

◆ 开发与分析 ◆

3种不同类型飞防助剂抗蒸发性能研究

周金晓,陶永江,邹婷婷,赵方奎,陈淑宁,袁会珠,闫晓静*

(中国农业科学院植物保护研究所 北京 100193)

摘要:雾滴的蒸发和飘移是当前植保无人机飞防作业面临的巨大挑战。本文主要对飞防喷雾助剂抗蒸发性能进行研究。采用悬滴法,测试了当前市面主流的植物油类(倍达通)、有机硅类(Silwet L-7608)、高分子(G-2901B)3种飞防喷雾助剂的抗蒸发性能。结果表明,在33℃条件下,3种助剂的抗蒸发效果表现为植物油(倍达通)>高分子(G-2901B)>有机硅(Silwet L-7608)。当添加量为1.5%时,添加植物油类助剂倍达通的雾滴抗蒸发效果最好,蒸发抑制率为26.81%。

关键词:雾滴蒸发;飞防助剂;植物油;有机硅;高分子

中图分类号:TP 450.4 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2026.01.004

Study on the anti-evaporation performance of three different types of aerial spray adjuvants

ZHOU Jinxiao, TAO Yongjiang, ZOU Tingting, ZHAO Fangkui, CHEN Shuning, YUAN Huizhu, YAN Xiaojing*

(Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The evaporation and drift of fog droplets are the primary challenge in current plant protection unmanned aerial vehicle. This study focused on the anti-evaporation properties of aerial application spray adjuvants. The anti-evaporation performances of the three major adjuvants on the market, namely plant oil (Betadine), organosilicon (Silwet L-7608), and polymer (G-2901B), were tested by the pendant droplet method. The results showed that at the temperature of 33℃, the anti-evaporation effects of the three kinds of adjuvants were as follows: plant oil (Betadine) > polymer (G-2901B) > organosilicon (Silwet L-7608). When the addition amount was 1.5%, the droplet anti-evaporation effect of plant oil (Betadine) was the best, with the evaporation inhibition rate of 26.81%.

Key words: droplet evaporation; aerial spray adjuvant; plant oil; organosilicon; polymer

我国疆土广阔,耕地资源丰富。截至2024年底,据最新的《2024年中国自然资源统计公报》官方统计,中国的耕地面积为12 860.88万hm²。随着全球气候变暖及农田生态环境的变化,农作物病虫害呈现出多发、重发、频发的发展态势^[1]。据全国农业技术推广服务中心分析评估,2024年我国小麦、玉米、水稻、马铃薯等主要粮食作物和油料、蔬菜作物上22种病虫害呈重发态势,全国发生面积15 541 hm²次,病虫害造成的潜在粮食产量损失超过1.5亿吨^[2]。加之近年来城镇化、工业化的迅猛发展,农村劳动力大量缺失,传统背负式喷雾作业远不能满足现代农业

的发展需求,亟需建立一种新型现代化植保体系^[3-5]。

近十年来,我国农业航空领域迅猛发展,植保无人机已成为现代农业生产的重要工具之一,从2013年保有量不足千架,植保作业面积不足6.67万hm²次,增长到2024年保有量25.1万架,已成为现代农业植保的重要手段^[6-7]。目前,我国植保无人机保有量和防治面积均居世界首位^[8]。

植保无人机作为一种新型的高效施药器械,相比传统地面喷雾施药器械,其作业高度高、雾滴粒径小、雾滴空中滞留时间长。药液从离开喷雾装置到作物靶标剂量传递过程通常经历以下几个阶

收稿日期:2025-05-22

基金项目:国家重点研发计划项目(2021YFD2000103)

作者简介:周金晓(1998—),男,河南平顶山人,硕士研究生,研究方向为农药喷雾助剂。E-mail:1276844452@qq.com

通信作者:闫晓静(1981—),女,河南周口人,博士,研究员,主要从事植物病虫害防治及农药使用技术研究。E-mail:yanxiaojing@caas.cn

段:喷头雾化、空中飞行、靶标撞击和铺展沉积、植物叶片吸收等^[9]。

在空间传递过程中,由于蒸发飘移造成的损失量通常在20%~30%;此外,雾滴蒸发飘移对非靶标生物和环境造成的安全性风险也引起了人们的广泛关注^[10]。通过添加飞防喷雾助剂来抑制雾滴蒸发飘移是应对这一问题的重要手段之一^[11]。

目前,市面上主流飞防喷雾助剂按材质/结构可分为植物油类、有机硅类、高分子等,此外还有非离子表面活性剂及多种混合型助剂。不同类别助剂在表面张力、接触角、蒸发、飘移、弹跳等方面表现出不同的效果。本文主要通过对学者周晓欣提出的悬滴法^[12]雾滴蒸发性能测定中的影响因素进行归纳分析,提出相应的改进措施,并对植物油、有机硅、高分子飞防喷雾助剂在33℃及0.5%、1.5%添加量下的抗蒸发效果进行评价。以期植保无人飞机喷雾助剂的抗蒸发性评价提供理论依据和数据支撑。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验用助剂:植物油类助剂倍达通,河北明顺农业科技有限公司;高分子助剂G-2901B,汕头市深泰新材料科技发展有限公司;有机硅类助剂Silwet L-7608,迈图高新材料集团。纳米疏水剂HY-Kit,德国Dataphysics公司。试验用仪器和材料:视频光学接触角测量仪(OCA-20)、1 mL注射器(DS-D 1000 SF)、注射针头(SNS-D 051/025),德国Dataphysics公司;干燥剂(硅胶),上海威胜科技发展有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验原理

