),但其作用效果随作用时间的延长而降低,在 49 DAT 时对褐飞虱和二化螟为害的校正防效已分别降为 69.28% 和 52.23%,低于常规处理的第 2 次施药时的校正防效(表 5)。此外,综合两地水稻前期害虫防治用药情况可知,两种施药模式不仅在用药次数上有差别,而且在“送嫁药”后不增施农药的情况下,相比于大田常规喷雾可减少单位面积内杀虫剂有效成分用量的 98.7% 以上。

2.4 不同施药模式对寄生蜂群落的影响

从 2022 年浙江杭州中稻 14, 28 和 56 DAT 时 3 次天敌调查结果可以看出,两种施药模式下物种和个体数量排前 3 位的均为小蜂总科(Chalcidoidea)、姬蜂总科(Ichneumonoidea)和广腹细蜂总科(Platygastridea)。相比于“送嫁药”处理,常规防治模式下寄生蜂的总种类和总数量均减少,分别平均降低了 49.70% ± 9.04% 和 69.32% ± 7.32%(表 6),其中在 14 DAT 时降幅最大,广腹细蜂总科、分盾细蜂总科(Ceraphronoidea)和细蜂总科(Serpheoidea)受影响最为明显(比较 3 批数据中种类和数量的平均降幅,下同);类似地,对于湖南衡阳晚稻而言,寄生蜂的群落结构与杭州基本一致,常规防治模式相比

于“送嫁药”处理的寄生蜂总种类和总数量分别平均降低了 28.99% ± 8.77% 和 61.16% ± 9.99%(表 7),其中在 28 DAT 时降幅最大,分盾细蜂总科、细蜂总科和小蜂总科受影响最为明显。

3 讨论

近些年来,受害虫发生基数、作物布局、种植制度和气候条件等因素影响,水稻“两迁”害虫(稻飞虱和稻纵卷叶螟)和二化螟偏重发生,抗药性问题也日趋严峻(徐红星等, 2019; 刘杰等, 2023)。据全国农技推广中心发布的抗药性监测结果显示,多个地理种群的褐飞虱对吡虫啉、噻虫嗪、噻嗪酮、吡蚜酮、呋虫胺,白背飞虱对噻嗪酮,二化螟对氯虫苯甲酰胺、毒死蜱、三唑磷和阿维菌素均已达到高水平抗性(任宗杰等, 2022, 2023),这对我国水稻的安全生产构成严重威胁。近些年来,各级农技部门大力推广水稻病虫害绿色防控技术,“绿色植保”发展理念已深入人心,这对促进农药减量使用和推动农业绿色发展发挥了关键作用(徐红星等, 2017)。

在本研究中,我们选择了两种持效期长的新型杀虫剂——三氟苯嘧啶和四唑虫酰胺开展了水稻带药移栽的室内模拟和田间试验。对于稻飞虱防治而言,利用 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂对南粳 9108 水稻进行不同种子处理操作(拌种和浸种)后直播,结果表明,播种后 100 d 时所有处理组(0.375~1.5 g a. i. /kg 种子)对稻飞虱的防效均在 90% 以上(张国等, 2021);马明勇等(2022)使用 50% 三氟苯嘧啶种衣剂进行种子处理(品种为黄华占)后直播,结果表明,0.833 g a. i. /kg 稻种及以上剂量处理在播后 102 d 时对褐飞虱防控效果依然达 94% 以上;赵敏等(2022)在浙西北单季稻区(甬优 540)对比了背负式电动喷雾器和植保无人机在不同褐飞虱发生情况

表 5 不同施药模式对晚稻前期水稻害虫的防效比较 (湖南衡阳, 2022)

Table 5 Comparison of the control efficacy against rice pests at the early stage of late-season rice under different modes of pesticide application (Hengyang, Hunan, 2022)

