

祁之秋, 高连奇, 李 祎, 等. 飞防助剂对 2.5% 井冈·蜡芽菌水剂理化性状及无人机喷雾防治水稻纹枯病效果的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2025, 56(1): 18-28.

QI Z Q, GAO L Q, LI Y, et al. Effect of aviation spray adjuvants on physicochemical properties and efficacy of 2.5% jinggangmycin·*Bacillus cereus* AS in controlling rice sheath blight using a uav sprayer[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2025, 56(1): 18-28.

飞防助剂对 2.5% 井冈·蜡芽菌水剂理化性状及 无人机喷雾防治水稻纹枯病效果的影响

祁之秋, 高连奇, 李 祎, 魏松红*

(沈阳农业大学 植物保护学院, 沈阳 110161)

摘要: [目的]为研究飞防助剂对药液理化性状及防治效果的影响, 筛选适宜 2.5% 井冈·蜡芽菌水剂防治水稻纹枯病的飞防助剂。[方法]将供试药剂 2.5% 井冈·蜡芽菌水剂按田间推荐量 40 mL·667 m⁻² 和无人机喷施药液量 1 000 mL·667 m⁻² 制成喷洒液, 用于测定相关指标。[结果]8 种市售飞防助剂按药液体积的 0.5%、1.0%、1.5% 和 2.0% 与井冈·蜡芽菌混合, 不影响药液稳定性; 能显著降低药液表面张力、接触角和润湿时间, 提高药液润湿性能; 药液蒸发能力下降。其中, 添加 2.0% 的 MD 和 EOA, 药液表面张力分别比不加助剂的井冈·蜡芽菌药液的表面张力减少 51.00% 和 47.65%; 润湿时间由大于 500.0 s 分别下降到 2.7 s 和 1.9 s, 药液液滴接触叶片后迅速展开, 接触角接近 0°; 药液蒸发速率分别减少 36.70% 和 31.33%。飞防助剂提高药液在叶面的粘附性, 其中, 2.0% MD 和 2.0% EOA 处理, 药液黏度分别提高 370.97% 和 19.35%。添加飞防助剂和不添加飞防助剂的药液通过无人机喷施后, 雾滴在水稻上层叶片的覆盖率、沉积密度和沉积量显著高于中层叶片, 下层叶片最少。同一层叶片上, 添加助剂的药液雾滴的覆盖率、沉积密度和沉积量显著高于无助剂药液。[结论]2.0% 的 MD 和 EOA 添加后, 2.5% 井冈·蜡芽菌水剂对水稻纹枯病的防治效果分别达到 90.97% 和 89.30%, 显著高于未添加飞防助剂的防治效果。

关键词: 植保无人机; 水稻纹枯病; 飞防助剂; 井冈·蜡芽菌; 理化性状; 防治效果

中图分类号: S436.5; S252.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-1700(2025)01-0018-11

Effect of Aviation Spray Adjuvants on Physicochemical Properties and Efficacy of 2.5% Jinggangmycin·*Bacillus cereus* AS in Controlling Rice Sheath Blight Using a UAV Sprayer

QI Zhiqiu, GAO Lianqi, LI Yi, WEI Songhong*

(College of Plant Protection, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: [Objective] Through the study of physicochemical properties and control effect of 2.5% Jinggangmycin·*Bacillus cereus* (JG·BC) for rice sheath blight, the suitable aviation spray adjuvants were screened for 2.5% JG·BC AS. [Methods] Mix the test agent with the recommended amount of 40 mL·667 m⁻² in the field and 1 000 mL·667 m⁻² for drone spraying to prepare aspray solution for the determination of relevant indicators. [Results] The results showed that while eight commercial aviation spray adjuvants were mixed with JG·BC according to 0.5%, 1.0%, 1.5% or 2% of the pesticide solution volume, respectively, aviation spray adjuvants did not destroy the stability of the pesticide solutions and could significantly reduce the surface tension, contact angle and wetting time of the pesticide solutions. When 2.0% MD and EOA were added, the surface tension of the solutions decreased by 51.00% and 47.65%, the wetting time decreased from more than 500.0 s to 2.7 s and 1.9 s, and the solution droplets expanded rapidly when they first touched

收稿日期: 2024-10-10 修回日期: 2025-01-05

基金项目: 国家水稻产业技术体系项目 (CARS-01); “兴辽英才计划”农业专家项目 (XLYC2213046)

第一作者: 祁之秋 (1971-), 女, 博士, 副教授, 从事农药学研究, E-mail: 2001500063@syau.edu.cn

通信作者: 魏松红 (1974-), 女, 博士, 教授, 博士生导师, 从事植物病理学研究, E-mail: songhongw125@163.com

the leaf surface, and then, the contact angle of droplets was close to 0° , and the evaporation rate of pesticide solutions decreased by 36.70% and 31.33%, respectively. The viscosity of the solution increased by 370.97% and 19.35% respectively by 2.0% MD and 2.0% EOA. The coverage rate, deposition density and deposition amount of spray droplets in the upper rice leaves were significantly higher than those on the middle and lower leaves, and those on the lower was the least. On the same layer leaves, the coverage rate, deposition density and deposition amount of spray droplets with adjuvants were significantly higher than those without adjuvants. [Conclusion]The control effect of 2.5% JG·BC AS with 2.0% MD and 2.0% EOA against rice sheath blight was 90.97% and 89.30%, respectively, which was significantly higher than that without adjuvants.

Key words: unmanned aerial vehicles; rice sheath blight; aviation spray adjuvants; Jinggaangmycin·*Bacillus cereus*; physicochemical properties; control efficacy

水稻纹枯病是由立枯丝核菌(*Rhizoctonia solani*)引起的土传病害。该病害严重威胁水稻生产,一般年份可导致水稻减产10%~30%,严重时可达40%以上^[1-3]。目前,喷施杀菌剂是控制水稻纹枯病危害,保证水稻产量和品质的重要措施^[4]。为贯彻落实“绿色植保”理念,大力推广生物防治技术,生物农药井冈·蜡芽菌在防治水稻纹枯病中得到广泛应用^[5]。

