

防飘喷头在植保无人飞机水稻病害防治应用研究

冯玉茹¹ 王香² 徐少卿² 于晓庆³ 李天² 韩冷² 宋坚利^{2*}

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193;

2. 中国农业大学 理学院,北京 100193;

3. 山东省农业技术推广中心,济南 250199)

摘要 为了解植保无人飞机应用文丘里防飘喷头对水稻病害的防效影响。利用植保无人飞机搭载文丘里防飘喷头的方法,分析雾滴沉积特性及水稻纹枯病、稻曲病的防治效率。结果表明:应用文丘里防飘喷头雾滴在冠层上部与下部以及总体沉积量均超过应用常规扇形喷头的雾滴沉积量,相对于小雾滴,植保无人飞机采用大雾滴可以改善雾滴在冠层中的穿透性及喷幅范围内的雾滴分布均匀性;不论是粗雾滴还是细雾滴,植保无人飞机均可以有效防治稻曲病,而且防效优于传统的背负式喷雾器;纹枯病植保无人飞机应用文丘里防飘喷头施药后,其防效达到80%,与背负式喷雾器防效相当,较常规扇形喷头防效提高30%。因此,水稻叶部病害应用文丘里防飘喷头能够达到病害防治要求。

关键词 植保无人飞机 文丘里防飘喷头 雾滴分布均匀性 雾滴粒径 防效

中图分类号 S471

文章编号 1007-4333(2022)09-0195-09

文献标志码 A

Research on the application of air induced nozzle in rice disease control by plant protection unmanned aerial vehicle

FENG Yuru¹, WANG Xiang², XU Shaoqing², YU Xiangqing³, LI Tian², HAN Leng², SONG Jianli^{2*}

(1. College of Resource and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. Shandong Agricultural technology Extension Center, Jinan 250199, China)

Abstract In order to understand the effect of venturi nozzle application in unmanned aerial vehicle (UAV) on rice disease control, a venturi anti-drift nozzle was installed to a UAV to analyze the droplet deposition characteristics and the control efficiency of rice blast and rice sheath blight. The results showed that: The deposition of droplets in the upper and lower part of canopy and the overall deposition of droplets with venturi nozzle exceeded those with the conventional fan nozzle; The use of large droplets in UAV improved the penetration of droplets in the canopy and the uniformity of droplet distribution within the spray area compared with small droplets; In terms of grain blight disease control, the application of venturi nozzles in UAV for plant protection was 80% as effective as that of the backpack sprayer, and 30% more effective than the conventional fan nozzles. Therefore, rice foliar diseases can be controlled by the application of venturi nozzle in UAV.

Keywords unmanned aerial vehicle; anti-induced nozzle; droplet distribution uniformity; droplet size; disease control effect

2020年我国水稻的种植面积达到 3×10^7 hm²,
作为第二大粮食作物的水稻在我国的粮食供给中占

有举足轻重的地位^[1]。长久以来,我国用于水稻病
虫草害防治的主要施药农机多为是小型背负式喷雾

收稿日期:2021-12-24

基金项目:国家自然科学基金项目(31761133019);三亚中国农业大学研究院2022年引导资金项目(SYND-2022-23)

第一作者:冯玉茹,硕士研究生,E-mail:1073670238@qq.com

通讯作者:宋坚利,副教授,主要从事植保机械与施药技术研究,E-mail:songjianli170@163.com

器,此类机型作业效率低、劳动强度大、农药利用率低,因此,“十五”期间中国农业大学药械与施药技术中心,成功研制水田低量风送喷杆喷雾机^[2]。随后山东三禾永佳动力有限公司、山东华盛农业药械有限责任公司、北京丰茂植保机械有限公司等多家植保机械厂家相继研制水田喷杆喷雾机,并广泛应用于水稻病虫害防治。然而,由于全国水稻产区各地立地条件不同,喷雾施药机入水田作业压苗严重,水田喷杆喷雾机的应用因此受到限制。自2008年始,我国重点开展植保无人飞机研发,经过多年研究与生产应用^[3-4],植保无人飞机低空低量施药相对于传统的人工和地面植保机具,具有作业效率高、受地形或作物限制小和可适期作业的独特优势,符合现代农业的发展趋势和国家“加快实现农业机械化”的发展战略,已经成为农业病虫害防治领域的常规手段。中国2020年度植保无人飞机行业发展报告中指出:2020年市场保有量约有11万台,全国年作业面积约达到 7×10^7 hm²,90%的水稻田都使用过植保无人飞机飞防服务。植保无人飞机飞防服务不但使种植水稻的机械化程度得到提升,而且在防治病虫害中也取得了较好的应用成果^[5]。