施药模式 Modes of pesticide application	杀虫剂 Insecticides	施药时间 (移栽后天数) Time of pesticide application (days after transplanting)	杀虫剂总用量 Total application rate of insecticides (g a.i./hm ²)	田间调查时间 (移栽后天数) Time of field survey (days after transplanting)	褐飞虱 <i>Nilaparvata lugens</i>		二化螟 <i>Chilo suppressalis</i>	
					头数/百丛 Number of individuals per 100 hills	校正防效 Corrected control efficacy (%)	枯心率 Dead heart rate (%)	校正防效 Corrected control efficacy (%)
带药移栽 Transplanting insecticide-pretreated rice seedlings	5.85 mg a.i./m ² 三氟苯嘧啶 + 12.75 mg a.i./m ² 四唑虫酰胺	/	2.0	35	226.67 ± 23.33 Bb	77.07 ± 2.36 Aa	2.03 ± 0.22 Cb	82.36 ± 1.93 Aa
	49			546.67 ± 40.55 Ba	69.28 ± 2.28 Aa	9.69 ± 0.79 Ba	52.23 ± 3.87 Ab	
常规大田喷雾 Conventional field spraying	90 g a.i./m ² 烯啶·吡蚜酮 + 7.5 g a.i./m ² 阿维菌素 + 36 g a.i./m ² 甲维·虫螨腈	15	133.5	35	308.33 ± 16.91 Ba	68.80 ± 1.71 Ba	4.01 ± 0.34 Bb	65.13 ± 2.92 Ba
空白对照 Blank control	19.5 g a.i./hm ² 三氟苯嘧啶 + 112.2 g a.i./m ² 乙基·甲氧	25	131.7	49	411.67 ± 90.11 Ba	76.87 ± 5.06 Aa	8.09 ± 0.35 Ba	60.13 ± 1.72 Aa

乙基·甲氧 Spinetoram · methoxyfenozide; 5.7% 乙基多杀菌素 · 28.3% 甲氧虫酰肼悬浮剂 5.7% Spinetoram · 28.3% methoxyfenozide suspension concentrate; 烯啶·吡蚜酮 Nitenpyram · pymetrozine; 20% 烯啶虫胺 · 60% 吡蚜酮水分散剂 20% Nitenpyram · 60% pymetrozine water dispersible granules; 甲维·虫螨腈 Emamectin benzoate · chlorfenapyr; 2% 甲维盐 · 10% 虫螨腈悬浮剂 2% Emamectin benzoate · 10% chlorfenapyr suspension concentrate.

表 6 不同施药模式下稻田寄生蜂种群调查比较 (浙江杭州, 2022)

Table 6 Comparison of the species and individual numbers of parasitic wasps under different modes of pesticide application in paddy fields (Hangzhou, Zhejiang, 2022)

移栽后天数 Days after transplanting (DAT)	施药模式 Modes of pesticide application	小蜂总科 Chalcidoidea		分盾细蜂总科 Ceraphronoidea		瘦蜂总科 Cynipoidea		广腹细蜂总科 Platygastridea		细蜂总科 Serphoidea		姬蜂总科 Ichneumonoidea		青蜂总科 Chrysoidea		汇总 Total	
		S		S		S		S		S		S		S		S	
		TNI	S	TNI	S	TNI	S	TNI	S	TNI	S	TNI	S	TNI	S	TNI	S
14	带药移栽																
	Transplanting insecticide-pretreated rice seedlings	52	418	4	11	3	34	15	65	4	12	32	102	1	2	111	644
	常规大田喷雾	16	145	1	1	1	11	3	7	2	5	15	35	0	0	38	104
28	带药移栽																
	Transplanting insecticide-pretreated rice seedlings	30	113	4	21	0	0	13	36	2	5	9	35	0	0	58	210
	常规大田喷雾	19	54	2	3	2	3	3	4	1	1	10	17	1	1	38	83
56	带药移栽																
	Transplanting insecticide-pretreated rice seedlings	45	150	3	11	2	4	15	37	4	10	18	62	1	1	88	275
	常规大田喷雾	31	65	1	2	2	6	3	6	2	2	6	19	0	0	45	100

S: 物种数 Number of species; TNI: 个体总数 Total number of individuals. 表 7 同。The same for Table 7.

