



陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 航空喷施与人工喷施方式对水稻施药效果比较[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(4): 103-109.

航空喷施与人工喷施方式对水稻施药效果比较

陈盛德¹, 兰玉彬¹, 李继宇¹, 周志艳¹, 刘爱民², 徐小杰¹

(1 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心/国际农业航空施药技术联合实验室/华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 2 湖南隆平种业有限公司, 湖南 长沙 410006)

摘要:【目的】找出小型无人直升机航空喷施雾滴在水稻植株的沉积分布规律, 并比较农用无人机航空喷施方式和人工喷施方式的不同。【方法】通过喷施试验研究了市场上主流的 2 种不同型号无人机(油动单旋翼和电动单旋翼小型无人直升机)、不同作业参数对水稻冠层雾滴沉积分布结果的影响, 并比较了不同农用无人机航空喷施方式和人工喷施方式的效果和效率。【结果】航空喷施方式下的作业参数对雾滴沉积量和穿透性均有着相同的影响趋势, 均表现出作业速度越慢, 雾滴在植株间的沉积量越多, 穿透性越好; 作业高度越低, 沉积量越多, 但穿透性较差。但由于不同类型无人机旋翼风场强度的不同, 油动单旋翼小型无人直升机喷施作业时作业高度对雾滴的沉积均匀性影响明显, 而电动单旋翼小型无人直升机喷施作业时作业速度对雾滴的沉积均匀性影响明显。人工喷施作业的雾滴在水稻植株上、中、下 3 层的沉积均匀性最差, 且雾滴在水稻植株间的穿透性也最差, 为 110.42%, 人工喷施雾滴大部分都沉积在植株上层, 只有 3.27% 的药液量到达植株的底部, 而航空喷施作业有 10%~30% 的药液量能达到植株的底部。【结论】从不同喷施作业方式的效果和效益来看, 航空喷施雾滴沉积效果优于人工喷施雾滴沉积效果, 作业效率约为人工喷施方式的 10 倍, 且成本低, 效益高。

关键词:航空喷施; 人工喷施; 雾滴沉积; 农用无人机; 水稻; 喷施效果; 对比试验

中图分类号: S25

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2017)04-0103-07

Comparison of the pesticide effects of aerial and artificial spray applications for rice

CHEN Shengde¹, LAN Yubin¹, LI Jiyu¹, ZHOU Zhiyan¹, LIU Aimin², XU Xiaojie¹

(1 National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticides Spraying Technology/International Laboratory of Agricultural Aviation Pesticide Spraying Technology/College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2 Hunan Longping Seed Industry Co. Ltd., Changsha 410006, China)

Abstract:【Objective】To find out the deposition and distribution patterns of droplets sprayed by small unmanned helicopters in rice field, and compare the differences between agricultural UAV and artificial spray. 【Method】Spraying tests were performed to compare the influence of two leading UAVs in the market(oil-driven small single rotor UAV and electric-driven small single rotor UAV). The effects of different operating parameters on droplet deposition and distribution in rice canopy were studied. The spraying outcomes and efficiencies of aerial and artificial spray methods were compared. 【Result】The operating parameters of aerial spray had the same influential trend on both droplets deposition amount and penetrability. Slower operating speed led to more depositing droplets in plants and higher penetrability. Lower operating height led to more depositing droplets but lower penetrability. For oil-driven small single rotor UAV, operating height had an obvious effect on the depositing uniformity of droplets, and for electric-driven small single rotor UAV, operating speed had an obvious effect on the depositing uniformity of drop-

收稿日期: 2016-11-21 优先出版时间: 2017-06-22

优先出版网址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170622.1010.010.html>

作者简介: 陈盛德(1989—), 男, 博士研究生, E-mail: 1163145190@qq.com; 通信作者: 兰玉彬(1961—), 男, 教授, 博士, E-mail: ylan@scau.edu.cn

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0200700); 广东省自然科学基金自由申请项目(2015A030313420)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

lets because of different wind field strengths of rotors in different types of UAV. Artificial spray resulted in the worst depositing uniformity of droplets in upper, middle and lower rice plants and the lowest penetrability(110.42%) of droplets in rice plants. The droplets for artificial spray mainly deposited on upper plants and only 3.27% medicinal liquid reached the bottom of plants, while 10% – 30% reached the bottom for aerial spray. 【Conclusion】From the perspectives of spraying outcomes and efficiencies, aerial spray has better depositing effect and ten times higher efficiency compared to artificial spray. Aerial spray costs low and brings high benefit.

