

张亚莉, 高启超, 邓继忠, 等. M45 型多旋翼植保无人机减量施药对稻飞虱防治效果的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(6): 36-42.
ZHANG Yali, GAO Qichao, DENG Jizhong, et al. Effects of reduced pesticide application on rice planthopper control by M45 multi-rotor plant protection UAV[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(6): 36-42.

M45 型多旋翼植保无人机减量施药对 稻飞虱防治效果的影响

张亚莉^{1,2}, 高启超^{1,2}, 邓继忠^{1,2}, 陈鹏超^{2,3}, 黄晓宇^{2,3}, 林芳源⁴, 曾 文^{1,2}, 贾瑞昌^{1,2}
(1 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心, 广东 广州 510642;
3 华南农业大学 电子工程学院/人工智能学院, 广东 广州 510642; 4 广东省江门市新会区农业农村局, 广东 江门 529100)

摘要:【目的】研究多旋翼植保无人机减量施药对雾滴沉积效果以及稻飞虱防治效果的影响, 促进水稻减量施药技术发展。【方法】采用 M45 多旋翼植保无人机开展水稻施药田间试验, 选取 15.0 和 22.5 L/hm² 的施药液量, 以及人工施药推荐剂量 100%、90%、80% 的 3 种减量农药剂量, 研究不同施药液量和减量农药剂量对雾滴沉积效果以及稻飞虱防治效果的影响。【结果】水稻冠层上部的雾滴沉积量明显优于冠层下部, 2 种施药液量以及 3 种减量农药剂量对雾滴沉积量的影响不显著; 施药 1 周后稻飞虱数量显著减少。在相同施药液量条件下, 减量农药剂量的变化对稻飞虱防治效果影响不明显。80% 的农药剂量能满足稻飞虱防治要求。【结论】无人机水稻施药作业中可选择 80% 的农药剂量进行减量施药。本研究可为水稻减量施药、减少水稻植保作业成本提供有益参考。

关键词: 植保无人机; 减量施药; 雾滴沉积; 稻飞虱; 防治效果
中图分类号: S252 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2021)06-0036-07

Effects of reduced pesticide application on rice planthopper control by M45 multi-rotor plant protection UAV

ZHANG Yali^{1,2}, GAO Qichao^{1,2}, DENG Jizhong^{1,2}, CHEN Pengchao^{2,3}, HUANG Xiaoyu^{2,3},
LIN Fangyuan⁴, ZENG Wen^{1,2}, JIA Ruichang^{1,2}
(1 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 National Center for International Joint Research on Precision Agriculture Aviation Pesticides Spraying Technology, Guangzhou 510642, China; 3 College of Electronic Engineering/College of Artificial intelligence, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 4 Agricultural and Rural Bureau of Xinhui District, Jiangmen City, Guangdong Province, Jiangmen 529100, China)

Abstract: 【Objective】In order to explore the effect of reduced pesticide application on the control effect of rice planthopper by multi-rotor plant protection UAV and promote the development of reduced pesticide application technique for rice. 【Method】Field experiment was carried out using an M45 multi-rotor plant protection UAV for rice pesticides application. We used two spray volumes of 15.0 and 22.5 L/hm², and three

收稿日期: 2021-01-27 网络首发时间: 2021-09-26 08:49:01
网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20210924.1621.002.html>
作者简介: 张亚莉 (1975—), 女, 副教授, 博士, E-mail: ylzhang@scau.edu.cn; 通信作者: 曾 文 (1975—), 男, 讲师, 博士, E-mail: zengwen@scau.edu.cn; 贾瑞昌 (1975—), 男, 讲师, 博士, E-mail: rcjia@scau.edu.cn
基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2019B020221001); 广东省科技计划 (2018A050506073); 广东省现代农业产业共性关键技术研发创新团队项目 (2020KJ133); 国家重点研发计划 (2018YFD0200304)

pesticide dosages of 100%, 90%, and 80% of the conventional artificial control dosage. The effect of different spray volume and reduced dosage on the droplet deposition and the control of rice planthopper were analyzed. 【Result】 The droplet deposition in the upper part of the rice canopy was significantly higher than that in the lower part of the canopy. The differences of two spray volumes and three dosages on the droplet deposition were not significant. At the same time, the number of rice planthopper decreased significantly after one week of treatment. Under the condition of the same spray volume, the effect of reduced dosage on the control effect of rice planthopper was not significant. Rice spray dosage of 80% of manual application met the requirement of rice planthopper control. 【Conclusion】 The spray dosage of 80% can be considered as feasible dosage in the UAV application for rice. The results provide useful reference for promoting the reductions of pesticide application for rice and the operating cost of rice plant protection.