下的药剂防控效果,结果显示,20% 三氟苯嘧啶可湿性粉剂对以中低龄若虫为主害代的药后 45 d 的校正防效在 99% 以上。这些研究结果表明,无论种子处理还是大田叶面喷施,三氟苯嘧啶对稻飞虱均具有良好的防效和持效性。然而,本研究中使用不同剂量三氟苯嘧啶作“送嫁药”对两种飞虱的室内毒力和田间防效均与上述试验效果存在较大差距,但从作者多次重复试验的类似结果上看,其原因是否在于施药方式的区分尚不清楚。此外,虽然在两地田间试验中三氟苯嘧啶以 5.85 mg a. i. /m² 剂量作“送嫁药”表现出了不低于常规喷雾时的防治效果,但其最佳施用方法(如使用剂量、施药时间和移栽方式等)仍需进一步探索。

对于四唑虫酰胺而言,18% 四唑虫酰胺悬浮剂 30~40 g a. i. /hm² 处理在药后 21 d 的保苗效果为 85.98%~92.78%,杀虫效果为 88.67%~93.74%,优于对照药剂 35% 氯虫苯甲酰胺水分散粒剂(李卫等,2019);当 200 g/L 四唑虫酰胺悬浮剂在二代二化螟卵孵化高峰期茎叶喷雾后 21 d 的平均防效可达 95.07%,且具有较长的持效期(郑先报和孙俊铭,2021)。然而,最新研究表明,由于鱼尼丁受体突变导致了二化螟对四唑虫酰胺与氯虫苯甲酰胺存在显著的交互抗性(Sun *et al.*, 2023)。结合全国 9 省(自治区)29 县(市、区)监测点数据分析可知,2022 年高抗氯虫苯甲酰胺(>100 倍抗性)的二化螟对种群占比高达 78.6%(任宗杰等,2023),这可能导致四唑虫酰胺对一些已产生抗药性的二化螟地理种群的防控效果不好,比如本研究中杭州中稻和衡阳晚稻的田间试验。据笔者 2021–2023 年监测,浙江杭州试验田二化螟种群对四唑虫酰胺具有中等水平抗性(数据待发表),而湖南衡阳二化螟种群对氯虫苯甲酰胺的抗性在 2020 年时也已达到中等水平抗性(Ma *et al.*, 2024),再加之晚稻田间二代二化螟羽化峰次多,发育不整齐,防控难度加大,这也导致了农户自防时会选择非稻田登记农药来进行补防(如试验中用的甲维·虫螨腈)。值得注意的是,在杭州早稻试验中,四唑虫酰胺以 12.75 和 25.50 mg a. i. /m² 剂量作“送嫁药”处理在 35 DAT 时对二化螟为害的校正防效均在 85% 以上(表 3)。究其原因,这可能与施药后恰逢越冬代二化螟成虫处于交配产卵期有关。叶片上卵块孵化后向下转移并侵入叶鞘群集为害的过程中因四唑虫酰胺的胃毒作用和触杀活性会导致低龄幼虫死亡,由此降低了虫口数量和高龄幼虫的钻蛀为害。由此可见,虽然“送嫁

药”操作减少了大田农药用量,但控害效果并未降低,这主要缘于水稻带药移栽操作优于见虫、见症再施药的传统思维,更有利于水稻早期病虫害防控。

根据两地田间试验数据可以看出,秧苗带药移栽的“减药”作用不仅体现在用药次数上,而且在单位面积大田的实际用药绝对量方面也存在明显差异(表 4, 5),这主要与秧田移栽本田的面积折算有关。以本试验中人工手插秧施药计算,每公顷秧田通常可移栽 8~10 hm² 本田(若以机插秧方式则可移栽 80~100 hm² 本田),即使按照用药量最高的四唑虫酰胺(12.75 mg a. i. /m²)进行“送嫁药”处理的情况下,相比于本田喷施而言,手插秧仍可减少用药量 37.5%~50%。同时,我们亦可从农药利用率角度来分析“送嫁药”操作的减药作用。众所周知,水稻冠层喷雾是田间施药防治病虫害的最主要方式。研究表明,航空喷雾在水稻分蘖期和拔节孕穗期农药沉积的平均利用率(下同)仅分别为 32.4% 和 47.2%,显著高于传统药械喷施模式,如喷杆喷雾(分别为 11.4% 和 43.0%)、动力喷枪喷雾(分别为 6.1% 和 32.3%)和人工背负式喷雾(分别为 11.3% 和 39.7%)(王明,2019;魏琪等,2021)。由此可见,即使应用精准高效、省工省时的植保无人机仍会造成一半以上药剂沉积损失,从而产生防治成本增加以及生态环境破坏等不利影响;亦有学者提出,如果按田间推荐剂量、以叶面喷施方式防治褐飞虱的杀虫剂有效利用率不足 0.1%(顾中言等,2018)。因此,如何提高农药利用率是未来农业生产减药增效的重要途径之一。此外,相比于常规施药模式,两地“送嫁药”处理对稻田寄生蜂的种群和数量均产生了积极影响,这与之之前“三防两控”应用技术相关研究结论是一致的(姜海平等,2020;张明等,2023),该结果也得益于带药移栽操作减少了大田化学农药用量。综上所述,科学合理应用秧苗“送嫁药”将对发展水稻病虫害绿色防控技术具有重要的实践意义,但未来如何优化其科学安全的用药策略以提高药效、延长持效期仍需开展深入研究和实践。