植保无人飞机虽然具有省工、省水、省药等优势^[6],但由于飞行作业过程中,无人机飞行高度高、速度快,喷施农药的喷雾雾滴存在雾滴飘移严重的问题,导致临近地块的农作物常被过度喷施而引起药害,有时会产生赔偿纠纷。为了明确植保无人飞机的雾滴飘移机理,解决无人机喷雾过程中雾滴飘移的问题^[7-9],王昌陵等^[10]和马钰等^[11]研究表明,在植保无人飞机上应用文丘里防飘喷头可以显著降低下风向雾滴飘移水平。由于文丘里防飘喷头雾滴粒径大,抗风能力强,目前是国外地面植保设备的标准配置。该喷头初期大量应用于喷杆喷雾机^[12],近年来Torrent等^[13]和Garcera等^[14]开展了将文丘里防飘喷头应用于果园风送喷雾机的效果研究,结果表明文丘里防飘喷头的作业效果与常规喷头相当,并能够显著减少雾滴飘移。

虽然植保无人飞机安装防飘喷头能够显著减少喷雾过程中雾滴的飘移和喷雾量损失,但是由于防飘喷头的雾化等级均为粗雾滴以上等级,其在靶标上的沉积密度低,是否能够影响农药生物防效目前还有待研究。因此,为研究水稻植保无人飞机病害防治过程中的雾滴飘移问题拟,以水稻为研究对象,

采用植保无人飞机搭载文丘里喷头的方法,测试雾滴在水稻冠层中的沉积特性以及对防治稻曲病和纹枯病的防效影响,旨在验证其在水稻病害防治中的可行性,为解决植保无人飞机雾滴飘移问题提供依据。

1 材料与方 法

1.1 供试药剂和指示剂

供试药剂采用亮泰750 mL/hm²(1.7%阿维菌素+4.3%氯虫苯甲酰胺)+阿米妙收600 mL/hm²(125 g/L苯醚甲环唑+200 g/L嘧菌酯)+顶峰300 g/hm²(50%吡蚜酮)+75%三环唑450 g/hm²(Syngenta Group,中国);指示剂为浓度2 g/L胭脂红(上海染料研究所有限公司南通分公司,中国)。

1.2 试验仪器

DJI—MG1P多旋翼植保无人飞机(大疆创新科技有限公司,中国)、喷头类型为常规扇形喷头LU120—01(Lechler,德国)和文丘里防飘喷头IDK120—01(Lechler,德国);背负式喷雾器WSJB—6(山东卫士植保机械有限公司,中国),喷头类型为厂家随机配置的空心圆锥雾喷头;酶标仪(BIO—RAD,美国伯乐)用来测示踪剂在喷雾靶标上的沉积量;Spray Tec激光粒径仪(Malvern Instruments Limited,英国)用来测试喷头雾滴粒径;聚乙烯软管(深圳东正和塑胶有限公司,中国)用来收集示踪剂在喷雾靶标上的沉积量。

1.3 胭脂红标准曲线绘制

标准曲线的绘制采用0.1%的非离子表面活性剂吐温-80(Solarbio,中国)+5%浓度胭脂红(上海染料研究所有限公司南通分公司,中国),配置质量浓度分别为4、5、6、20、30、40、50 mg/L的胭脂红标准溶液,酶标仪于波长505 nm测其吸光度值,每个浓度连续测定3次,取平均值对胭脂红标准溶液浓度做标准曲线用于沉积分布测试。

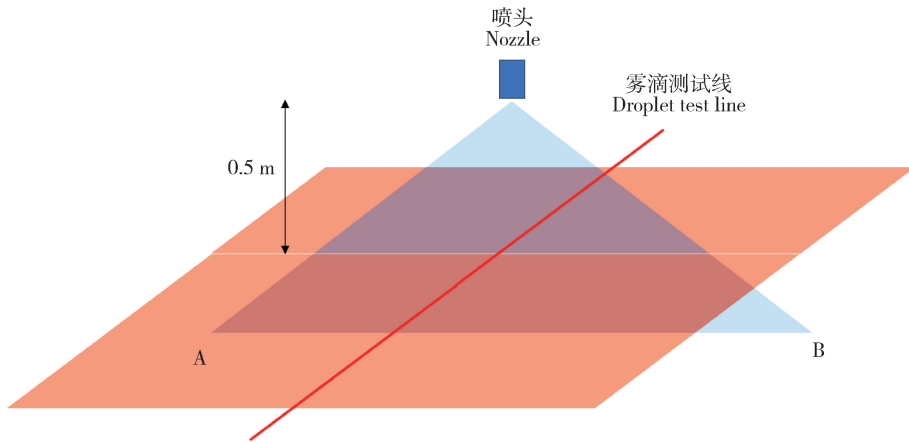
1.4 喷头类型和沉积量及水稻病害防治效果的关系测定

1)喷头雾滴粒径测试。

为了研究雾化质量对沉积的影响,本试验对LU120—01、IDK120—01(Lechler,德国)喷头进行雾滴粒径测试,测试区域为喷头下方距离0.5 m处雾流场范围内的雾滴,测试过程中室温及空气湿度均保持恒定22℃,60%,试验介质为清水,每次测试时间为30 s,喷雾压力为0.3 MPa压力。

测试时,将喷头布置在喷雾桁架上,喷雾扇面与激光粒径仪的激光垂直,位置处于雾流场一侧边界,启动液泵喷雾,待喷雾压力达到 0.3 MPa 后,启动

喷雾桁架,喷头垂直激光水平移动(图 1),30 s 后激光到达雾流场另一侧边界,测试停止。每次测试重复 3 次。



橘红色平行四边形 A 表示为喷头下方距离 0.5 m 处雾流场范围内的雾滴;蓝色三角形 B 为雾滴喷雾所形成的扇形面,红色雾滴测试线为机器获取数据位置。

The orange parallelogram A represents the droplets within the spray range at a distance of 0.5 m below the nozzle. Blue triangle B is the fan surface formed by the droplet spray. The red droplet test line is the location where the machine acquires data.