背负式喷雾器喷施农药是中国传统的施药方式,这种施药方式存在药剂用量大、工效低、人工与药剂成本高等问题^[6-7]。近年来,随着科技的进步和国家对航空植保重视程度的提高,利用小型农用无人机喷施农药在种田大户中得到广泛应用^[8-10]。相较于传统的人工施药方式,无人机喷施农药具有作业速度快、工效高的特点,同时,可有效克服传统施药方式带来的农药用量大、利用率低和药效不高等问题^[7,11]。但是无人机施药时雾滴更细,药液漂移问题更加严重^[12],飞防助剂具有改善喷雾性能,降低液滴表面张力,促进药液在目标作物表面的润湿、沉积和粘附等行为的功效^[13-14]。因此,药液中添加飞防助剂改变药液雾滴物理性质和喷施行为成为提高无人机喷雾质量的重要途径之一^[15]。不同的飞防助剂对药液物理性质和喷洒行为影响具有显著差异^[16-17]。本研究从市售的飞防助剂中筛选用于井冈·蜡芽菌的飞防助剂,以通过改善喷雾性能,提高农药利用率和防治效果。

1 材料与amp;方法

1.1 供试材料

试验药剂:2.5%井冈·蜡芽菌水剂(JG·BC,上海农乐生物制品股份有限公司)。

飞防助剂:倍达通(BDT,甲基化植物油,河北明顺农业科技有限公司)、橙皮精油(OPO,青岛丹罗丰生物科技有限公司)、飞手宝(FSB,羟基丙氨酸聚合物5%、松香改性树脂酸10%、高分子嵌段共聚物20%、脂肪醇乙氧聚合物30%、植物精油30%,山东钜丰源生物科技有限公司)、云展(YZ,脂肪酸甲酯乳油,河北中保绿农作物科技有限公司)、沉降飞农(CJFN,多元高分子聚合物,石家庄农信生物科技集团有限公司)、U伴(UB,植物油,北京广源益农化学有限责任公司)、精油助剂(EOA,复方柠檬精油,道硅材料技术(上海)有限公司)、迈道(MD,甲基化植物油、蓖麻油聚氧乙烯醚,北京广源益农化学有限责任公司)。

试验仪器:静态表面张力仪(上海中晨数字技术设备有限公司),NDJ-1型旋转黏度计(上海舜宇恒平科学仪器有限公司),直径3.5 cm标准圆帆布片(符合HG/T2575-94标准),JC2000D1接触角测量仪(上海中晨数字技术设备有限公司),水敏纸(3 cm×8 cm,重庆六六山下植保科技有限公司),风速仪(深圳天溯计量检测股份有限公司),大疆T40型植保无人机(喷头型号LX8060SZ,飞行高度为2.5 m,最大载液量40 L,有效喷幅11 m,雾化粒径50~300 μm)。

供试水稻:原稻2号。

1.2 方法

1.2.1 飞防助剂对药液理化性状的影响 将供试药剂2.5%井冈·蜡芽菌水剂按田间推荐量40 mL·667 m²和无人机喷施药液量1 000 mL·667 m²的水兑制成喷洒液。于喷洒液中分别加入8种飞防助剂,每种助剂按照无人机喷施药液体积的0.5%、1.0%、1.5%、2.0%添加(表1)。以不加飞防助剂的井冈·蜡芽菌喷施液为对照。充分搅拌均匀后,用于以下指标的测定。

稳定性测定:搅拌后静置2 h,观察药液是否出现分层、破乳等现象^[18]。表面张力测定:利用静态表面张力

表1 不同处理的药液组成

Table 1 Composition of spray dilutions in different treatment groups

处理名称 Treatments	药剂用量/(mL·667 m ⁻²) Dosage of fungicides	助剂用量/(mL·667 m ⁻²) Dosage of aviation spray adjuvants	喷施体积/(mL·667 m ⁻²) Spray volume
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂 2.5%JG·BC	40	0	1 000
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂+0.5% 助剂 2.5%JG·BC+0.5% adjuvants	40	5	1 000
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂+1.0% 助剂 2.5%JG·BC+1.0% adjuvants	40	10	1 000
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂+1.5% 助剂 2.5%JG·BC+1.5% adjuvants	40	15	1 000
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂+2.0% 助剂 2.5%JG·BC+2.0% adjuvants	40	20	1 000

注:本表只列出同一种飞防助剂的用量。

Note: This table only lists the dosage of the same aviation spray adjuvant.

仪,采用铂金环法测试喷洒液的表面张力,比较不同助剂对喷洒液表面张力的影响^[19],每处理重复3次。黏度测定:使用NDJ-1型旋转黏度计测量喷洒液黏度值,研究飞防助剂对喷洒液黏度的影响^[19],3次重复。润湿性测定:在100 mL的小烧杯中倒入50 mL配制好的药液,将标准圆帆布片放置在烧杯口,让其自由下落。当圆帆布片触及溶液表面时,开始计时,记录圆帆布片完全湿润时间^[19],每个处理重复10次。水分蒸发率测定:利用微量注射器产生5 μL的单个液滴,使液滴悬挂在接触角测量仪的针头上,(25±1) °C下,记录液滴蒸发全过程(图1和图2),应用图形处理软件Image J计算出悬在针头处液滴的面积,用数据处理软件得到液滴面积随时间的变化情况,并拟合出液滴蒸发方程,根据方程斜率计算出蒸发抑制率,并比较不同处理水分蒸发快慢^[20]。接触角测定:将健康完好、新鲜的水稻叶片平整地固定在接触角测量仪的载物台上,使用微量注射器在水稻叶片上注入5 μL的液滴,分别在0,10,30,60,90,120 s拍摄照片,测定药液在水稻叶片上接触角的变化^[19]。



图1 液滴面积变化图

Figure 1 Droplet area variation diagram

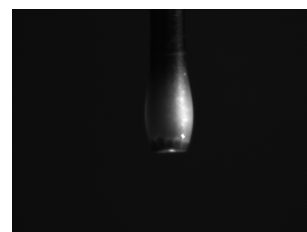


图2 液滴在针头处实拍图

Figure 2 Actual picture of droplet at the needle tip

1.2.2 飞防助剂对药液的沉积和水稻纹枯病防效的影响 2023年3月26日水稻(原稻2号)育苗,5月23日插秧,生长至分蘖期供试。试验田位于辽宁省铁岭市开原八宝镇和顺村,前茬作物为水稻,肥力均匀,排灌条件良好。该地块历年均有水稻纹枯病发生。2023年7月20日采用大疆T40植保无人机喷施药液,飞行喷幅为7 m,飞行速度为5 m·s⁻¹,飞行高度2 m,当日气温22~32 °C,西南风1~2级,相对湿度60%~75%,天气晴朗,试验期间无恶劣天气出现。试验处理见表2。小区之间有田埂作为缓冲带。