参考文献 (References)

Chen JH, Ren SP, Chen RX, Wang QS, 2021. Application experiment of pretreating transplanted rice seedlings with high-dose insecticide on Yongyou rice. *J. Zhejiang Agric. Sci.*, 62(9): 1813–1815.
[湛金华, 任少鹏, 陈若霞, 王全胜, 2021. 高剂量送嫁药在甬优水稻上的应用试验. *浙江农业科学*, 62(9): 1813–1815]

Fu Q, He JC, Lv ZX, Barrion AT, 2021. Identification and Utilization of the Natural Enemies for Insects of Rice Ecosystem in China. Zhejiang Science and Technology Publishing House, Hangzhou. 27–723. [傅强, 何佳春, 吕仲贤, Barrion AT, 2021. 中国水稻害虫天敌的识别与利用. 杭州: 浙江科学技术出版社. 27–723]

Fu Q, Huang SW, 2019. Illustrated Diagnosis and Control of Rice Diseases and Pests. China Machine Press, Beijing. 277–283. [傅强, 黄世文, 2019. 图说水稻病虫害诊断与防治. 北京: 机械工业出版社. 277–283]

Gu ZY, Xu GC, Xu DJ, 2018. Analysis of pesticide efficiency of insecticides against brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *Chin. J. Pestic. Sci.*, 20(6): 704–714. [顾中言, 徐广春, 徐德进, 2018. 杀虫剂防治水稻褐飞虱的有效利用率分析. 农药学报, 20(6): 704–714]

He JC, Hu Y, Zhang M, Wei Q, Li B, He YT, Wan PJ, Lai FX, Wang WX, Yu WJ, Xie MC, Chen XS, Fu Q, 2022. Community structure and diversity of wasps which parasitize hemipteran pests in the rice-growing region of southern China. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 59(5): 1096–1108. [何佳春, 胡阳, 张明, 魏琪, 李波, 何雨婷, 万品俊, 赖凤香, 王渭霞, 于文娟, 谢茂成, 陈祥盛, 傅强, 2022. 中国南方稻区半翅目害虫寄生蜂物种多样性及群落结构分析. 应用昆虫学报, 59(5): 1096–1108]

Jiang HP, Guo R, Zhu F, Cai C, Pan DD, 2020. Exploration of “Three Prevention and Two Control” simplified pest management strategy for the diseases and pests covering the entire life cycle of rice. *China Agric. Technol. Ext.*, 36(12): 78–80, 32. [姜海平, 郭荣, 朱凤, 蔡超, 潘丹丹, 2020. 水稻全程病虫害“三防两控”轻简化防控技术模式探索. 中国农技推广, 36(12): 78–80, 32]

Li W, Zhang Y, Jia HR, Li BT, 2019. Field efficacy of tetraniliprole 18% SC on rice *Chilo suppressalis*. *Agrochemicals*, 58(3): 221–222. [李卫, 张月, 贾浩然, 李保同, 2019. 18%四唑虫酰胺悬浮剂对水稻二化螟的田间防效. 农药, 58(3): 221–222]

Liu J, Zeng J, Yang QB, Bian Y, Zhang YY, Huang C, 2023. Forecast of major disease and pest outbreak trends in crops in 2023. *China Plant Prot.*, 43(1): 32–35. [刘杰, 曾娟, 杨清坡, 卞悦, 张熠珩, 黄冲, 2023. 2023年农作物重大病虫害发生趋势预报. 中国植保导刊, 43(1): 32–35]

Lu ZC, Yang M, Liang S, Liu CL, Guan AY, 2022. Review of novel mesoionic insecticides. *Agrochemicals*, 61(1): 1–9, 23. [芦志成, 杨萌, 梁爽, 刘长令, 关爱莹, 2022. 新型介离子类杀虫剂研究进展. 农药, 61(1): 1–9, 23]

Ma MY, Wu SW, Peng ZP, 2022. Dressing seeds with triflumezopyrim controls the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). *Chin. J. Appl. Entomol.*, 59(5): 1143–1150. [马明勇, 吴生伟, 彭兆普, 2022. 三氟苯嘧啶种衣剂对褐飞虱控制效果研究. 应用昆虫学报, 59(5): 1143–1150]

Ma MY, Wu SW, Peng ZP, Li KL, 2024. Resistance monitoring of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) to chlorantraniliprole in five field populations from Hunan China 2013–2020. *J. Entomol. Sci.*, 59(1): 49–59.