Key words: plant protection UAV; reduced pesticide application; droplet deposition; rice planthopper; control effect

作为我国主要的粮食作物, 2019 年国内水稻种植面积达到了 0.3 亿 hm^2 ^[1], 广东省水稻种植面积已达 179 万 hm^2 ^[2]。水稻是病虫害种类最多和危害程度最高的农作物之一, 广东省水稻种植区水稻纹枯病、稻纵卷叶螟、稻飞虱均达中等偏重程度^[3-4]。近年来, 由于效率高、作业不受地形限制、节水节药等优势, 植保无人机施药技术在水稻病虫害的防治上发展迅速^[5-9]。

植保无人机应用于水稻施药已开展大量研究。薛新宇等^[10]对 N-3 型无人直升机喷施药剂防治稻飞虱和稻纵卷叶螟的效果进行了研究。Qin 等^[11]研究了无人机的喷雾高度和速度等作业参数对水稻冠层上雾滴沉积和对稻飞虱的防治效果的影响。陈盛德等^[12]通过不同的飞行高度、飞行速度研究了不同喷雾作业参数对水稻冠层的雾滴沉积分布的影响。漆海霞等^[13]采用 5 款植保无人机进行稻田雾滴沉积分布试验研究。张海艳等^[14]测试并对比了电动单旋翼和电动多旋翼植保无人机在水稻田间的喷施作业效果。Chen 等^[15]在水稻抽穗扬花期和分蘖期比较了不同喷嘴对稻飞虱防治和雾滴沉积效果的影响。然而现有研究多从机型、喷头、飞行参数等方面对雾滴沉积分布规律进行分析, 植保无人机不同施药液量和不同施药剂量对水稻病虫害防治效果的影响研究较少。

为了促进减量施药技术在水稻生产中的研究和应用, 本研究以 M45 多旋翼植保无人机为施药载体开展了水稻航空喷雾试验, 探索不同施药液量和农药剂量在水稻不同冠层的雾滴沉积规律, 以及不同农药剂量对稻飞虱的防治效果, 以期为植保无人机农药减施增效提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 试验机型与试验地点

喷雾试验机型采用 M45 多旋翼植保无人机 (深圳高科新农技术有限公司, 深圳), 机身呈三角形设计, 并搭配压力式喷头, 其空机质量达到 27 kg, 载重质量为 20 kg, 飞行速度为 0~6 m/s, 喷洒宽度为 6~8 m, 飞行高度为 2~5 m, 整机喷雾量为 1.8~2.6 L/min。无人机作业如图 1 所示。

图 1 M45 多旋翼植保无人机

Fig. 1 M45 multi rotor plant protection UAV

试验地点位于广东省江门市新会区三江镇 (22°27'36"N, 113°08'24"E), 具体位置如图 2 所示。试验田晚稻采用撒播方式播种, 施药试验时间为晚稻分蘖末期, 晚稻平均高度为 0.7~0.9 m。

1.2 气象数据

地面最大风速为 2.6 m/s, 平均气温 20 ℃, 平均湿度为 53.6%, 大气压强为 101.5 kPa, 满足《植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南》的作业要求^[16]。