图 1 雾滴粒径测试示意图

Fig. 1 Schematic diagram of fog droplet size test

2) 田间试验。

田间试验由两部分组成:一部分是测试水稻冠层中的雾滴沉积特性;另外一部分是稻曲病和纹枯病防效测试。

田间试验在安徽省庐江县(北纬 $31^{\circ}57'$, 东经 $117^{\circ}01'$)进行,供试水稻品种荃优 822,长势良好,水稻处于分蘖末期。平均高度 0.65 m,叶面积指数 6.7。试验期间,稻田中平均温度为 27°C ,平均相对湿度为 89%,平均风速为 $1.6\sim 2.4\text{ m/s}$ 。

3) 水稻冠层雾滴沉积特性测试。

测试分别进行 3 个处理,详见表 1。每个处理 3 次重复。植保无人机采用 DJI—MG1P 分别配装常规扇形喷头 LU120—01 喷头和文丘里防飘扇形喷头 IDK120—01,两种喷头均为喷雾角 120° 的 ISO01 号喷头,喷头流量 0.41 L/min,喷雾压力 0.3 MPa,两个处理的飞行参数相同。为了同植保无人机做对比,还应用背负式喷雾器进行对比测试。选取水稻田中心位置 9 个地块进行试验,不同作业地块之间间距 5 m。为了避免雾滴飘移造成对沉积分布造成的影响,参照王昌陵等^[10]的结论,每块地块的布样小区距离布样小区上风向边界 15 m,

每个布样小区中心位置设立 3 行 5 列共 15 个布样点,行距 5 m,每行布样点垂直航线方向上间距 1 m,(图 2)。每个布样点雾滴收集器选用规格为 $\varphi 11\text{ mm}$,长 0.19 m 的聚乙烯软管(深圳东正和塑胶有限公司,中国)(图 3),将聚乙烯软管直接套在冠层上、中、下 3 个高度的水稻叶片上,以收集不同高度沉积的雾滴,每个高度布置 5 个叶片。此种布样方法同采用固定支架布样的方法对比^[15],可以确保雾滴收集器在植保无人机下洗气流的作用下与叶片一起摆动,由此可以更准确的获取每个取样点收集水稻的高度雾滴沉积量。样品由 8 号自封袋(得力集团有限公司,中国)收集密封,带回中国农业大学药械与施药技术研究中心使用酶标仪(BIO—RAD,美国)进行分析检测。向每个装有样品的自封袋中加入 5 mL 蒸馏水,振荡洗涤 10 min,取洗脱液,测定洗脱液的吸光值 Ae,并根据田间试验所取的胭脂红将洗脱液的吸光值转化为质量浓度 Q_e ,再根据公式 $\beta = Q_e \cdot V/S$,计算单位面积的沉积量。式中: β 为单位面积雾滴沉积量; Q_e 为洗脱液的质量浓度; V 为加入洗脱液的体积; S 为雾滴收集器面积。

表1 本研究试验处理

Table 1 Experimental treatments in this study

试验序号 Experimental number	施药器械 Applying equipment	喷头类型 Nozzle type	喷施量/(L/hm ²) Spraying volume
1	背负式喷雾器 Knapsack sprayer	圆锥雾喷头(机具自带) Hollow cone nozzle (with the machine)	450
2	DJI—MG1P	LU120—01	30
3	DJI—MG1P	IDK120—01	30

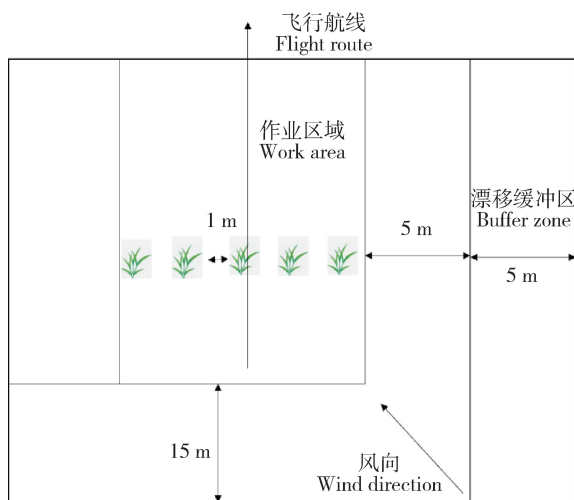


图2 雾滴沉积特性测试示意图

Fig. 2 Schematic diagram of fog drop deposition characteristics test



图3 在样点布置的雾滴收集器

Fig. 3 Droplet collectors at sample points

1.5 稻曲病与纹枯病防效测试

选择4块面积为80 m×30 m的地块,均匀喷洒,喷雾参数与雾滴沉积特性测试参数一致,分别用于文丘里防飘喷头、常规扇形喷头、背负式喷雾器和空白对照对稻曲病与纹枯病防效进行测试。