表2 田间试验药剂处理

Table 2 Experimental treatments in field

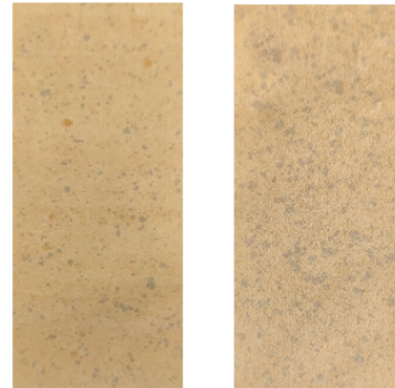
田间试验处理名称 Field treatments	药剂用量/(mL·667 m ⁻²) Dosage of fungicides	助剂用量/(mL·667 m ⁻²) Dosage of aviation spray adjuvants	喷施体积/(mL·667 m ⁻²) Spray volume
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂 2.5%JG·BC	40	0	1 000
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂+2.0% MD 2.5% JG·BC+2.0% MD	40	20	1 000
2.5% 井冈·蜡芽菌水剂+2.0%EOA 2.5% JG·BC+2.0% EOA	40	20	1 000
清水(空白对照) Water (CK)	0	0	1 000

飞防助剂对药液沉积的影响:施药前,在水稻植株上中下3个部位用曲别针固定水敏纸(3 cm × 8 cm)于叶片正面(图3),上层水敏纸距离水稻顶部10 cm,下层水敏纸距水面30 cm。每个小区放置20个水敏纸,各水敏纸间距5 m。施药结束,等药剂沉积完毕,将水敏纸收集到自封袋中,带回实验室扫描成图片(图4),使用雾滴软件分析雾滴覆盖率、密度和沉积量^[19]。



图3 水敏纸在水稻叶片上的位置

Figure 3 Position of water sensitive paper on rice leaves



a.未添加助剂
No additives
b.添加助剂
Additives

图4 水敏纸上雾滴分布

Figure 4 Distribution of droplets on water sensitive paper

飞防助剂对药剂防效的影响:7月20号,调查药前水稻纹枯病的发生情况,9月14号调查施药后纹枯病的发生情况。参照农药田间药效试验准则(一)杀菌剂防治水稻纹枯病(GB/T 17980.20-2000)调查,每个小区5点取样,每点调查连续5丛,记录总株数、病株数和病级数。

病害分级标准为:0级,全株无病;1级,第4片叶及其以下叶鞘、叶片发病(以剑叶为第一叶片);3级,第3片叶片及其以下各叶鞘、叶片发病;5级,第2片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。

防效计算公式为:

$$\text{病情指数} = \frac{\sum \text{各级发病株数} \times \text{对应级数}}{\text{调查总株数} \times \text{最高级数}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{防治效果}(\%) = \frac{\text{对照区病情指数} - \text{处理区病情指数}}{\text{对照区病情指数}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.3 数据处理与分析 使用SPSS 27.0进行数据处理,采用邓肯氏新复极差法对试验结果进行差异显著性分析($P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 飞防助剂对药液稳定性的影响

添加飞防助剂的井冈·蜡芽菌药液与不添加助剂的药液在静止2 h后均未出现分层和沉淀等现象,说明8种飞防助剂都可与2.5%井冈·蜡芽菌水剂混用,不影响药液稳定性。

2.2 飞防助剂对药液表面张力的影响

井冈·蜡芽菌药液的表面张力为 $44.7 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$,添加飞防助剂后,药液表面张力均显著下降(图5)。在所有助剂中,MD对表面张力的影响最显著,按药液量的0.5%、1.0%、1.5%、2.0%添加MD,药液的表面张力显著低于添加其他飞防助剂的药液表面张力,其中,添加2.0%的MD,表面张力下降为 $21.9 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$,比原溶液的表面张力减少51.00%;其次为EOA,添加2.0%的EOA,药液表面张力下降为 $23.4 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$,比原溶液的表面张力减少47.65%。

2.3 飞防助剂对药液黏度的影响

井冈·蜡芽菌药液黏度为 $3.1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$,MD、UB、OPO、FSB和EOA能显著提高井冈·蜡芽菌药液黏度(图6),其

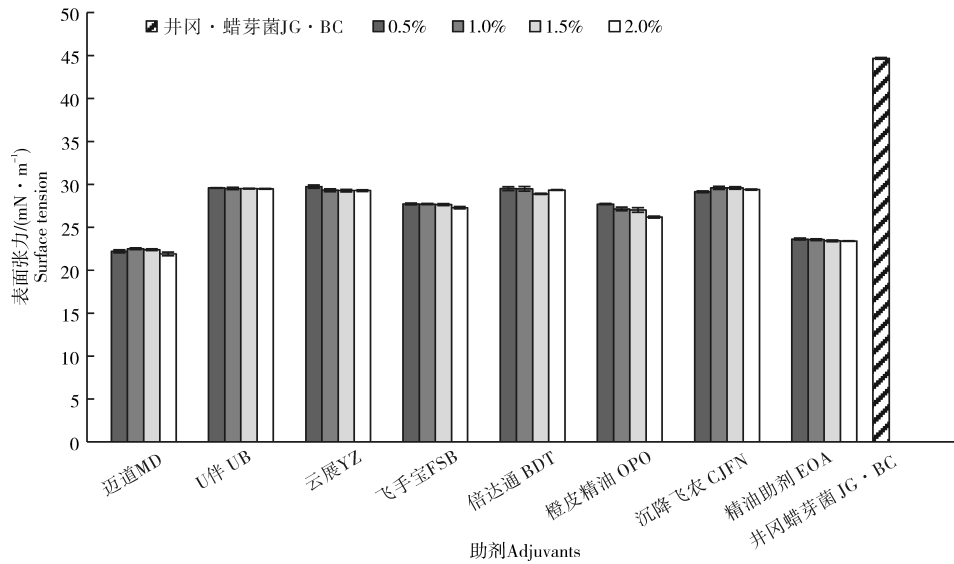


图5 飞防助剂对井冈·蜡芽菌药液表面张力的影响

Figure 5 Effect of aviation spray adjuvants on the surface tension of JG·BC solution

中,添加0.5%、1.0%、1.5%和2.0%的EOA,药液黏度分别提高135.00%、68.00%、245.00%、371.00%,MD处理的药液黏度提高9.67%~19.35%,BDT和CJFN对药液黏度影响不显著,YZ能显著降低药液的黏度。