Key words: aerial spray; artificial spray; droplet deposition; agricultural UAV; rice; spraying effect; comparison test

水稻是我国主要的粮食作物之一,占全国粮食种植面积的 30% 以上^[1],在农业生产和保障粮食安全方面具有举足轻重的地位。然而,我国每年因为病虫害的爆发引起的粮食减产占总产量的 15% ~ 40%^[2-3],病虫害是农业生产中的重要灾害,是制约高产、优质、高效农业及农业可持续发展的主要限制因素之一^[4]。据统计,我国水稻生产中病害有 61 种,虫害有 78 种^[5],因此,在水稻生产中加强植物化学防治对确保粮食生产和丰产具有十分重要的意义。植保化学防治作业在水稻生产过程中具有劳动周期长、劳动强度大且时效性要求高的特点^[6]。目前,我国农作物化学防治作业主要有人工喷施、地面动力机械喷施和航空喷施 3 种方式^[7-8],其中,传统的人工喷施方式作业劳动强度大、效率低、耗时长,如遇到突发性和爆发性病虫害时,将不能满足防治要求而导致损失严重,且施药人员易发生中毒事件,地面大型机械喷施方式作业成本高、药剂有效利用率低,且下田作业困难,易损伤农作物及土壤物理结构,影响农作物后期生长^[9-10],而航空喷施方式作业速度快、成本低,且可解决水稻生长过程中地面机械难以下田作业等问题^[11-12],已逐渐成为人们心中首选的喷施作业方式。

目前,作为农业航空的重要标志之一的航空喷施作业在近年来的迅速发展和应用引起了人们广泛的关注^[13]。随着航空喷施方式的应用,针对航空喷施方式的作业参数和效果研究,国内外学者均进行了一些探索^[14-15]。张京等^[16]通过试验研究了 WPH642 型无人直升机不同喷雾参数对喷施雾滴在水稻冠层沉积效果的影响;张宋超等^[17]通过模拟试验研究了 N-3 型农用无人机在不同飞行参数和不同等级侧风的条件下,喷施雾滴在非靶标区域的药液漂移情况;Fritz 等^[18]通过试验评估了风场和喷嘴对航空喷施雾滴沉积和漂移分布效果的影响;Huang 等^[19]通过研究对雾滴沉积分布具有独立影响的因素特性,预测并试图选出控制和减少药液雾滴漂移的

最大影响因子。

国外的农业航空技术及设备已经处于成熟应用阶段,而我国的农业航空技术还处于起步阶段,相关技术和设备还比较落后^[20],对农用无人机航空喷施雾滴的沉积分布规律缺乏相应研究,以及对新型的航空喷施方式的雾滴沉积效果和效率与传统的人工喷施方式还缺乏客观的比较和评判。因此,本文通过对市场上主流的 2 种不同类型的农用无人机(油动单旋翼和电动单旋翼小型无人直升机)航空喷施作业和人工喷施作业进行研究,对比其雾滴沉积效果和效率,找出喷施作业雾滴沉积分布规律,并对农用无人机航空喷施作业方式与人工喷施作业方式的效率和效益进行分析,以期对航空喷施作业方式的快速推广和应用提供可靠的数据支持和理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验设备

喷雾试验采用的喷雾设备分别是湖南大方植保有限公司提供的 80-2 型油动单旋翼无人直升机、深圳高科新农技术有限公司提供的 HY-B-15L 型电动单旋翼无人直升机及植保器械市场上常用的 3WBD-16 型背负式电动喷雾器(图 1,表 1)。