Ministry of Agriculture and Rural Affairs, China, 2023. List of the first category agricultural diseases and pests. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202303/t20230314_6422981.htm. [农业农村部, 2023. 一类农作物病虫害名录. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202303/t20230314_6422981.htm]

Ren ZJ, Guo YW, Qin M, Wang YP, Li YP, Yuan HZ, Zhang S, 2023. National report on pesticide resistance monitoring and control countermeasures of agricultural pests, 2022. *China Plant Prot.*, 43(3): 62–71. [任宗杰, 郭永旺, 秦萌, 王云鹏, 李永平, 袁会珠, 张帅, 2023. 2022年全国农业有害生物抗性监测评估与治理对策. 中国植保导刊, 43(3): 62–71]

Ren ZJ, Qin M, Guo YW, Li YP, Zhao Q, Wang FL, Zhang S, 2022. National report on pesticide resistance monitoring and control countermeasures of agricultural pests, 2021 (rice and maize part). *China Plant Prot.*, 42(3): 54–60. [任宗杰, 秦萌, 郭永旺, 李永平, 赵清, 王凤乐, 张帅, 2022. 2021年全国农业有害生物抗性监测报告与治理对策(水稻、玉米部分). 中国植保导刊, 42(3): 54–60]

Sheng ZB, Wang J, Pei HY, Gao YX, Zhang J, Zhang LX, 2021. A new insecticide tetraniliprole. *Agrochemicals*, 60(1): 52–56, 60. [盛祝波, 汪杰, 裴鸿艳, 高一星, 张静, 张立新, 2021. 新型杀虫剂四唑虫酰胺. 农药, 60(1): 52–56, 60]

Sun H, Wang S, Liu C, Hu WK, Liu JW, Zheng LJ, Gao MY, Guo FR, Qiao ST, Liu JL, Sun B, Gao CF, Wu SF, 2023. Risk assessment, fitness cost, cross-resistance, and mechanism of tetraniliprole resistance in the rice stem borer, *Chilo suppressalis*. *Insect Sci.*, <https://doi.org/10.1111/1744-7917.13282>.

Wang M, 2019. Determination and Evaluation Model of Pesticide Deposition Rate for Utilization by Folia Spray in Rice Field. MSc Thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing. [王明, 2019. 水稻田喷雾技术的农药沉积利用率测定与评估模型构建. 北京: 中国农业科学院硕士学位论文]

Wei Q, Wan PJ, He JC, Lai FX, Wang WX, Fu Q, 2021. Control efficacies of insecticides against the brown planthopper *Nilaparvata lugens* under various field operation modes and indoor application patterns of insecticide spraying. *J. Plant Prot.*, 48(3): 483–492. [魏琪, 万品俊, 何佳春, 赖凤香, 王渭霞, 傅强, 2021. 不同作业方式和施药模式下杀虫剂对褐飞虱的防治效果. 植物保护学报, 48(3): 483–492]

Wu KM, 2018. Development direction of crop pest control science and technology in China. *J. Agric.*, 8(1): 35–38. [吴孔明, 2018. 中国农作物病虫害防控科技的发展方向. 农学学报, 8(1): 35–38]

Xu CC, Ji L, Chen ZD, Fang FP, 2018. Trends of green development of rice production in China. *Chin. Bull. Life Sci.*, 30(10): 1146–1154. [徐春春, 纪龙, 陈中督, 方福平, 2018. 中国水稻生产发展的绿色趋势. 生命科学, 30(10): 1146–1154]