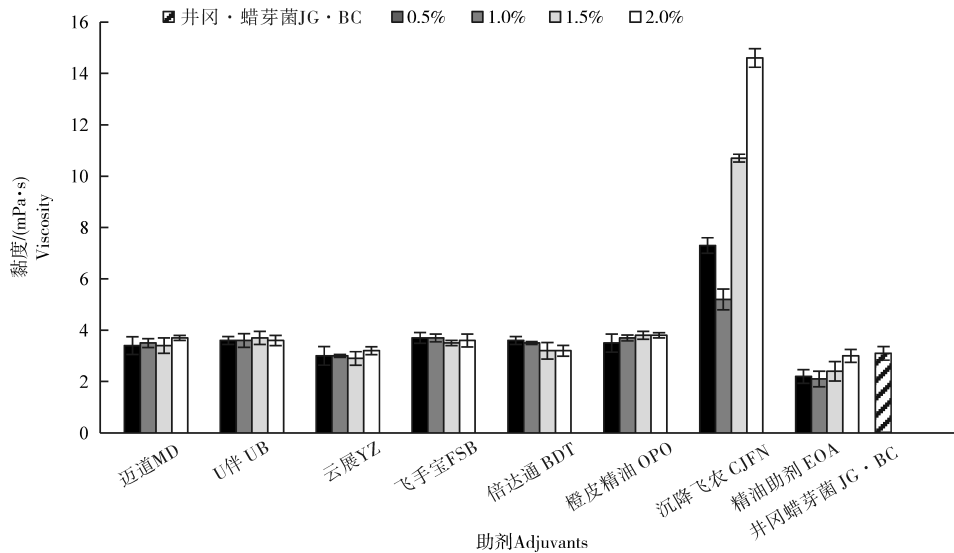


图6 飞防助剂对井冈·蜡芽菌药液黏度的影响

Figure 6 Effect of aviation spray adjuvants on the viscosity of JG·BC solution

2.4 飞防助剂对药液润湿性能的影响

8种助剂都能提高井冈·蜡芽菌药液润湿性能(图7)。随着助剂添加量的增加,药液润湿时间逐渐减少,其中EOA对井冈·蜡芽菌药液润湿性能增强效果最为显著,其次为MD、FSB、UB、CJFN、BDT、YZ、OPO。无助剂添加的JG·BC药液润湿时间大于500.0 s,添加EOA、MD、FSB和UB,井冈·蜡芽菌药液润湿时间分别降低至1.9, 2.7, 9.0, 10.3 s。

2.5 飞防助剂对药液抗蒸发性能的影响

根据雾滴体积随时间的变化建立液滴的蒸发方程(表3),方程的斜率在一定程度上反映了雾滴蒸发速率的快慢,斜率绝对值越小,雾滴蒸发速率越小,抗蒸发性能越好,药液在叶片表面可以更好被吸收。由表3可知,添加助剂的药液蒸发方程的斜率绝对值均小于不添加助剂的井冈·蜡芽菌药液,说明各助剂对药液蒸发均有

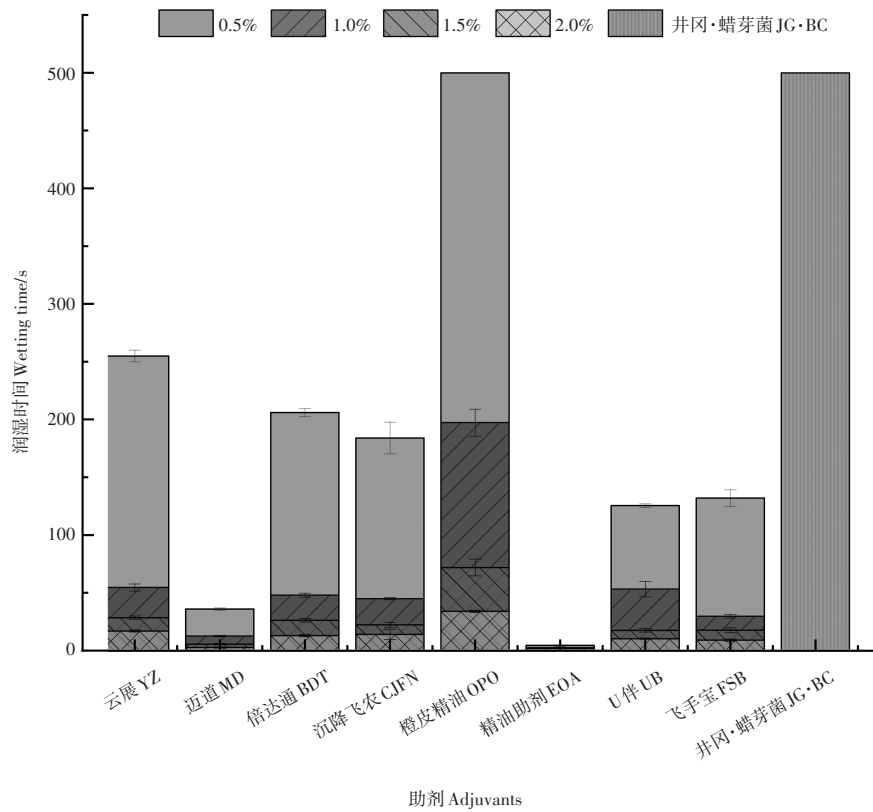


图7 飞防助剂对井冈·蜡芽菌药液润湿性能的影响

Figure 7 Effect of aviation spray adjuvants on the wetting properties of JG·BC solution

抑制作用。由图 8 可知,CJFN 的抗蒸发性能与助剂浓度未呈现线性关系,其他 7 种飞防助剂随着浓度的提高,对药液的蒸发抑制作用明显提高,其中,按 2.0% 和 1.5% 的 MD 及 2.0% 的 FSB 浓度添加的药液抗蒸发性能最显著,对 JG·BC 的蒸发抑制率分别达到 36.71%、36.39%、37.34%;0.5% FSB 的蒸发抑制率最小,仅为 8.86%。

表3 飞防助剂对井冈·蜡芽菌药液蒸发性能的影响

Table 3 Effect of aviation spray adjuvants on the droplet evaporation of JG·BC solution