采用便携式风速风向仪 Kestrel 4500(美国 NK 公司)监测和记录试验时环境的风速和风向,采用数字温湿度表 LS-204(中山市朗信电子有限公司),测量试验时环境的温度及湿度。

北斗定位系统为航空用北斗系统 UB351(上海司南卫星导航技术股份有限公司),具有 RTK 差分定位功能,平面精度达 $(10 + 5D \times 10^{-7})$ mm,高程精度达 $(20 + D \times 10^{-6})$ mm,其中, D 表示该系统实际测量的距离值,单位为 km。无人机搭载该系统移动站给作业航线绘制轨迹、获取无人机作业参数及给各个雾滴采样点定位,并通过北斗系统绘制的作业轨迹观察实际作业航线与各雾滴采集点之间的关系。



图 1 3 种施药方式的喷雾现场

Fig.1 Testing fields of three spray methods

表 1 喷雾设备主要性能指标参数

Tab.1 Main performance parameters of spray equipments

喷雾设备	最大载药量/L	喷杆长度/mm	喷头类型	喷头数量/个	喷施流量/(mL·min ⁻¹)	喷施压力/MPa	有效喷幅/m
80-2 型单旋翼油动无人机	16	1 800	离心雾喷头	4	2 400	0.60	4 ~ 6
HY-B-15L 型单旋翼电动无人机	15	1 800	扇形雾喷头	5	2 400	0.60	4 ~ 6
3WBD-16 型背负式电动喷雾器	16	1 200	圆锥雾喷头	1	1 400	0.15 ~ 0.40	

1.2 试验设计

1.2.1 试验场地 该试验于湖南省武冈市隆平种业公司杂交水稻制种基地进行,作物生育期为开花结实期,水稻平均高度 120 ~ 140 cm,水稻采用机械插秧,植株之间的行列间距为 17.0 cm × 14.5 cm。

1.2.2 采样点布置 如图 2 所示,根据无人机有效喷幅,选取长 × 宽约为 60 m × 12 m 的试验田进行喷雾试验,在采集区每隔 1 m 设置一处雾滴采集点(图 3),每处采集点分别在水稻上部、中部、下部的位置布置雾滴采集卡以收集雾滴。

1.2.3 作业方式设计 农用无人机喷施作业方式选定较低和较高 2 种飞行高度、较慢和较快 2 种飞行速度进行喷施试验,人工喷施方式按照普通的喷施方式进行。其 3 种喷施方式如图 1 所示。

1.3 数据处理

1.3.1 作业参数及轨迹处理 表 2 为通过飞机搭载北斗定位系统 UB351 获取的每次无人机喷施作业的飞行参数。

表 2 喷施作业参数

Tab.2 The parameters of spray tests

试验号	喷施方式	飞行高度/m	飞行速度/(m·s ⁻¹)
1	80-2 型单旋翼油动无人机	1.21	2.46
2	80-2 型单旋翼油动无人机	1.29	4.24
3	80-2 型单旋翼油动无人机	2.86	2.58
4	80-2 型单旋翼油动无人机	2.84	3.78
5	HY-B-15L 型单旋翼电动无人机	1.34	2.21
6	HY-B-15L 型单旋翼电动无人机	1.49	3.61
7	HY-B-15L 型单旋翼电动无人机	3.75	1.68
8	HY-B-15L 型单旋翼电动无人机	4.08	3.89
9	背负式电动喷雾器人工喷施		

图 4a 由北斗定位系统 UB351 对布置的 10 个采集点进行定位获取地理数据后绘制所得,图 4b 示飞机飞行时搭载北斗定位系统 UB351 而获取的无人机喷施作业的飞行轨迹。