1.6 病害调查方法

1) 稻曲病调查方法: 在施药后稻曲病发生稳定时(9月25日、10月16日)各调查1次。植保无人飞机处理区每1 000 m²作为1个处理调查(下同)每处理对角线5点取样,每点调查相连10丛,共50丛,记录总穗数、病穗数和病级,计算病情指数和防效。分级标准^[16](以穗为单位): 0级,无病粒;1级,每穗1个曲球或染病稻粒;2级,每穗2个曲球或染病稻粒;3级,每穗3~5个曲球或染病稻粒;4级,每穗6~9个曲球或染病稻粒;5级,每穗10个曲球以上或染病稻粒。

2) 纹枯病调查方法: 在施药后纹枯病病情稳定时(9月25日、10月16日)调查1次。植保无人飞机处理区每1 000 m²作为1个处理调查。每处理对角线5点取样,每点调查相连5丛,共25丛,以株为单位,记录总株数、病株数和病级数,计算病情指数和防效。分级标准^[17](以株为单位): 0级,全株无病;1级,第4叶片及其以下各叶鞘、叶片发病(以剑叶为第1片叶);3级,第3叶片及其以下各叶鞘、叶片发病;5级,第5叶片及其以下各叶鞘、叶片发病;7级,剑叶叶片及其以下各叶鞘、叶片发病;9级,全株发病,提早枯死。

$$\text{病情指数} = \frac{\sum(\text{各级病叶数} \times \text{相对级数值})}{(\text{调查总叶数} \times 9) \times 100\%};$$

$$\text{防治效果} = \frac{(\text{空白对照区病情指数} - \text{处理区病情指数})}{\text{空白对照区病情指数}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 喷头粒径测试结果

根据依据 ASAE S572.1 标准^[18] 可得, IDK120—01 的雾滴粒径等级为 Coarse(表 2), LU120—01 的雾滴粒径等级为 Fine。

2.2 雾滴尺寸对水稻冠层沉积量的影响

表 3 为 3 个处理农药在水稻冠层上、中、下不同位置的沉积分布情况。可知:采用背负式喷雾器施药,农药在水稻冠层上的药液沉积量超过植保无人

飞机施药。但是由于背负式喷雾器的施药液量是植保无人机施药液量的 15 倍,药液中农药的浓度为植保无人机施药药液浓度的 1/15。

对比植保无人机应用不同雾化等级喷头时,农药在冠层中的沉积分布情况,在冠层中不同位置上两个处理的沉积结果在统计意义上没有显著性差别,但是数据上比较,应用 IDK 喷头雾滴在冠层上部与下部以及总体沉积量均超过应用 LU 喷头的雾滴沉积量,尤其在冠层下部, IDK 喷头的沉积量是 LU 喷头沉积量的 1.45 倍。

表 2 2 种喷头的雾滴粒径分布与方差分析

Table 2 Droplet size distribution and variance analysis of two nozzles

喷头类型 Nozzle type	10%体积直径/ μm DV ₁₀	50%体积直径/ μm DV ₅₀	90%体积直径/ μm DV ₉₀	雾滴谱宽度 Span	喷头分级 Nozzle classification
IDK120—01	165.68±8.26 c	291.91±3.10 d	555.92±38.55 e	1.33±0.26 a	Coarse
LU120—01	77.93±1.01 b	145.43±2.13 c	263.84±24.24 d	1.27±0.14 a	Fine

注:表中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

Note: Data are mean±SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P<0.05$ level by Duncan's new multiple range test. The same below.

表 3 植保无人机应用不同喷头沉积分布情况

Table 3 Distribution of different nozzle deposition for plant protection UAV application

喷头类型 Nozzle type	上部 Upper	中部 Middle	下部 lower	平均值 Average
LU120—01	1.87±0.44 a	1.11±0.18 a	0.57±0.09 a	1.18±0.24 a
IDK120—01	2.09±0.23 a	1.13±0.09 a	0.83±0.11 a	1.35±0.03 a

将数据进行归一化处理,将下部沉积量规定为 1,背负式喷雾器雾滴在冠层上中下的分布比例为 2.60 : 1.71 : 1.00, LU120—01 上中下的分布比例为 3.67 : 2.17 : 1.00, IDK120—01 上中下的分布比例为 2.53 : 1.36 : 1.00。冠层上层雾滴沉积量与下层雾滴沉积量的比值可以代表雾滴在冠层中的穿透性,如图 4 所示,植保无人机施药雾滴在冠层中的穿透性显著高于背负式喷雾器,数值上显示应用 IDK 粗雾滴的穿透率大于应用 LU 细雾滴的穿透率。由于不同点之间的沉积不均匀性,造成统计意义上没有显著性差别。