处理 Treatment	浓度/% Concentration	蒸发性能 Evaporation property		处理 Treatment	浓度/% Concentration	蒸发性能 Evaporation property	
		雾滴蒸发方程 Droplet evaporation equation	相关系数 R Correlation coefficient			雾滴蒸发方程 Droplet evaporation equation	相关系数 R Correlation coefficient
云展 YZ	0.0	$y = -0.031 6x + 1.250 3$	0.995 8	飞手宝 FSB	0.5	$y = -0.028 8x + 1.381 4$	0.997 4
	0.5	$y = -0.024 2x + 1.345 1$	0.991 7		1.0	$y = -0.022 9x + 1.292 8$	0.994 1
	1.0	$y = -0.023 6x + 1.502 1$	0.983 6		1.5	$y = -0.020 9x + 1.527 7$	0.994 5
	1.5	$y = -0.022 8x + 1.260 6$	0.989 4		2.0	$y = -0.019 8x + 1.339 5$	0.995 3
	2.0	$y = -0.022 2x + 1.292 6$	0.989 3		U伴 UB	0.5	$y = -0.026 1x + 1.380 4$
迈道 MD	0.5	$y = -0.024 5x + 1.431 2$	0.998 9	1.0	$y = -0.024 9x + 1.356 3$	0.993 4	
	1.0	$y = -0.024 2x + 1.303 0$	0.998 5	1.5	$y = -0.024 1x + 1.364 9$	0.999 2	
	1.5	$y = -0.020 1x + 1.188 0$	0.977 3	2.0	$y = -0.022 7x + 1.425 7$	0.991 8	
	2.0	$y = -0.020 0x + 1.298 8$	0.996 5	精油助剂 EOA	0.5	$y = -0.026 2x + 1.310 6$	0.995 7
倍达通 BDT	0.5	$y = -0.024 8x + 1.473 3$	0.921 4	1.0	$y = -0.024 5x + 1.370 7$	0.997 1	
	1.0	$y = -0.024 5x + 1.347 1$	0.994 0	1.5	$y = -0.023 8x + 1.282 5$	0.988 9	
	1.5	$y = -0.023 5x + 1.335 4$	0.996 3	2.0	$y = -0.021 7x + 1.279 5$	0.991 7	
沉降飞农 CJFN	0.5	$y = -0.023 3x + 1.317 1$	0.986 6	0.5	$y = -0.025 5x + 1.343 1$	0.985 8	
	1.0	$y = -0.023 6x + 1.330 4$	0.998 4	橙皮精油 OPO	1.0	$y = -0.024 9x + 1.326 1$	0.987 3
	1.5	$y = -0.023 5x + 1.297 1$	0.994 4	1.5	$y = -0.024 4x + 1.327 1$	0.997 3	
	2.0	$y = -0.023 4x + 1.308 9$	0.998 3	2.0	$y = -0.024 2x + 1.402 3$	0.958 9	

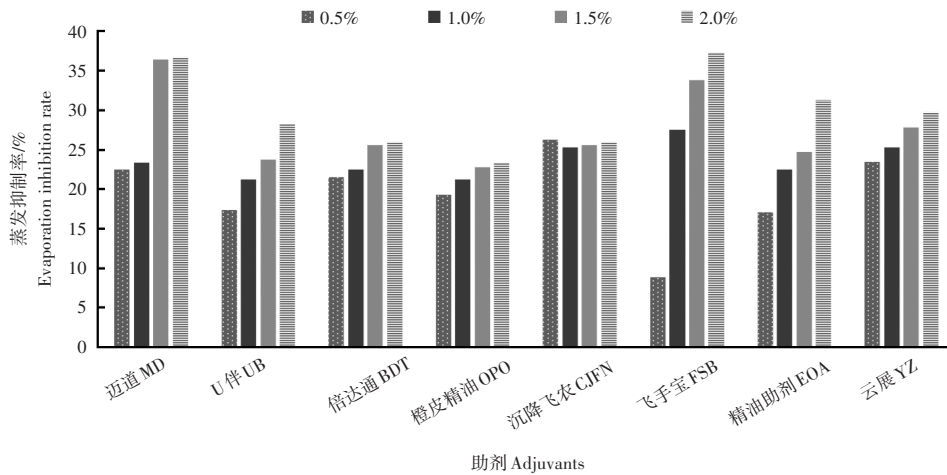


图8 飞防助剂对井冈·蜡芽菌药液的蒸发抑制作用

Figure 8 Inhibition effects of aviation spray adjuvants on evaporation of JG·BC solution

2.6 飞防助剂对药液接触角的影响

没有添加助剂的井冈·蜡芽菌液滴与水稻叶片的接触角最大,且在 120 s 内变化不显著;各助剂添加后能显著降低液滴与叶片的接触角,且随时间的延长,液滴的接触角逐渐减小;同种助剂添加浓度越大,液滴的接触角越小(图9)。其中,MD 和 EOA 对接触角的影响最大,1.5% 和 2.0% MD 和 EOA 添加,液滴在刚接触到叶片时迅