1.3.2 数据采集与处理 每次试验完毕,待采集卡上的雾滴干燥后,收集,密封,带回实验室进行数据处理。

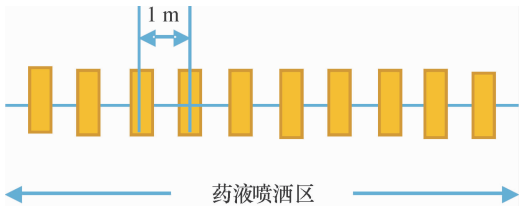


图 2 喷幅方案

Fig.2 Projected spray range



图 3 雾滴采集布点

Fig.3 Droplet collecting spot

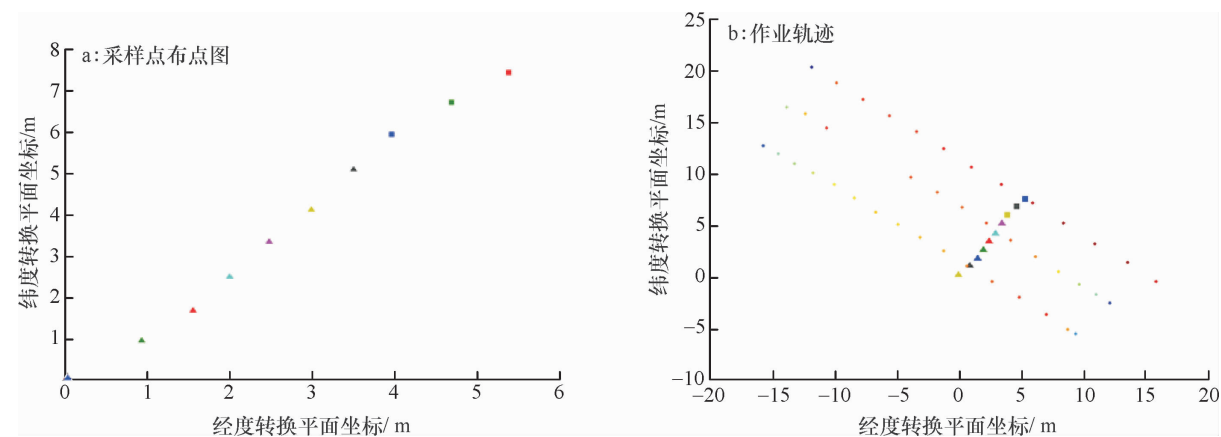


图 4 雾滴采样点分布及作业轨迹

Fig. 4 Distribution of droplet collection spots and flight trajectory

将收集的雾滴采集卡逐一用 HP Scanjet 200 扫描仪(惠普公司)扫描,扫描后的图像通过图像处理软件 DepositScan(V1.2)进行处理分析,得出在不同的航空喷施作业参数下的雾滴覆盖率、覆盖密度及单位面积上的沉积量。

为了表征试验中各采集点之间的雾滴沉积均匀性和沉积穿透性,本文以飞机有效喷幅区内每层不同采集点上雾滴沉积量的变异系数(CV)来衡量 3 组试验中雾滴的沉积均匀性,以飞机有效喷幅区内每个采集点上、中、下层雾滴沉积量的变异系数(CV)来衡量雾滴沉积穿透性,变异系数越小表示雾滴沉积越均匀。

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\%,$$

(1)

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)},$$

(2)

式中, S 为同组试验采集样本标准差; X_i 为各采集点单位面积上的雾滴沉积量, $\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$; $\bar{X}$ 为各组试验

采集点的平均雾滴量, $\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2}$; n 为各组试验采集点个数。

2 结果与分析

2.1 雾滴沉积量分析

喷施试验雾滴在水稻植株上、中、下 3 层的平均雾滴沉积量见表 3。结合表 2 的喷施作业参数与表 4 的雾滴沉积结果,可以看出以下 3 方面的影响。

2.1.1 无人机飞行速度参数对雾滴沉积量的影响

对于油动单旋翼小型无人直升机的试验组,作业高度为 1.21 m、作业速度为 $2.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的试验 1 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量达到最大。其中,试验 1 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量分别高于作业高度为 1.29 m、作业速度为 $4.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的试验 2 的 63.78%、157.24%、119.05%,作业高度为 2.86 m、作业速度为 $2.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的试验 3 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积总量高于作业高度为 2.84 m、作业速度为 $3.78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的试验 4 的 6.01%。