1.3 试验试剂与材料

铜版纸 (长 8 cm, 宽 3 cm)、诱惑红 (ALLURA

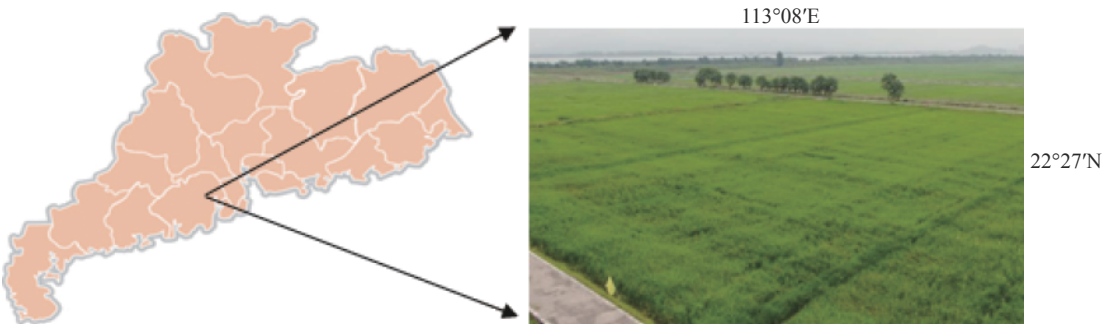


图 2 试验田位置
Fig. 2 Location of test field

RED) 试剂、金龟子绿僵菌 *Metarhizium anisopliae* 油悬浮剂 (有效成分总含量是 $8\times10^9\text{ mL}^{-1}$ ^[17])、万向夹、塑料杆、米尺、橡胶手套、自封袋、信封、Kestrel NK-3500 气象风速仪、HP Scanjet 200 扫描仪以及雾滴图像分析处理软件。

1.4 试验设计与数据处理

试验采用了 2 种施药液量: 15.0 和 22.5 L/hm², 以及人工施药金龟子绿僵菌推荐剂量的 100%、90%、80% 3 种减量农药剂量, 对不同施药液量和减量农药剂量对雾滴沉积效果以及稻飞虱防治效果的影响进行分析, 试验设计如表 1 所示。

表 1 试验田施药测试处理区
Table 1 Treatments for pesticide application test in experimental field

处理区 Processing area	施药液量/(L·hm ⁻²) Spray volume	农药剂量/% Pesticide dosage
1	15.0	100
2		90
3		80
4	22.5	100
5		90
6		80

根据试验需求, 将试验田划分为 6 个处理区, 每隔 20 m 插一面旗子, 作为每个小区的边界点, 共放置 14 面旗子, 每个小区面积约 0.2 hm²。在试验田附近放置 Kestrel NK-3500 气象风速仪, 用来监测地面实时气象信息。

喷洒药剂使用金龟子绿僵菌油悬浮剂进行现场配置, 采取喷洒 1 次调配 1 次的原则, 严格遵守标准配药步骤, 同时为了在铜版纸上显示的雾滴更明显, 在试验药剂里添加诱惑红试剂。

为了研究雾滴沉积与稻飞虱防治效果的关系, 按照水稻冠层的垂直方向选取上部和下部布置铜版纸, 将铜版纸夹在万向夹上, 调整铜版纸水平放

置, 再将万向夹固定在塑料管上插入稻田里, 本次试验塑料管的放置位置按照图 3 所示, 每个处理区里设置 2 条雾滴采集带, 每条雾滴采集带共设有 11 个采样点 (以-5, …, -1, 0, 1, …, 5 标记), 每个采样点间隔 1 m。作业时, 保持无人机的飞行高度在水稻冠层以上 1.5 m, 飞行速度为 5 m/s。

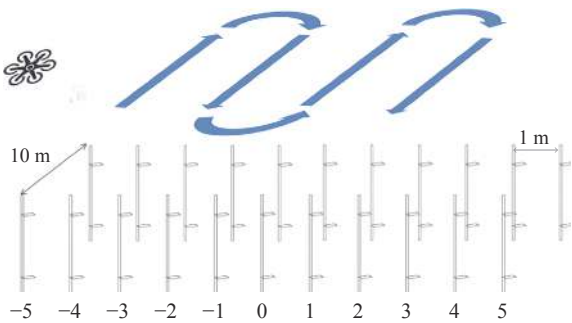


图 3 试验采样点的布置方式以及航线设计
Fig. 3 Layout of test sampling points and route design

本研究进行了 3 次稻飞虱防治效果的田间调查, 第 1 次调查为施药前 1 天, 第 2 次调查为施药后第 1 天, 第 3 次调查为施药后第 7 天。按照《稻飞虱测报调查规范》^[18], 在每个处理区内随机选择 30 株水稻, 然后采用目测法, 观察每株水稻上的稻飞虱数量并记录。根据各处理区施药前后稻飞虱的数量, 利用公式^[19]计算虫口减退率和防效。

虫口减退率 = $\frac{\text{施药前活虫数} - \text{施药后活虫数}}{\text{施药前活虫数}} \times 100\%$,

(1)

校正防效 = $\frac{(\text{施药区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率})}{(100 - \text{对照区虫口减退率})} \times 100\%$ 。

(2)