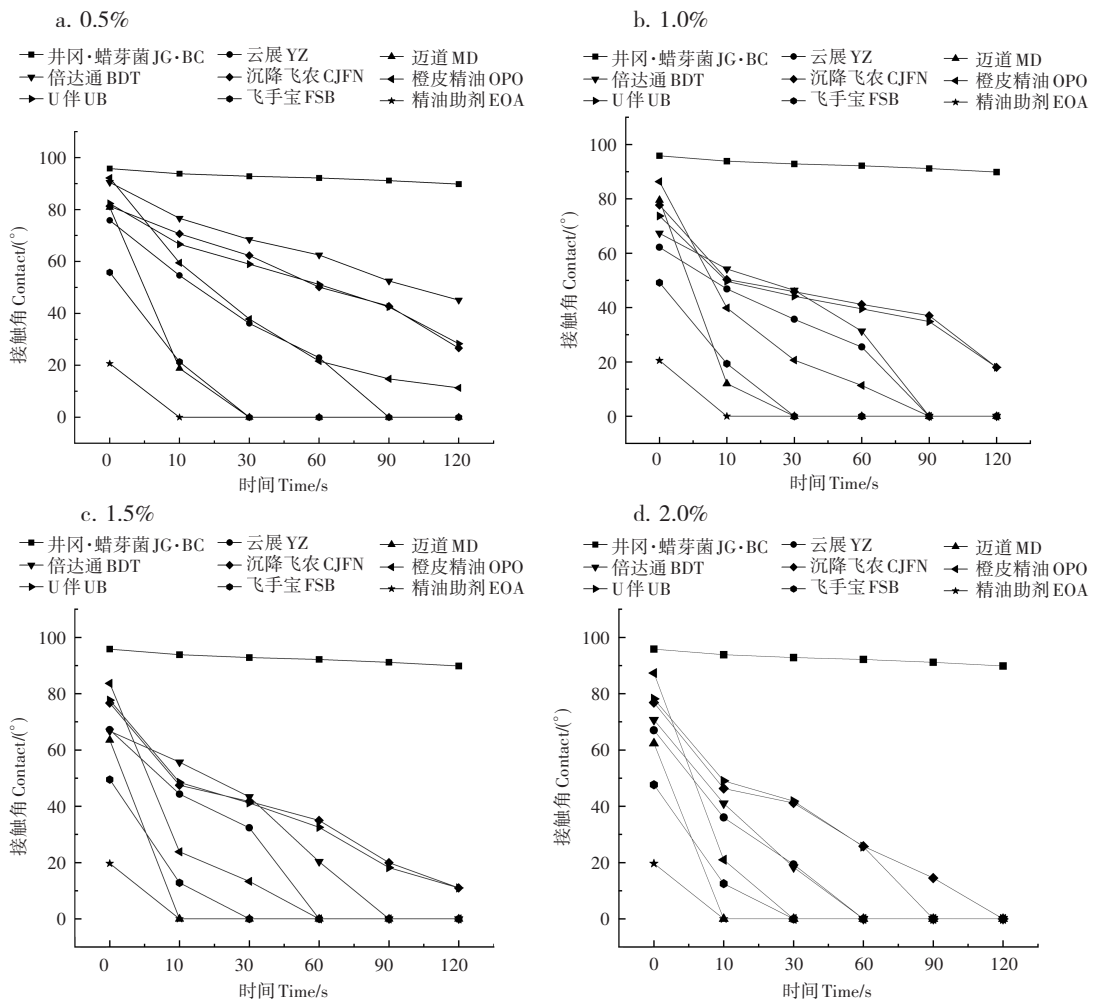


图9 飞防助剂不同添加量对井冈·蜡芽菌药液接触角的影响

Figure 9 Effect of aviation spray adjuvants on the contact angle of JG·BC solution

速展开,10 s内接触角接近0°。

助剂添加量为2.0%时,FSB和OPO在30 s内使药液接触角减小,趋近0°;BDT和YZ在60 s内使药液接触角逐渐减小后,趋近0°;UB在90 s内药液接触角减小趋近0°;CJFN在120 s时药液接触角趋近0°。

2.7 飞防助剂对井冈·蜡芽菌雾滴沉积的影响

通过无人机喷施,添加飞防助剂和不添加飞防助剂的药液雾滴在水稻的上、中、下层叶片的覆盖率、沉积密度和沉积量都呈逐渐减下降的趋势(图10)。在同一层叶片上,添加助剂的药液雾滴的覆盖率、沉积密度和沉积量显著高于无助剂药液。其中,MD对雾滴沉积的影响大于EOA,在上部叶片和下部叶片上MD处理的叶面上雾滴覆盖率和沉积密度要显著高于EOA。

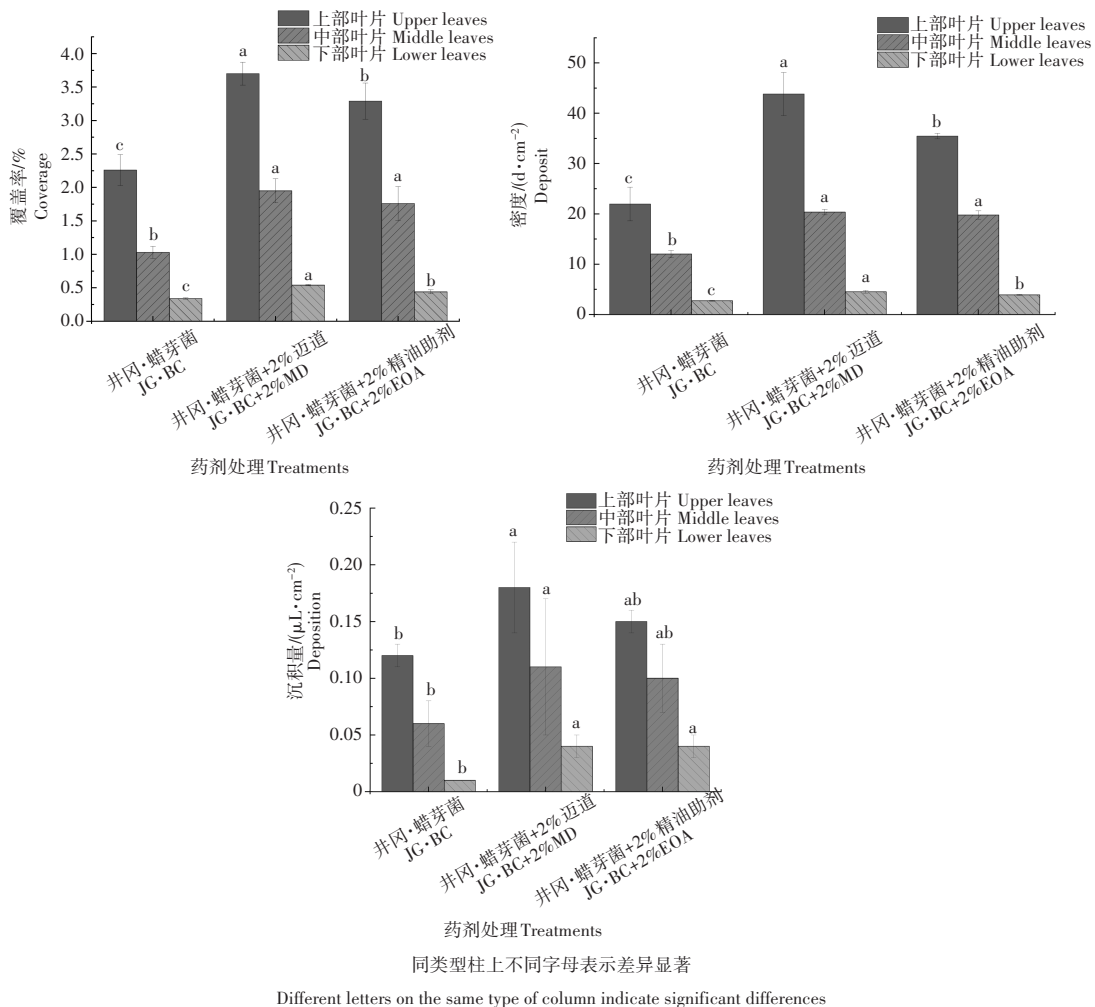


图10 飞防助剂对雾滴在叶片不同部位沉降行为的影响

Figure 10 Effect of aviation spray adjuvants on droplet deposition on different parts of rice leaves

2.8 飞防助剂对井冈·蜡芽菌防治水稻纹枯病的药效影响

飞防助剂MD和EOA均能显著增强2.5%井冈·蜡芽菌水剂对水稻纹枯病的防治效果(表4)。2.5%井冈·蜡芽菌水剂对水稻纹枯病的防治效果可达79.76%,添加MD和EOA后,井冈·蜡芽菌对水稻纹枯病的防治效果分别达到90.97%和89.30%,显著高于未添加飞防助剂处理。