表 3 雾滴沉积结果分析¹⁾

Tab. 3 Analysis of the droplet deposition results

试验号	平均雾滴沉积量/ $(\mu\text{L} \cdot \text{cm}^{-2})$			均匀性/%			穿透性/%
	上层	中层	下层	上层	中层	下层	
1	0.287 1	0.149 2	0.101 2	95.18	83.89	110.63	43.98
2	0.175 3	0.058 0	0.046 2	123.73	82.84	54.46	62.55
3	0.204 0	0.081 0	0.062 3	50.63	42.20	60.75	54.30
4	0.161 6	0.092 8	0.073 2	56.67	34.67	41.43	34.71
5	1.709 8	1.341 3	0.558 3	116.51	115.55	43.21	39.91
6	0.667 3	0.358 6	0.229 8	64.83	42.81	47.97	43.86
7	0.996 9	0.708 1	0.681 6	95.87	89.16	110.49	17.95
8	0.227 7	0.109 3	0.117 5	64.43	63.28	61.07	35.63
9	75.796 1	10.299 4	2.906 3	89.42	151.18	129.95	110.42

1) 作业环境参数:平均风速 $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,平均温度 $30.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,平均相对湿度 71.4%。

对于电动单旋翼小型无人直升机的试验组,作业高度为 1.34 m、作业速度为 $2.21\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的试验 5 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量达到最大,作业高度为 4.08 m、作业速度为 $3.89\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的试验 8 雾滴沉积量最小,且航空喷施作业参数对雾滴沉积分布的影响趋势与油动单旋翼小型无人直升机相同。试验 5 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量分别高于作业高度为 1.49 m、作业速度为 $3.61\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的试验 6 的 156.23%、274.04%、142.95%,作业高度为 3.75 m、作业速度为 $1.68\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的试验 7 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量分别高于试验 8 的 337.81%、547.85%、480.09%。说明航空喷施雾滴在水稻植株上的沉积量受无人机作业速度参数的影响,作业速度越慢,雾滴在植株间的沉积量越多。

2.1.2 无人机飞行高度参数对雾滴沉积量的影响

对于油动单旋翼小型无人直升机的试验组来说,试验 1 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量达到最大。其中,试验 1 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量高于试验 3 的 40.71%、84.20%、62.44%;而试验 4 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量与试验 2 相比,除了作业高度不同,作业速度也存在不同,导致航空喷施雾滴在水稻植株中、下层的沉积量有较大的差异。

对于电动单旋翼小型无人直升机的试验组来说,试验 5 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积量达到最大,试验 8 的雾滴沉积量最小,且航空喷施作业参数对雾滴沉积分布的影响趋势与油动单旋翼小型无人直升机相同。试验 5 在水稻植株上、中层的雾滴沉积量分别高于试验 7 的 71.51%、89.42%,下层低于试验 7 的 18.09%,试验 6 在水稻植株上、中、层 3 层的雾滴沉积量分别高于试验 8 的 193.06%、228.09%、95.57%,说明航空喷施雾滴在水稻植株上的沉积量亦受到无人机作业高度的影响,作业高度越低,雾滴在植株间的沉积量越多。

2.1.3 人工施药方式下雾滴沉积量的分析 对于人工施药,沉积在水稻植株上层的雾滴沉积量远高于中、下层的雾滴沉积量,说明人工喷施作业的药液雾滴大部分都沉积在植株冠层,只有 3.27% 的药液量到达植株的底部,而航空喷施作业有 10%~30% 的药液量能到达植株的底部,高于人工喷施作业方式。

2.2 雾滴沉积均匀性分析

如表 3 所示,通过对每次试验结果分析,得出喷施雾滴沉积在水稻上、中、下 3 层的雾滴沉积均匀性,用变异系数表示,变异系数值越小,雾滴沉积分布均匀性越好。结合表 2 的喷施作业参数与表 3 的