Xu HX, Yang YJ, Zheng XS, Tian JC, Lu YH, Cheng JA, Lü ZX, 2019. Research on the management of rice insect pests in China since the 21 century: Advances and future prospects. *Chin. J. Appl. Entomol.*, 56(6): 1163–1177. [徐红星, 杨亚军, 郑许松, 田俊策, 鲁艳辉, 程家安, 吕仲贤, 2019. 二十一世纪以来我国水稻害虫治理成就与展望. 应用昆虫学报, 56(6): 1163–

1177]

Xu HX, Zheng XS, Tian JC, Lai FX, He JC, Lü ZX, 2017. Advances in the development and application of control technologies for insect pest management in paddy fields in China. *J. Plant Prot.*, 44(6): 925 – 939. [徐红星, 郑许松, 田俊策, 赖凤香, 何佳春, 吕仲贤, 2017. 我国水稻害虫绿色防控技术的研究进展与应用现状. 植物保护学报, 44(6): 925 – 939]

Zhang G, Yu JL, Shu ZL, Zhang JH, Yao KB, Fang JC, Luo GH, Wu JC, Ge LQ, 2021. Control effects on rice planthopper (Hemiptera: Delphacidae) and safety evaluation of natural enemies by seed treatment with triflumezopyrim in different ways. *J. Environ. Entomol.*, 43(2): 507 – 515. [张国, 于居龙, 束兆林, 张建华, 姚克兵, 方继朝, 罗光华, 吴进才, 戈林泉, 2021. 三氟苯嘧啶不同种子处理方式对稻飞虱的控制效应. 环境昆虫学报, 43(2): 507 – 515]

Zhang G, Yu JL, Zhuang YQ, Yao KB, Fang JC, Guo HF, Zhao LC, Shu ZL, 2019. Control effect and application technology of triflumezopyrim SC on rice planthoppers. *J. Agric.*, 9(4): 32 – 38. [张国, 于居龙, 庄义庆, 姚克兵, 方继朝, 郭慧芳, 赵来成, 束兆林, 2019. 三氟苯嘧啶对稻飞虱的控制效果与应用技术研究. 农学学报, 9(4): 32 – 38]

Zhang M, Liu LS, Fang SL, Zou D, Hu Y, 2023. Application effect of simplified control technology “Three Prevention and Two Control” on diseases and pests of ratooning rice. *Chin. Agric. Sci. Bull.*, 39(8): 79 – 84. [张明, 刘龙生, 方升亮, 邹丹, 胡瑶, 2023. 再生稻病虫害“三防两控”轻简化防治技术应用效果. 中国农学通报, 39(8): 79 – 84]

Zhang S, Shu KY, Huang XY, Liu FY, 2018. Control effect of pesticide treatment on early rice stem borer before transplanting. *China Plant Prot.*, 38(7): 68 – 70. [张帅, 舒宽义, 黄向阳, 刘方义, 2018. 移栽前杀虫剂处理秧苗对早稻二化螟的防效. 中国植保导刊, 38(7): 68 – 70]

Zhao L, Zhang Q, Jia HS, Li YN, Zhu XS, He P, Li B, Wu YW, 2020. Effectiveness of different doses of 10% triflumezopyrim SC on the control of brown planthopper. *Yunnan Agric. Sci. Technol.*, (5): 44 – 45. [赵林, 张琼, 贾华生, 李悦娜, 朱学松, 何平, 黎彬, 吴阳文, 2020. 10% 三氟苯嘧啶悬浮剂不同剂量对稻飞虱的防治效果. 云南农业科技, (5): 44 – 45]

Zhao M, Zhang GZ, He LJ, Huang YJ, Shentu LX, Fang XX, Fang XY, 2022. Effects and safety of triflumezopyrim on controlling rice planthoppers in single cropping rice. *Biol. Disaster Sci.*, 45(2): 131 – 135. [赵敏, 张国忠, 何丽娟, 黄元杰, 申屠兰欣, 方筱轩, 方雪勇, 2022. 三氟苯嘧啶防治单季稻主害代稻飞虱效果及安全性研究. 生物灾害科学, 45(2): 131 – 135]

Zheng XB, Sun JM, 2021. Study on the control effect of tetraniliprole on rice stem borer and rice leaf folder. *Anhui Agric. Sci. Bull.*, 27(23): 109 – 110. [郑先报, 孙俊铭, 2021. 四唑虫酰胺防治水稻二化螟、稻纵卷叶螟效果研究. 安徽农学通报, 27(23): 109 – 110]

(责任编辑：赵利辉)