当无人机在一个处理区内施药结束后, 将铜版纸收好放入自封袋中, 然后放入事先编号的信封中, 带回实验室处理。使用 HP Scanjet 200 扫描仪, 设置图像是灰度、分辨率是 600, 将铜版纸扫描下来, 然后再通过 DepositScan 图像扫描软件对已扫

描图片进行分析, 得到每个采样点的粒径分布、覆盖率、雾滴沉积等信息, 同时计算出雾滴分布均匀性, 用变异系数 (Coefficient of variation, CV) 表示, 变异系数越小, 说明雾滴穿透性越好。数据统计处理在 SPSS23.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 不同施药液量的雾滴沉积效果

表 2 为施药液量为 15 L/hm² 的各采样点的雾滴

沉积效果。通过分析雾滴沉积量, 可以发现水稻植株上层的雾滴沉积要比水稻植株下层的好, 由采样点从左到右, 雾滴沉积量呈先增大后减小的趋势, 中间的 0 号采样点的水稻植株上层雾滴沉积量最高, 为 0.74 μL/cm², 水稻植株下层最高的是 2 号采样点, 为 0.30 μL/cm², 但差异不显著; 雾滴分布均匀性同样呈现先变差后变好的趋势, 4 号采样点水稻植株下层的雾滴分布均匀性最佳, 为 13.33%; 0 号采样点水稻植株下层的雾滴分布均匀性最差, 高达 97.02%。

表 2 施药液量为 15.0 L/hm² 时各采样点的雾滴沉积效果

Table 2 Droplet deposition effect at each sampling point with 15.0 L/hm² of spraying solution

采样点 Sampling point	雾滴沉积量 ¹⁾ /(μL·cm ⁻²) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level
-5	0.31±0.20a	0.06±0.04ab	30.82	65.66
-4	0.13±0.10a	0.04±0.03a	57.54	69.18
-3	0.17±0.15a	0.12±0.13ab	87.82	78.22
-2	0.49±0.28a	0.07±0.09ab	43.41	36.14
-1	0.46±0.73a	0.19±0.16ab	87.87	73.05
0	0.74±0.54a	0.19±0.18ab	74.67	97.02
1	0.50±0.45a	0.12±0.12ab	75.22	43.33
2	0.35±0.20a	0.30±0.39b	94.39	46.38
3	0.70±1.23a	0.10±0.07ab	44.76	46.84
4	0.15±0.10a	0.14±0.17ab	83.47	13.33
5	0.26±0.24a	0.03±0.03a	60.06	40.02

1) 数据为平均值±标准差; 同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05, Duncan's法)
1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P<0.05, Duncan's method)

表 3 为施药液量为 22.5 L/hm² 的各采样点的雾滴沉积效果。由采样点从左到右, 水稻植株上层雾

滴沉积量呈一直减小的趋势, 其中, -5 号采样点的雾滴沉积量最高, 为 0.53 μL/cm², 水稻植株下层的

表 3 施药液量为 22.5 L/hm² 时各采样点的雾滴沉积效果

Table 3 Droplet deposition effect at each sampling point with 22.5 L/hm² of spraying solution

采样点 Sampling point	雾滴沉积量 ¹⁾ /(μL·cm ⁻²) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level	植株上层 Upper level	植株下层 Lower level
-5	0.53±0.21a	0.17±0.18ab	54.02	75.62
-4	0.34±0.45a	0.05±0.03ab	51.69	69.67
-3	0.43±0.46a	0.06±0.04ab	57.72	86.29
-2	0.30±0.25a	0.09±0.04a	48.14	76.90
-1	0.24±0.32a	0.06±0.04a	81.31	83.63
0	0.34±0.32a	0.08±0.09a	75.92	83.24
1	0.34±0.52a	0.26±0.25b	58.08	86.42
2	0.29±0.25a	0.11±0.10ab	80.20	90.95
3	0.22±0.22a	0.14±0.09ab	94.30	68.42
4	0.34±0.34a	0.23±0.20ab	86.62	95.23
5	0.12±0.08a	0.08±0.05a	89.43	78.26

1) 数据为平均值±标准差; 同列数据不同小写字母表示差异显著(P<0.05, Duncan's法)
1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P<0.05, Duncan's method)

雾滴沉积量是先增大后减小的趋势，其中，最高的是 1 号采样点，为 0.26 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ ；水稻植株上层雾滴分布均匀性呈现持续变差的趋势，其中，-2 号采样点的雾滴分布均匀性最佳，为 48.14%，所以该农药剂量的小区内，普遍雾滴分布均匀性较差。