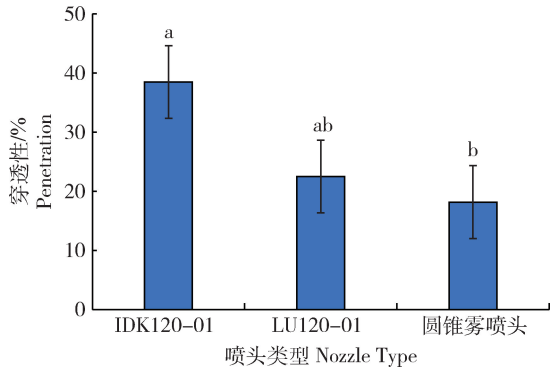
3 个处理的雾滴沉积均匀性情况见图 5。统计分析结果显示,3 个处理中雾滴在水稻冠层上、中、下不同部位的沉积分布均匀性没有显著性差

异,即植保无人机不论应用细雾滴喷头还是粗雾滴喷头,其药液沉积分布均匀与背负式喷雾器的药液沉积分布情况相当,在置信率 90% 的条件下,沉积分布均匀性 CV 值的置信区间是 37.06%~44.06%。

2.3 不同喷头对水稻田病害防治效果的影响

对于稻曲病调查了药后 17 d 和药后 38 d 的病穗防效和病情指数防效,通过调查发现(表 4),植保无人机喷施药液后其病穗防效和病指防效与背负式喷雾器相比防治效果均优于背负式喷雾器,亮泰 750 mL/hm² + 阿米妙收 600 mL/hm² + 顶峰 300 g/hm² + 三环唑 450 g/hm² 复方配合使用在药后 17 d, LU120—01 喷头的防效显著高于 IDK120—01,二者相差 34%,药后 38 d 防效差距缩小无明显

差异,LU120—01 喷头喷雾病穗防效达 85%,病指防效达 93.3%,IDK120—01 喷头喷雾病穗防效达 87.5%,病指防效达 92.5%。

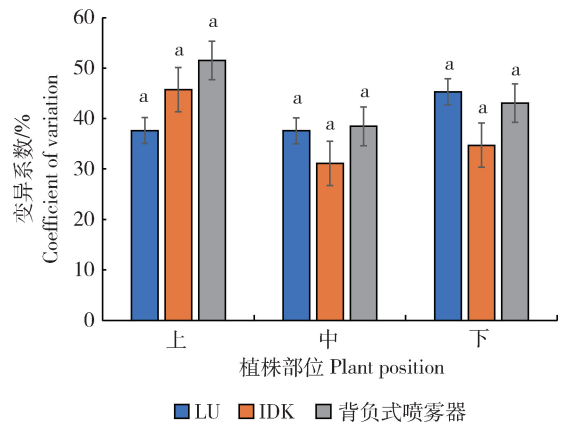


图中数据为平均数±标准差。不同字母表示经双尾检测法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Data are mean \pm SD. Different letters indicate significant differences at $P < 0.05$ level by the two-tail detection.

图 4 不同喷头雾滴在冠层中穿透性

Fig. 4 Penetration of droplets in canopy with different nozzle



图中数据为平均数±标准差。同列不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Data are mean \pm SD. Different letters in the same column indicate significant difference at $P < 0.05$ level by Duncan's new multiple range test.

图 5 不同喷雾因子雾滴在冠层中雾滴沉积均匀性

Fig. 5 Uniformity of droplet deposition in canopy with different spray factors

表 4 不同喷雾因子对稻曲病的防治效果

Table 4 Control effects of different spray factors on *Ustilaginoidea virens* (Cke.) Tak.

喷头类型 Nozzle type	药后 17 d Seventeen days after spraying pesticide		药后 38 d Thirty-eight days after spraying pesticide	
	病穗防效 % Effectiveness of wheat ears control	病指防效 % Effectiveness of disease index control	病穗防效 % Effectiveness of wheat ears control	病指防效 % Effectiveness of disease index control
圆锥雾喷头(背负式喷雾器) Hollow cone nozzle (Knapsack sprayer)	62.05 \pm 6.53 a	67.36 \pm 1.5 b	64.80 \pm 6.41 a	84.71 \pm 1.26 a
LU120—01	93.68 \pm 1.39 c	92.57 \pm 3.07 c	85.00 \pm 4.24 b	93.37 \pm 0.38 b
IDK120—01	74.00 \pm 5.65 b	74.72 \pm 5.99 b	87.47 \pm 2.64 b	92.5 \pm 3.25 b