3 讨论与结论

植保无人飞机作为低容量喷雾器械,具有用水量低、雾滴粒径细、作业效率高及劳动强度低等特点^[21-22],现已被广泛应用于植物病虫害防治中,尤其在水稻病虫害的防治中得到广泛应用^[23-24]。由于植保无人飞机飞行速度快、作业高度高,其喷施的药液雾滴易受旋翼风场和自然风的影响,雾滴极易发生飘移现象^[18, 24-25],加之水

表4 飞防助剂对井冈·蜡芽菌防治水稻纹枯病防治效果的影响
Table 4 Effect of aviation spray adjuvants on control efficacy of JG·BC against rice sheath blight

药剂处理 Treatments	病情指数 Disease index	防治效果/% Control efficiency
井冈·蜡芽菌 JG·BC	1.64	79.76 ^c
井冈·蜡芽菌+2% 迈道 JG·BC+2% MD	0.73	90.97 ^a
井冈·蜡芽菌+2% 精油助剂 JG·BC+2% EOA	0.87	89.30 ^b
空白对照 Blank control	8.12	/

注: 不同字母表示差异显著。

Note: Different letters indicate significant differences.

稻叶片直立, 蜡质层较厚, 具有疏水性^[16], 植保无人机喷施的药液雾滴难以润湿水稻叶片, 易发生滚落、滑落和弹跳等现象^[26]。因此, 提高药液雾滴在作物表面的有效沉积量是药效发挥的关键^[24, 27]。

飞防助剂是航空植保中使用的专用喷雾助剂^[28]。飞防助剂可降低药液的表面张力、增强药液在靶标植物叶片上的粘附性、润湿和展着性能, 提高药液的抗蒸发性, 从而增强药液在植物表面的沉积和防飘移等性能, 提高农药对病虫害的防效^[13, 29-30]。不同的飞防助剂对同一药剂的理化性能和药液喷洒质量的影响差别很大。非离子表面活性剂的混合物 8860 对戊唑醇药液的表面张力、润湿性能、接触角、黏度等性能的改善优于表面活性剂与溶剂的混合物 8872, 并能显著提高戊唑醇在小麦叶面的沉积作用, 提高戊唑醇的防效^[19]。同一飞防助剂也并非对所有杀虫剂都具有同等增效作用。资料研究表明, 聚合物助剂红雨燕对 5% 氯虫苯甲酰胺悬浮剂的增效作用显著高于对其他 3 种杀虫剂的增效作用, 植物油助剂农博士对 12% 甲维·虫螨脲悬浮剂的增效显著低于对其他 3 种杀虫剂的增效, 有机硅助剂全丰对 4 种杀虫剂的增效均较好^[24]。本研究针对防治水稻纹枯病的常用杀菌剂 2.5% 井冈·蜡芽菌水剂筛选适宜的飞防助剂, 结果表明市售的 8 种飞防助剂都改善井冈·蜡芽菌药液的性能, 同一助剂, 随着浓度的提高, 药液在水稻叶片上的润湿性能、接触角下降, 药液的黏度增强, 有利于药液在水稻叶面的吸附、扩展和充分吸收。除飞手宝外的 7 种飞防助剂, 随着浓度的提高, 助剂对药液的蒸发抑制率也随之提高。飞手宝对药液蒸发抑制率呈现出的非线性关系, 可能与其有效成分含量及化学结构式相关^[20]。在 8 种助剂中, 迈道和精油助剂按药液体积的 2.0% 的比例添加对井冈·蜡芽菌药液性能的综合影响显著好于倍达通、橙皮精油、飞手宝、U 伴、沉降飞农和云展飞防助剂。田间试验结果表明, 添加了迈道和精油助剂的井冈·蜡芽菌在水稻叶片表面的沉积量、沉积密度和覆盖率显著高于未添加助剂的药液, 迈道和精油助剂能显著提高 2.5% 井冈·蜡芽菌水剂对水稻纹枯病的防治效果。

参考文献:

- [1] XIE W Y, CAO W L, LU S B, et al. Knockout of transcription factor *OsERF65* enhances ROS scavenging ability and confers resistance to rice sheath blight[J]. *Molecular plant pathology*, 2023, 24(12): 1535-1551.
- [2] 龙欣钰, 孟祥佳, 曹 帅, 等. 水稻纹枯病生防菌株的筛选、鉴定及其防治效果[J]. *植物保护学报*, 2022, 49(6): 1620-1630.
LONG X Y, MENG X J, CAO S, et al. Screening, identification and control effect of biocontrol strains for rice sheath blight[J]. *Journal of Plant Protection*, 2022, 49(6): 1620-1630.
- [3] 俞寅达, 孙嫫嫫, 夏志辉. 水稻纹枯病生物防控研究进展[J]. *分子植物育种*, 2019, 17(2): 600-605.
YU Y D, SUN H J, XIA Z H. Research progress on biological control of rice sheath blight[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(2): 600-605.
- [4] GOWDAR B S, NARAPPA G. Efficacy of axystrobin 7.5% and propiconazole 12.5% SE against sheath blight in rice[J]. *Journal of Experimental Agriculture International*, 2024, 46(5): 275-281.
- [5] 中国农药信息网. 数据中心 <http://www.chinapesticide.org.cn/zwb/dataCenter> China Pesticide Information Network. Data Center, <http://www.chinapesticide.org.cn/zwb/dataCenter>.
- [6] 周 锋, 许思超, 罗奥迪, 等. 粉唑醇对禾谷丝核菌的抑菌活性及其对小麦纹枯病的田间防效试验[J]. *农药*, 2023, 62(4): 295-298.