雾滴沉积均匀性结果,其中,对于油动单旋翼小型无人直升机的试验组来说,试验 4 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积均匀性最好,分别为 56.67%、34.67%、41.43%,且试验 3 和试验 4 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积均匀性均优于试验 1 和试验 2 的雾滴沉积均匀性,说明当航空喷施作业高度较高时,雾滴的沉积均匀性优于作业高度较低时的雾滴沉积均匀性,而在同一作业高度下,作业速度的不同导致的雾滴沉积均匀性差异并不明显。对于电动单旋翼小型无人直升机的试验组来说,试验 6 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积均匀性最好,分别为 64.83%、42.81%、47.97%,且试验 6 和试验 8 在水稻植株上、中、下 3 层的雾滴沉积均匀性均优于试验 5 和试验 7 的雾滴沉积均匀性,说明当航空喷施作业速度较快时的雾滴沉积均匀性优于作业高度较低时的雾滴沉积均匀性,而在作业速度接近的情况下,作业高度的不同导致的雾滴沉积均匀性差异并不明显。

结合 2 种不同机型无人机的喷施作业参数对雾滴沉积均匀性的影响,油动单旋翼小型无人直升机喷施作业时作业高度因素对雾滴的沉积均匀性影响明显,而电动单旋翼小型无人直升机喷施作业时作业速度因素对雾滴的沉积均匀性影响明显。推断出现这一差别的原因是油动单旋翼小型无人直升机产生的旋翼风场强于电动单旋翼小型无人直升机的旋翼风场,当油动单旋翼小型无人直升机飞行高度过低时,其产生的旋翼风场太强而出现紊流,导致下方的雾滴沉积不均匀。

对于人工施药,人工喷施雾滴在水稻植株上、中、下 3 层的沉积均匀性最差,分别为 89.42%、151.18%、129.95%,说明在人工喷施作业方式下,雾滴沉积均匀性在很大程度上主要是由作业人员的施药路线来决定的,而人工作业很难保证作业路线的一致性,因而容易导致人工喷施作业的雾滴沉积均匀性比航空喷施作业的雾滴沉积均匀性差。

2.3 雾滴沉积穿透性分析

通过对沉积在水稻植株上、中、下 3 层的平均雾滴沉积量分析,可以得出雾滴在水稻植株间的穿透性,用变异系数表示,变异系数值越小,雾滴沉积穿透性越好。表 3 结果表明:对于油动小型无人直升机来说,试验 4 在水稻植株间的穿透性较好,达到 34.71%,而电动小型无人直升机的试验 7 在水稻植株间的穿透性最好,达到 17.95%。

结合 2 种不同机型的无人机喷施雾滴沉积结果及喷施作业参数,可以发现,无人机喷施作业参数对

雾滴在植株间的沉积穿透性有着相同的影响趋势。无人机航空喷施作业高度较高时的雾滴穿透性优于作业高度较低时的雾滴穿透性,说明作业速度因素影响雾滴在植株间的沉积穿透性。因为当作业高度较低时,单旋翼无人直升机的垂直下旋气流较大,造成水稻植株出现倒伏,导致水稻植株的中下层不能很好地沉积雾滴,使其雾滴在植株间的穿透性较差。另外,无人机航空喷施作业速度较慢时的雾滴穿透性优于作业速度较快时的雾滴穿透性,说明作业速度也影响雾滴在植株间的沉积穿透性。因为当作业速度较快时,药液经过喷头雾化后成为微小雾滴,在水平方向上的气流作用下,主要都以飘落的形式沉积分布在水稻植株的冠层,而当作业速度较慢时,微小雾滴在无人机旋翼下旋气流的作用下,会使部分雾滴沉积到水稻植株的中下层。

对于人工施药,雾滴在水稻植株间的沉积穿透性最差,为 110.42%。因为人工施药方式与农用无人机施药方式相比,药液雾滴在没有飞机旋翼下旋气流的作用下很难到达水稻植株的中下层,造成药液大部分都沉积在农作物的冠层。