同样对于水稻纹枯病调查了药后 17 d 和药后 38 d 的病情防效,结果显示(表 5),在施药后 17 d 和施药后 38 d,背负式喷雾器的纹枯病防效均优于植保无人飞机的。植保无人飞机分别采用细雾滴和粗雾滴施药纹枯病在药后 17 d 的数据统计分析结果显示,应用 IDK 喷头和 LU 喷头的防效没有显著性差异,防效约为背负式喷雾器的 50%。在药后 38 d 后,IDK 喷头的防效显著优于 LU 喷头,接近背负式喷雾器的防效,超过 80%。

3 讨论

利用植保无人飞机进行水稻病虫害防治其作业过程中的雾滴飘移问题是实际生产作业中产生的损失纠纷的主要原因,因此只有切实解决植保无人飞机作业过程中的飘移问题,才能消除植保无人飞机作业隐患,促使植保无人飞机施药健康发展。文丘里防飘喷头由于其优异的防飘性能以及与常规喷头相当的作业效果,在地面喷杆喷雾机上被欧美国家

表 5 不同喷雾因子对纹枯病的防治效果

Table 5 Control effects of different spray factors on *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk

喷头类型 Nozzle type	病指防效 % Effectiveness of disease index control	
	施药后 17 d Seventeen days after spraying pesticide	药后 38 d Thirty-eight days after spraying pesticide
	圆锥雾喷头(背负式喷雾器) Hollow cone nozzle (Knapsack sprayer)	87.14±2.2 b
LU120—01	42.56±2.83 a	50.90±2.16 a
IDK120—01	56.89±5.18 a	80.04±0.41 c

大量采用。植保无人机应用文丘里防飘喷头确实能够显著减少农药飘失,但是其作业效果如何还未见详细研究。本研究主要研究植保无人机应用文丘里喷头对水稻病害的防效影响。

本研究数据显示,采用文丘里喷头后,药液雾化等级由原来的细雾滴 Fine 等级改变为粗雾滴 Coarse 等级。由于雾滴粒径增大,因此药液飘移减少,相对于细雾滴喷雾,有更多的药液沉积在靶标区中,由此采用粗雾滴喷雾药液在冠层中的沉积量大于细雾滴。虽然杨希娃等^[12]研究所得结论是在植物冠层中小雾滴的穿透性优于大雾滴,然而,在本研究的测试所得结论与之相反,发现粗雾滴的穿透性优于细雾滴。究其原因主要是由于水稻叶片直立,与竖直夹角为 13°左右^[21],叶片表面为超疏水界面,粗雾滴与叶面撞击后,发生破碎现象,破碎后的雾滴朝向冠层下部沉积,由此增加了冠层下部的雾滴沉积量。

本研究对比采用背负式喷雾器和植保无人机农药有效成分在水稻冠层上的沉积量,发现植保无人机施药的农药有效成分在水稻上的沉积量大于背负式喷雾器,即植保无人飞机的农药利用率高于背负式喷雾器,此结果与张武云等^[19]的研究结果一致。植保无人机喷施药物对稻曲病和纹枯病病害中的防效不同,不论是粗雾滴还是细雾滴喷施农药,应用植保无人机,均可以有效防治稻曲病,并且防效优于传统的背负式喷雾器。究其可能是因为稻曲病仅危害植株穗部,在水稻破口期侵害花器和幼器,病菌侵入谷粒后,在颖壳内形成菌丝块,从而造成植株发病,因此稻曲病主要防治区域为中上部。所喷

施的药液中,防治稻曲病与纹枯病的主要是阿米妙收与三环唑,喷施的阿米妙收的有效成份“阿米妙收”由 20% 嘧菌酯和 12.5% 苯醚甲环唑混配而成的悬浮剂,兼具保护和治疗活性。嘧菌酯可以通过木质部,随着水分向上传导从而达到防治植株中上部的效果。水稻纹枯病病菌主要侵害叶鞘和叶片,菌丝体匍匐于组织表面或攀缘于邻近植株之间。其主要防治要求整株着药。虽然背负式喷雾器的农药有效成分沉积量小于植保无人机,但是由于其喷施药液量是植保无人飞机的 15 倍,因此雾滴在水稻上的沉积覆盖率大于植保无人机。苯醚甲环唑脂溶性好,可以长时间附着在叶片上,因此采用背负式喷雾器时农药中的苯醚甲环唑覆盖面积大于植保无人机喷雾,这可能是背负式喷雾器水稻纹枯病防效优于植保无人飞机的原因。

植保无人机施药采用粗雾滴或细雾滴喷雾,防效在药后 17 d 不具有显著性差异,但是在药后 38 d,粗雾滴的防效明显优于细雾滴防效。雾滴粒径喷头病穗防效和病指防效这 2 种雾滴穗部发病的稻曲病没有明显的差异,对于叶部发生病害纹枯病不同粗细雾滴的防效具有显著差异($P < 0.05$),相差 30%。分析原因有可能是因为采用粗雾滴施药,农药在冠层上中下不同位置的着药量均大于细雾滴喷雾,另外一个原因可能是由于应用 IDK 粗雾滴施药,药液在冠层中部和下部的沉积分布均匀性数值上均优于应用 LU 细雾滴施药。由于嘧菌酯和三环唑均是通过木质部传导,农药有效成分会在沉积后重新分布,因此应用 IDK 施药冠层中农药沉积分布均匀性优于应用 LU 细雾滴施药。同时田间试验结