2.2 不同施药液量不同农药剂量的雾滴沉积效果

以雾滴沉积量为基础参数对各施药液量的雾滴沉积效果进行分析评价，结果 (表 4、表 5) 显示，

2 个不同施药液量的小区，除了 90% 的农药剂量，其他 2 个农药剂量 22.5 L/hm^2 的小区雾滴沉积量都优于 15.0 L/hm^2 的小区，出现这一现象的原因可能是，在试验时，水稻上方的垂直风场过小，在自然风的影响下，导致雾滴漂移，没有被铜版纸接收到。同时也说明增加施药液量，有助于雾滴沉积，而且水稻植株上层的雾滴均匀性好于水稻植株下层。

表 4 施药液量为 15.0 L/hm^2 时不同农药剂量雾滴沉积量效果试验结果

Table 4 The effect of different pesticide dosages on droplet deposition with 15.0 L/hm^2 of spraying solution

农药剂量/% Pesticide dosage	雾滴沉积量 ¹⁾ /($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层	植株下层	植株上层	植株下层
	Upper level	Lower level	Upper level	Lower level
100	0.377±0.425a	0.122±0.299a	54.02	75.62
90	0.396±0.420a	0.131±0.131a	51.69	69.67
80	0.300±0.345a	0.107±0.112a	57.72	86.29

1) 数据为平均值±标准差；同列数据不同小写字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan’s法)
1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$, Duncan’s method)

表 5 施药液量为 22.5 L/hm^2 时不同农药剂量雾滴沉积量效果试验结果

Table 5 The effect of different pesticide dosages on droplet deposition with 22.5 L/hm^2 of spraying solution

农药剂量/% Pesticide dosage	雾滴沉积量 ¹⁾ /($\mu\text{L}\cdot\text{cm}^{-2}$) Droplet deposition		雾滴分布均匀性/% Uniformity of droplet distribution	
	植株上层	植株下层	植株上层	植株下层
	Upper level	Lower level	Upper level	Lower level
100	0.552±0.547b	0.188±0.181b	54.02	75.62
90	0.188±0.129a	0.097±0.918a	51.69	69.67
80	0.384±0.369ab	0.104±0.070a	57.72	86.29

1) 数据为平均值±标准差；同列数据不同小写字母表示差异显著($P<0.05$, Duncan’s法)
1) The data are means ± standard deviations; Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P<0.05$, Duncan’s method)

2.3 稻飞虱防治效果分析

通过对施药前后共计 3 次的稻飞虱数量进行田间调查并分析防治效果，施药后第 1 次调查和第 2 次调查的不同农药剂量以及施药液量对虫口减退率和校正防效如表 6、表 7 所示。

施药后第 1 次调查结果显示，在 22.5 L/hm^2 施药液量、100% 农药剂量下，虫口减退率最高为 38%，其他情况下都集中在 15%~20%，22.5 L/hm^2 施药液量、100% 农药剂量下，校正防效最好 (30%)；施药后第 2 次调查结果显示，在 22.5 L/hm^2 施药液量、100% 农药剂量下，虫口减退率最高为 45%，22.5 L/hm^2 施药液量、100% 农药剂量下，校正防效最好 (53%)。

当施药液量是 15 L/hm^2 时，农药剂量是 100%、

90%、80% 的第 2 次调查的虫口减退率分别比第 1 次提高了 8、9 和 10 个百分点，校正防效分别提高了 30、31 和 31 个百分点；当施药液量是 22.5 L/hm^2 时，农药剂量是 100%、90%、80% 的第 2 次调查的虫口减退率分别比第 1 次提高了 7、17 和 13 个百分点，校正防效分别提高了 23、38 和 15 个百分点，明显发现施药后 1 周的防治效果比施药后 1 d 的防治效果好。

在施药液量是 15 L/hm^2 的情况下，农药剂量是 100% 与 80% 的第 2 次虫口退减率相差 3%，在施药液量是 22.5 L/hm^2 时，农药剂量 100% 与 80% 的第 2 次虫口退减率相差 2%，说明农药剂量对稻飞虱的防治效果影响不大。在农药剂量相同的情况下，施药液量多的比施药液量少的防治效果好，跟雾滴沉积量呈正相关关系。