2.4 不同喷施方式效益分析

表 4 为农用无人机航空喷施作业方式与人工喷施作业方式的喷药效率及效益对比结果。在实际喷施作业中,农用无人机喷施药液为高浓度的药液,用药量为 15 ~ 18 kg · hm⁻²,人工费用为 135 元 · hm⁻²;而人工喷施药液的用药量和用水量分别为 0.30 ~ 0.45 和 375 ~ 450 kg · hm⁻²,人工费用为 180 ~ 225 元 · hm⁻²。通过对无人机喷施方式与人工喷施方式的效率及效益对比可以看出,一般无人机航空喷施方式的工作效率约为人工喷施方式的 10 倍左右,而且成本低,效益高。

表 4 喷药效率及成本¹⁾
Tab.4 Spraying efficiency and cost

试验号	喷施效率/ (hm ² · min ⁻¹)	用药量/ (kg · hm ⁻²)	用水量/ (kg · hm ⁻²)	人工费/ (元 · hm ⁻²)
1	0.059	15.00 ~ 18.00	0	135
2	0.102	15.00 ~ 18.00	0	135
3	0.062	15.00 ~ 18.00	0	135
4	0.091	15.00 ~ 18.00	0	135
5	0.053	15.00 ~ 18.00	0	135
6	0.087	15.00 ~ 18.00	0	135
7	0.041	15.00 ~ 18.00	0	135
8	0.093	15.00 ~ 18.00	0	135
9	0.011	0.30 ~ 0.45	375 ~ 450	180 ²⁾ 225 ³⁾

1) 无人机有效喷幅均以 4 m 计算; 2) 前期; 3) 后期。

3 讨论与结论

3.1 讨论

农业航空作为现代化农业的重要组成部分和反映农业现代化水平的重要标志之一,目前在中的应用尚处于起步阶段,潜力巨大。本文通过应用油动单旋翼植保无人机和电动单旋翼植保无人机与人工喷施方式对杂交水稻进行喷施试验初步证实了航空喷施雾滴沉积效果和作业效益均优于人工喷施雾滴沉积效果,航空喷施作业方式具有作业效率高,雾滴沉积效果好,成本低等优点,正逐渐成为人们首选的植保作业方式。

根据前人的研究工作可知^[8,14,16,21],对于植保无人机航空喷施的研究重点主要在于不同作业参数对雾滴在作物冠层的沉积量和沉积均匀性上,而忽略了植保无人机与其他作业方式相比最独特的优点之一——旋翼风场对雾滴沉积穿透性的影响。目前,植保无人机航空喷施对雾滴在作物植株间的穿透作用的研究鲜见报道。在前人的研究基础上,本文对雾滴沉积量和沉积均匀性进行了分析,还探讨了植保无人机航空喷施参数对雾滴在水稻植株间的穿透性影响。对比本文中不同类型植保无人机的雾滴沉积结果可以看出,无人机旋翼下方风场可增加雾滴在作物植株间的穿透,同时也会造成航线两侧的农作物出现倾斜现象从而减少雾滴在农作物中下层的有效沉积,无人机旋翼下方不同强度的风场对雾滴在作物植株上的沉积有着不同程度的影响;因此,航空喷雾雾滴沉积规律的探寻需要从其根本上研究无人机旋翼下方风场对航空喷施雾滴沉积的影响机理,其影响机理应是未来农业航空喷施基础领域研究的重点。由于我国存在农用无人机机型多样、作业对象(农作物)品种繁多、作物倒伏程度不一、作业环境复杂多变,植保无人机航空喷施雾滴沉积分布机理研究在未来将会有巨大的研究潜力;同时,为保证雾滴在作物植株不同位置上的有效沉积,我们应该合理地选择较好的作业参数(飞行高度、飞行速度)来提高喷施作业的效率 and 效益。

3.2 结论

本试验应用不同类型的农用无人机(油动单旋翼和电动单旋翼小型无人直升机)航空喷施方式和人工喷施方式对杂交水稻进行喷施试验,通过不同喷施方式及不同喷施作业参数下的雾滴沉积结果分析和对比其喷施作业效果、效率及效益,得出如下结果:

(1) 根据雾滴沉积结果,航空喷施方式下的作业

参数对雾滴沉积量和穿透性均有相同的影响趋势,均表现为作业速度越慢,雾滴在植株间的沉积量越多,穿透性越好;作业高度越低,沉积量越多,但穿透性较差。

(2)由于不同类型无人机旋翼风场强度的不同,作业参数对雾滴沉积均匀性有不同的影响。油动单旋翼小型无人机喷施作业时作业高度对雾滴的沉积均匀性影响明显,而电动单旋翼小型无人机喷施作业时作业速度对雾滴的沉积均匀性影响明显。

(3)对于人工施药来说,雾滴在水稻植株每层的沉积均匀性及在水稻植株间的穿透性都很差,雾滴大部分都沉积在植株上层,只有 3.27% 的药液量到达植株的底部,而航空喷施作业有 10% ~ 30% 的药液量能到达植株的底部。

(4)从不同喷施作业方式的效果和效益来看,航空喷施雾滴沉积效果优于人工喷施雾滴沉积效果,作业效率约为人工喷施方式的 10 倍,且成本低,效益高。

致谢:在本文所述试验的开展过程中,得到了袁隆平农业高科技股份有限公司、深圳高科新农技术有限公司、大方植保有限公司相关技术人员及华南农业大学王建伟、黄聪、姚伟祥等的大力支持和帮助,在此表示深深的谢意!

参考文献:

[1] 张曲,肖丽萍,蔡金平,等. 我国水稻生产机械化发展现状[J]. 中国农机化, 2012, 33(5): 9-12.

[2] 焦险峰,杨邦杰,裴志远. 基于分层抽样的中国水稻种植面积遥感调查方法研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(5): 105-110.

[3] 李波,刘占宇,黄敬峰,等. 基于 PCA 和 PNN 的水稻病虫害高光谱识别[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 143-147.

[4] 戴小枫,叶志华,曹雅忠,等. 浅析我国农作物病虫草鼠害成灾特点与减灾对策[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 119-122.

[5] 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.

[6] 周志艳,袁旺,陈盛德. 中国水稻植保机械现状与发展趋势[J]. 广东农业科学, 2014, 41(15): 178-183.

[7] 杨学军,严荷荣,徐赛章,等. 植保机械的研究现状及

发展趋势[J]. 农业机械学报, 2002, 33(6): 129-131.

[8] 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(17): 40-46.

[9] 弋晓康. 我国植保机械的现状与发展趋势探讨[J]. 农机化研究, 2007(3): 218-220.

[10] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 13-15.

[11] 薛新宇,梁建,傅锡敏. 我国航空植保技术的发展前景[J]. 中国农机化, 2008, 29(5): 27-28.

[12] 张东彦,兰玉彬,陈立平,等. 中国农业航空施药技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 53-59.

[13] 周志艳,臧英,罗锡文,等. 中国农业航空植保产业技术创新发展战略[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 1-10.

[14] 邱白晶,王立伟,蔡东林,等. 无人直升机飞行高度与速度对喷雾沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 25-32.

[15] ZHANG D, CHEN L, ZHANG R, et al. Evaluating effective swath width and droplet distribution of aerial spraying systems on M-18B and Thrush 510 G airplanes[J]. Int J Agric Biol Eng, 2015, 8(2): 21-30.

[16] 张京,何雄奎,宋坚利,等. 无人驾驶直升机航空喷雾参数对雾滴沉积的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 94-96.

[17] 张宋超,薛新宇,秦维彩,等. N-3 型农用无人直升机航空施药飘移模拟与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(3): 87-93.

[18] FRITZ B K, HOFFMANN W C. Update to the USDA-ARS fixed-wing spray nozzle models[J]. Trans ASABE, 2015, 58(2): 281-295.

[19] HUANG Y, ZHAN W, FRITZ B K, et al. Optimizing selection of controllable variables to minimize downwind drift from aerially applied sprays[J]. Appl Eng Agric, 2012, 28(3): 307-314.

[20] 薛新宇,兰玉彬. 美国农业航空技术现状和发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2013, 44(5): 194-201.

[21] 秦维彩,薛新宇,周立新,等. 无人直升机喷雾参数对玉米冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 农业工程学报, 2014, 30(5): 50-56.

【责任编辑 李晓卉】