果表明 2 种雾滴粒径喷头 LU120—01(Fine) 和 IDK120—01(Coarse) 药液在水稻叶片上的平均沉积量并无显著差异,但增大雾滴可以改善雾滴在冠层中的穿透性,大雾滴在喷幅范围内分布的均匀程度要优于小雾滴。

4 结 论

本研究针对水稻植保无人飞机病害防治过程中的雾滴飘移问题,在植保喷雾机上应用文丘里防飘喷头,测试雾滴在水稻冠层中的沉积特性以及对防治稻曲病和纹枯病的防效影响,主要结论如下:

1)应用 IDK 喷头,雾滴在冠层上部与下部以及总体沉积量均超过应用 LU 喷头的雾滴沉积量,相对于细雾滴,植保无人飞机采用粗雾滴可以改善雾滴在冠层中的穿透性及喷幅范围内的雾滴分布均匀性。

2)不论是粗雾滴还是细雾滴,植保无人飞机均可以有效防治稻曲病,并且防效优于传统的背负式喷雾器,对于纹枯病在药后 38 d,粗雾滴的防效明显优于细雾滴防效,植保无人飞机应用 IDK120—01 喷头施药后其防效达到 80%,较常规 LU 喷头防效提高 30%,应用防飘喷头对于提高稻叶部病害防效具有促进作用。

3)在植保无人飞机作业过程中除了机具本身特性,同时要考虑病害的发生机理,农药的传导特性等因素综合考虑才能达到最好的作业效果。

后续将进一步通过大量田间试验获取数据来明确针对应用 IDK 空气射流喷头在不同飞行参数下对水稻病害的防效影响。

参考文献 References

- [1] 国家统计局. 水稻种植面积[EB/OL]. (2020/08/01). <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0D0E&sj=2019>
- National Data. Rice cultivation area[EB/OL]. [2020/8/1]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01&zb=A0D0E&sj=2019> (in Chinese)
- [2] 何雄奎,曾爱军,刘亚佳,严奇荣,汪健. 水田风送低量喷杆喷雾机设计及其参数研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 76-79
- He X K, Zeng A J, Liu Y J, Yan K R, Wang J. Design and parameter test of the low volume air assistant rice boom sprayer [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(9): 76-79 (in Chinese)
- [3] 唐泽彦,朱国富. 无锡汉和引领无人机航空技术服务[J]. 上海经济, 2014(6): 61-63
- Tang Z Y, Zhu G F. Wuxi Hanhe leads UAV technology services[J]. *Shanghai Economy*, 2014(6): 61-63 (in Chinese)
- [4] 闫晓静,褚世海,杨代斌,袁会珠. 给农业插上科技的翅膀: 植保无人机低容量喷雾技术助力农药减施增效[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 469-476
- Yan X J, Chu S H, Yang D B, Yuan H Z. Agriculture on the wings of science and technology: plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) low-volume spraying technology reduces pesticide use and boosts control efficacy[J]. *Journal of Plant Protection*, 2021, 48(3): 469-476 (in Chinese)
- [5] 魏小平. 小型植保无人机在水稻全程病虫害防治中的应用分析[J]. 中国农业信息, 2016(24): 59
- Wei X P. Application analysis of small plant protection UAV in rice disease and insect pest control[J]. *China Agricultural Information*, 2016(24): 59 (in Chinese)
- [6] 何勇,肖舒裴,方慧,董涛,唐宇,聂鹏程,吴剑坚,骆少明. 植保无人机施药喷嘴的发展现状及其施药决策[J]. 农业工程学报, 2018, 34(13): 113-124
- He Y, Xiao S P, Fang H, Dong T, Tang Y, Nie P C, Wu J J, Luo S M. Development situation and spraying decision of spray nozzle for plant protection UAV[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(13): 113-124 (in Chinese)
- [7] 张瑞瑞,李龙龙,陈立平,文瑶,唐青,王维佳. 植保无人机施药沉积飘移监测系统设计与应用[J]. 植物保护学报, 2021, 48(3): 537-545
- Zhang R R, Li L L, Chen L P, Wen Y, Tang Q, Wang W J. Design and application of a monitoring system for spray deposition and drift by plant protection unmanned aerial vehicle (UAV)[J]. *Journal of Plant Protection*, 2021, 48(3): 537-545 (in Chinese)
- [8] 鲁文霞,兰玉彬,王国宾,陈蒙蒙,谢英杰,单常峰. 植保无人机喷施药剂安全飘移缓冲区的建立[J]. 中国公共安全(学术版), 2020(1): 150-152
- Lu W X, Lan Y B, Wang G B, Chen M M, Xie Y J, Shan C F. Establishment of Safe Drift Buffer Zone for Plant Protection Drone Spraying Chemicals [J]. *China Public Security. Academy Edition*, 2020, (1): 150-152 (in Chinese)
- [9] 王潇楠. 农药雾滴飘移及减飘方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017
- Wang X N. Study on spray drift and anti-drift method[D]. Beijing: China Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [10] 王昌陵,何雄奎,曾爱军,Andreas Herbst, Supakorn Wongsuk, 乔白羽,赵钺,袁善奎,钟玲,Verena Overbeck, Jane Bonds, 杨苒,周国强,王轩,高万林. 基于仿真果园试验台的植保无人机施药雾滴飘移测试方法与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(13): 56-66
- Wang C L, He X K, Zeng A J, Herbst A, Wongsuk S, Qiao