表 6 施药液量为 15.0 L/hm² 时不同农药剂量对稻飞虱的防治效果

Table 6 Different pesticide dosages on the control effect of rice planthopper with 15.0 L/hm ² of spraying solution				
农药剂量/% Pesticide dosage	施药后第1次调查		施药后第2次调查	
	The first investigation after application		The second investigation after application	
	虫口减退率/%	校正防效/%	虫口减退率/%	校正防效/%
	Decline rate of insect population	Corrected control effect	Decline rate of insect population	Corrected control effect
100	16	5	24	35
90	19	8	28	39
80	17	6	27	37

表 7 施药液量为 22.5 L/hm² 时不同农药剂量对稻飞虱的防治效果

Table 7 Different pesticide dosages on the control effect of rice planthopper with 22.5 L/hm ² of spraying solution				
农药剂量/% Pesticide dosage	施药后第1次调查		施药后第2次调查	
	The first investigation after application		The second investigation after application	
	虫口减退率/%	校正防效/%	虫口减退率/%	校正防效/%
	Decline rate of insect population	Corrected control effect	Decline rate of insect population	Corrected control effect
100	38	30	45	53
90	13	2	30	40
80	20	37	43	52

3 结论

以高科新农 M45 多旋翼植保无人机为施药作业平台,在江门新会的水稻试验田进行航空雾滴沉积试验,重点研究了不同施药液量和不同农药剂量在水稻试验田对雾滴沉积量和稻飞虱的防治效果的影响,得出以下结论:

- 1) 农药剂量相同时,施药液量越大,雾滴沉积效果越好,但是每个小区的雾滴分布不均匀;在施药液量相同时,农药剂量越高,雾滴沉积的效果越好;每个小区明显水稻植株上层的雾滴沉积效果要好于下层。水稻冠层上部的雾滴沉积效果优于下层,主要是由于无人机施药位置高、雾滴小,难以穿透分蘖后期长势茂盛的水稻。
- 2) 试验结果发现,本研究中的 2 种施药液量、3 种农药剂量以及施药液量和农药剂量的交互作用对雾滴沉积量均没有显著影响。本次试验中设置的参数不能明显地体现其对雾滴沉积量的影响,下次可以把施药参数的间隔增大一些,增加更多组重复试验,减小误差,获得更准确的数据。
- 3) 100% 农药剂量与 80% 农药剂量对稻飞虱的防治效果没有显著差异,所以可以适当降低金龟子绿僵菌的农药剂量,达到农药减施目的。施药 7 d 后田间调查的稻飞虱防治效果优于施药后第 1 天,经过分析认为,金龟子绿僵菌属于广谱性杀虫真

菌,可以让稻飞虱受到致命感染,慢性中毒而死,而施药后 7 d 的调查周期相对较短,导致校正防效不高。在今后的研究工作中可适当延长调查周期,同时其他杀虫剂的减施效果有待进一步研究和分析。

综上所述,本研究使用多旋翼植保无人机减量施药用于防治水稻稻飞虱,防治效果较好,提高了农药利用率,降低了病虫害防治成本,同时对减轻环境污染有利。本研究为促进水稻减量施药研究提供了试验数据参考。由于水稻植株的中下层是稻飞虱集中危害部位,为改善植保无人机减量施药在水稻稻飞虱防治作业上的广泛应用,可从以下 2 个方面进行深入研究:进一步优选多旋翼植保无人机的作业参数,增加施药过程中药液雾滴的穿透性;探索航空静电喷雾等施药技术,增加水稻中下层的雾滴沉积量,提高稻飞虱防治效果。

参考文献:

[1] 中商产业研究院. 2019 年中国粮食种植面积和产量数据分析及 2020 年预测[EB/OL]. (2019-12-06)[2020-12-31]. https://www.askci.com/news/chanye/20191206/1642301155340_2.shtml.

[2] 广东省农业农村厅. 2019 年广东省粮食产销形势分析 [EB/OL]. (2020-02-13)[2020-12-31]. http://dara.gd.gov.cn/cxxsfx/content/post_2894942.html.

[3] 叶延琼, 章家恩, 李逸勉, 等. 1992-2010 年广东省水稻主要病虫害发生动态及防控措施[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(15): 3544-3549.