- ZHOU F,XU S C,LUOA D,et al.Antifungal activity of flutriafol against *Rhizoctonia cerealis* and its field control effect on wheat sharp eyespot[J].Agrochemicals,2023,62(4): 295-298.
- [7] DENERU Y,RAMASAMY K,ALLIMUTHU S,et al.Study on spray deposition and drift characteristics of UAV agricultural sprayer for application of insecticide in redgram crop (*Cajanus cajan* L.Mill.sp.)[J].Agronomy,2022,12(12):3196.
- [8] 于良斌.5种杀菌剂对水稻稻瘟病的田间防效及产量的影响[J].农药,2024,63(3):212-216.
YU L B.Field control effects of 5 fungicides on rice blast and their impact on rice yield[J].Agrochemicals,2024,63(3):212-216.
- [9] WANG G B,LAN Y B,QI H X,et al.Field evaluation of an unmanned aerial vehicle (UAV) sprayer:Effect of spray volume on deposition and the control of pests and disease in wheat[J].Pest management science,2019,75(6):1546-1555.
- [10] WANG S B,XU S Q,YU C W,et al.Obstacle avoidance and profile ground flight test and analysis for plant protection UAV [J].Drones,2022,6(5):125-125.
- [11] 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.
CHEN S D,LAN Y B,LI J Y,et al.Comparison of the effect of aerial spraying and artificial spraying on rice application[J]. Journal of South China Agricultural University,2017,38(4):103-109.
- [12] 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.
XUE X Y,QIN W C,SUN Z,et al.Effect of N-3 unmanned helicopter application method on the control effect of rice plan- thopper and rice leaf roller[J].Journal of Plant Protection,2013,40(3):273-278.
- [13] AKBAR A,GOUDARZ A.Tank-mix adjuvants to reduce the adverse effect of muddy rain on the activity of paraquat against winter wild oat[J].Crop Protection,2020,128:105013.
- [14] DHARAM B Y,ASHOK Y,SATBIR S P,et al.Management of herbicide-resistant phalaris minor in wheat by sequential or tank-mix applications of pre-and post-emergence herbicides in northwestern Indo-Gangetic Plains[J].Crop Protection,2016, 89:239-247.
- [15] LAN Y B,SHAN C F,WANG Q Y,et al.Effect of different spray auxiliaries on droplet deposition characteristics in the spraying operation of plant protection UAV[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2021,37(16): 31-38.
- [16] WANG S B,YU H,JIANG C,et al.Flight safety strategy analysis of the plant protection UAV[J].IFAC Papers on Line,2018,51 (17):262-267.
- [17] ZHONG Y,JIN Y,XU S,et al.Efficacy of two tank-mix adjuvants to control Mango Thrips using a UAV sprayer[J].Agricul- ture,2023,13:1805.
- [18] 臧 禹.植保无人机飞防助剂的作用机理及其应用效果研究[D].广州:华南农业大学,2019.
ZANG Y.Study on the action mechanism and application effect of UAV flight prevention AIDS for plant protection[D]. Guangzhou:South China Agricultural University,2019.
- [19] ZHAO R,YU M,SUN Z,et al.Using tank-mix adjuvant improves the physicochemical properties and dosage delivery to re- duce the use of pesticides in wheat unmanned aerial vehicles plant protection[J].Pest Management Science,2022,78(6): 2512-2522.
- [20] 孔令伟,郑 燕,陶 波.飞防助剂对农药雾滴飘移及性状的影响[J].世界农药,2024,46(11):27-33.
KONG L W,ZHENG Y,TAO B.Effects of flight control additives on the drift and properties of pesticide droplets[J].World Pesticides,2024,46(11):27-33.
- [21] 范佳怡.喷雾助剂对除草剂的增效作用及增效机理研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2023.
FAN J Y.Study on synergistic effect and synergistic mechanism of spray auxiliaries on herbicides[D].Harbin:Northeast Agri- cultural University,2023.
- [22] 周晓欣.雾滴蒸发规律的探索及几种航空喷雾助剂的评价[D].沈阳:沈阳农业大学,2017.
ZHOU X X.Exploration of droplet evaporation and evaluation of several aviation spray auxiliaries[D].Shenyang:Shenyang Ag- ricultural University,2017.
- [23] 周 珊,刘剑波,谭陈勇,等.蜡芽孢杆菌YN917对水稻稻瘟病菌的拮抗机理及应用[J].农药,2023,62(3):213-216.
ZHOU H,LIU J b,TAN C Y,et al.Antagonistic mechanisms and biocontrol effect of *Bacillus cereus* strain YN917 upon *Mag- naporthe oryzae*[J].Agrochemicals,2023,62(3):213-216.

- [24] 陈晓,刘德江,王果,等.喷雾参数及助剂类型对植保无人机在棉花中期喷雾雾滴沉积分布的影响[J].农药学学报,2020,22(2):347-352.
CHEN X,LIU D J,WANG G,et al.Effects of spraying parameters and auxiliary types on the deposition distribution of spray droplets by unmanned plant protection aircraft in cotton middle stage[J].Journal of Agrochemistry,2020,22(2):347-352.
- [25] 徐广春,徐鹿,石伟山,等.植保无人机施药防治水稻病虫害的研究进展[J].江苏农业科学,2023,51(7):1-7.
XU G C,XU L,SHI W S,et al.Research progress of plant protection drone application for control of rice pests and diseases[J].Jiangsu Agricultural Sciences,2023,51(7):1-7.
- [26] 资乐,臧禹,黄俊浩,等.植保无人机飞防助剂与杀虫剂配伍方式对其防治稻纵卷叶螟效果的影响[J].植物保护学报,2023,50(2):538-544.
ZI L,ZANG Y,HUANG J H,et al.Effect of flight control additives and insecticides compatibility of plant protection UAV on the control effect of rice leaf roller[J].Journal of Plant Protection,2023,50(2):538-544.
- [27] GUO S,LI J Y,YAO W X,et al.Distribution characteristics on droplet deposition of wind field vortex formed by multi-rotor UAV[J].PLoS One,2019,14(7):e0220024.
- [28] CHEN S D,LAN Y B,ZHOU Z Y,et al.Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV[J].Agronomy,2020,10(2):195.
- [29] SONG Y Y,HUANG Q L,HUANG G Z,et al.The effects of adjuvants on the wetting and deposition of insecticide solutions on hydrophobic wheat leaves[J].Agronomy,2022,12:2148.
- [30] 张春华,张宗俭,姚登峰,等.飞防助剂对航空植保产业发展的贡献[J].世界农药,2020,42(1):22-24.
ZHANG C H,ZHANG Z J,YAO D F,et al.Contribution of flight control additives to the development of aviation plant protection industry[J].World Pesticides,2020,42(1):22-24.
- [31] JI G M,CHEN H Z,ZHANG Y P,et al.Leaf surface characteristics affect the deposition and distribution of droplets in rice (*Oryza sativa* L.)[J].Scientific Reports,2021,11(1):17846-17846.
- [32] 郭永旺,周洋洋.3种助剂对无人机喷雾雾滴沉积及防治稻瘟病效果的影响[J].中国植保导刊,2020,40(5):72-74,37.
GUO Y W,ZHOU Y Y.Effects of three auxiliaries on the deposition of UAV spray droplets and the control effect of rice blast[J].China Plant Protection,2020,40(5):72-74,37.