- B Y, Zhao C, Yuan S K, Zhong L, Overbeck V, Bonds J, Yang Y, Zhou G Q, Wang X, Gao W L. Measuring method and experiment on spray drift of chemicals applied by UAV sprayer based on an artificial orchard test bench [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2020, 36(13): 56-66 (in Chinese)
- [11] 马钰, 贡常委, 张韞政, 李彬, 王学贵. 喷头类型对植保无人机低容量喷雾雾滴在稻田冠层沉积分布及防治效果的影响[J]. *植物保护学报*, 2021, 48(3): 518-527
- Ma Y, Gong C W, Zhang Y Z, Li B, Wang X G. Effects of spray nozzles and spray adjuvant on the deposition of droplets of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) in paddy fields and the control efficacy against Asiatic rice borer *Chilo suppressalis*[J]. *Journal of Plant Protection*, 2021, 48(3): 518-527 (in Chinese)
- [12] 杨希娃, 周继中, 何雄奎, Herbst A. 喷头类型对药液沉积和麦蚜防效的影响[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(7): 46-50
- Yang X W, Zhou J Z, He X K, Herbst A. Influences of nozzle types on pesticide deposition and insecticidal effect to wheat aphids [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(7): 46-50 (in Chinese)
- [13] Torrent X, Garcerá C, Moltó E, Chueca P, Abad R, Grafulla C, Román C, Planas S. Comparison between standard and drift reducing nozzles for pesticide application in Citrus: Part I. Effects on wind tunnel and field spray drift [J]. *Crop Protection*, 2017, 96: 130-143
- [14] Garcerá C, Moltó E, Chueca P. Spray pesticide applications in Mediterranean citrus orchards; Canopy deposition and off-target losses[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 599-600: 1344-1362
- [15] 李艳大, 叶春, 曹中盛, 孙滨峰, 舒时富, 陈立才. 无人机与人工喷施雾滴在水稻冠层内沉积特征及效益比较[J/OL]. *中国水稻科学*, 2021, 35(5): 513-518
- Li Y D, Ye C, Cao Z S, Sun B F, Shu S F, Chen L C. Comparison of droplet deposition characteristics in rice canopy and benefit between unmanned aerial vehicle spray and artificial spray[J/OL]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2012, 35(5): 513-518 (in Chinese)
- [16] 吕锐玲, 周强, 涂军明, 梅凯华, 王欢, 金红梅. 66个水稻品种对稻曲病田间抗性的评价[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(23): 5354-5356
- Lu R L, Zhou Q, Tu J M, Mei K H, Wang H, Jin H M. Field resistance evaluation of 66 rice varieties against false smut[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2012, 51(23): 5354-5356 (in Chinese)
- [17] GB/T 17980.1. 农药田间药效试验准则(一)杀虫剂防治水稻鳞翅目钻蛀性害虫[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000
- GB/T 17980.1 Pesticide-Guidelines for the field efficacy trials (I)-Insecticides against borer pests of Lepidoptera on rice [S]. Beijing: Standards Press of China, 2000 (in Chinese)
- [18] Fritz B K, Hoffmann W C, Czaczyk Z, Bagley W, Kruger G. Measurement and classification methods using the ASAE S572.1 reference nozzles [J]. *Journal of Plant Protection Research*, 2012, 52(4): 447-457
- [19] 张武云, 李天娇, 靳彦卿, 韩鹏, 李卫伟, 王明, 沈晓强, 高海燕, 曹敏. 不同器械施药对小麦蚜虫的防效及农药利用率研究[J]. *中国植保导刊*, 2020, 40(10): 83-87
- Zhang W Y, Li T J, Jin Y Q, Han P, Li W W, Wang M, Shen X Q, Gao H Y, Cao M. Study on the wheat aphids control effect and pesticide utilization rate with different pesticide devices[J]. *China Plant Protection*, 2020, 40(10): 83-87 (in Chinese)
- [20] 王波, 宋坚利, 曾爱军, 刘亚佳, 张京, 何雄奎. 水稻叶片上露水对农药沉积量的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2012, 17(3): 94-100
- Wang B, Song J L, Zeng A J, Liu Y J, Zhang J, He X K. Influence of dew on pesticide droplet deposition on rice leaves [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(3): 94-100 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东