- [4] 陈波, 范兵, 陈科海, 等. 基于水稻主要病虫害的发生趋势论种质资源在水稻抗性育种中的应用[J]. [现代农业科技](#), 2012(3): 234-236.
- [5] WANG L, LAN Y, ZHANG Y, et al. Applications and prospects of agricultural unmanned aerial vehicle obstacle avoidance technology in China[J]. [Sensors](#), 2019, 19: 642.
- [6] ADITYA S N, PROF S C K. Adoption and utilization of drones for advanced precision farming: A review[J]. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 2016, 4(5): 563-565.
- [7] 李飞, 韩冲冲, 李保同. 阿维菌素无人机喷施的沉积特征及防效研究[J]. *江西农业大学学报*, 2019, 41(5): 914-923.
- [8] 缪建锟, 齐枫, 杨皓, 等. 植保无人机喷施 30% 肟菌·戊唑醇悬浮剂防治稻瘟病、稻曲病效果评价[J]. *农药*, 2020, 59(9): 680-683.
- [9] 姚伟祥, 兰玉彬, 郭爽, 等. 赣南山地柑桔园有人驾驶直升机喷雾作业雾滴沉积效果[J]. *中国南方果树*, 2020, 49(2): 13-18.
- [10] 薛新宇, 秦维彩, 孙竹, 等. N-3 型无人直升机施药方式对稻飞虱和稻纵卷叶螟防治效果的影响[J]. *植物保护学报*, 2013, 40(3): 273-278.
- [11] QIN W C, QIU B J, XUE X Y, et al. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers[J]. [Crop Protection](#), 2016, 85: 79-88. doi: 10.1016/j.cropro.2016.03.018.
- [12] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 小型无人直升机喷雾参数对杂交水稻冠层雾滴沉积分布的影响[J]. [农业工程学报](#), 2016, 32(9): 40-46.
- [13] 漆海霞, 陈鹏超, 兰玉彬, 等. 不同电动植保无人机稻田雾滴沉积分布试验研究[J]. [农机化研究](#), 2019, 41(9): 147-151.
- [14] 张海艳, 兰玉彬, 文晟, 等. 植保无人机水稻田间农药喷施的作业效果[J]. [华南农业大学学报](#), 2019, 40(1): 116-124.
- [15] CHEN P C, LAN Y B, HUANG X Y, et al. Droplet deposition and control of planthoppers of different nozzles in two-stage rice with a quadrotor unmanned aerial vehicle[J]. [Agronomy](#), 2020, 10(2). doi: 10.3390/agronomy10020303.
- [16] 中国农药工业协会. 植保无人飞机防治水稻病虫害施药指南: T/CCPIA020—2019[S]. 北京: 中国农药工业协会, 2019.
- [17] 彭国雄, 张淑玲, 夏玉先. 金龟子绿僵菌 CQMa421 农药及应用情况[J]. *中国生物防治学报*, 2020, 36(6): 850-857.
- [18] 农业部全国农业技术推广服务中心. 稻飞虱测报调查规范: GB/T15794.4—2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [19] 农业农村部农药检定所. 农药田间药效试验准则: GB/T17980.4—2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.

【责任编辑 霍 欢】

欢迎订阅 2022 年《华南农业大学学报》

《华南农业大学学报》是华南农业大学主办的综合性农业科学学术刊物。本刊主要报道农业各学科的科研学术论文、综述等, 涵盖动物科学、兽医学、农学、园艺学、土壤肥料、植物保护、生物学、林业科学、农业工程和食品科学等学科。本刊附英文目次和英文摘要。读者对象主要是农业院校师生、农业科研人员和有关部门的专业技术人员。

本刊为《中文核心期刊要目总览》综合性农业科学核心期刊, 《中国科学引文数据库 (CSCD)》、《中国科技论文统计源 (中国科技核心期刊)》及《中国学术期刊综合评价数据库》等来源期刊, 并排列在中国科学引文数据库被引频次最高的中国科技期刊 500 名以内; 为《CNKI》《万方数据库》《中国生物学文摘》《化学文摘》《EBSCO》《Scopus》《CABI》《剑桥科学文摘》《动物学记录》《食品科技文摘》《文摘杂志》《日本科学技术振兴机构数据库》等国内外 40 多家数据库 (文摘) 收录。

双月刊, 逢单月上旬出版, A4 幅面。定价 15.00 元/册, 全年 90.00 元。自办发行, 参加全国非邮发报刊联合征订发行, 非邮发代号: 6573。国内外公开发售, 欢迎订阅!

订阅款邮汇至: 300381 天津市卫津南路李七庄邮局 9801 信箱, 全国非邮发报刊联合征订服务部。

《华南农业大学学报》编辑部