在恒定温度下,测试液滴在一定时间段内(1 min)的始末体积差,根据待测样品与对照液滴蒸发的体积差值,计算样品的蒸发抑制率(R)。通过液滴体积随时间的变化得出蒸发线性方程。

蒸发抑制率计算公式如式(1)。

$$R/\% = \frac{(V_{\text{初纯水}} - V_{\text{末纯水}}) - (V_{\text{初样品}} - V_{\text{末样品}})}{V_{\text{初纯水}} - V_{\text{末纯水}}} \times 100 \quad (1)$$

1.2.2 操作流程

按电脑、温控仪、视觉传感器、循环水浴锅的顺序依次启动接触角测量仪相关设备。在温控盒四角放置干燥剂硅胶,保持盒内环境干燥;温控仪温度设置为33℃,随后仪器预热20 min。注射针头(SNS-D 051/025)用纳米疏水剂(HY-Kit)进行疏水处理,避免液滴包针对测试的干扰。用注射器吸

取0.5~0.7 mL待测液,排尽气泡后,待液滴能连续稳定注射时,将注射针头调整至温控底板临界位置,封闭温控盒,启动实时体积测试。待仪器稳定且达到预设初始体积后,开启视频录制,每次测试保持初始体积一致。测试结束后,通过软件SCA202导出不同时刻体积并分析。

1.2.3 参数设置

录制时长 3 min 10 s,帧数 2 s每帧(每2 s记录1个静止画面);针头外径:0.51 mm;注射体积:2.65~3 μL;视频录制初始体积:2.6 μL。试验装置实景及视频录制后软件测量界面分别见图1和图2。

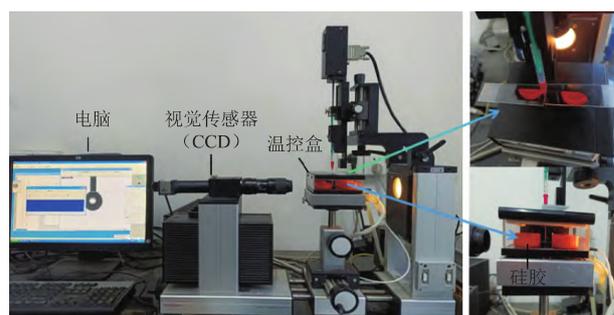


图1 试验装置实景图

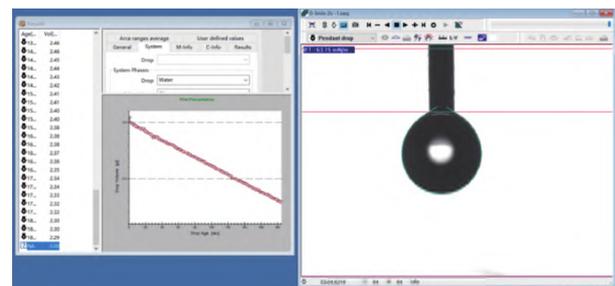


图2 录制视频后软件测量界面

1.2.4 数据处理

试验采用悬滴法(pendant drop)对液滴体积进行实时测算。为降低系统误差,将每次测试的3 min数据按照1 min间隔提取始末体积差,取众数作为该次测试1 min体积差的代表值。

2 试验结果

采用悬滴法,在33℃环境温度下,以纯水为对照,根据液滴1 min蒸发始末体积差,对高分子(G-2901B)、植物油类(倍达通)、有机硅类(Silwet L-7608)3种喷雾助剂在0.5%、1.5%等2种添加量条件下的抗蒸发效果进行测试。测试结果如表1、图3所示。2种添加量蒸发测试结果表现出相同的趋势,植物油类助剂倍达通在0.5%、1.5%添加量条件下均表现出良好的抗蒸发效果,蒸发抑制率最高,较纯

水分别提升23.19%和26.81%;有机硅类助剂Silwet L-7608抗蒸发效果相对较差,在0.5%和1.5%添加量条件下蒸发抑制率分别为7.97%和10.87%;高分子助剂G-2901B在0.5%和1.5%添加量条件下蒸发抑

制率分别为16.52%和19.42%。在33℃试验条件下,3种助剂随添加量从0.5%提升至1.5%,抗蒸发效果呈增强趋势。抗蒸发效果依次为植物油类(倍达通)>高分子(G-2901B)>有机硅类(Silwet L-7608)。

表1 不同添加量下助剂抗蒸发性能测试结果(33℃)

添加量/%	助剂	1 min始末体积差/ μL			蒸发抑制率/%	标准差	线性方程	R^2
		重复1	重复2	重复3				
	纯水	0.23	0.23	0.23			$y = -0.0038x + 2.9989$	0.9989
	G-2901B	0.20	0.19	0.20	16.52	2.64	$y = -0.0032x + 3.0007$	0.9979
0.5	Silwet L-7608	0.21	0.22	0.21	7.97	1.26	$y = -0.0036x + 2.7151$	0.9992
	倍达通	0.17	0.18	0.18	23.19	2.51	$y = -0.0028x + 2.7865$	0.9989
	G-2901B	0.19	0.19	0.18	19.42	2.19	$y = -0.0030x + 2.6788$	0.9995
1.5	Silwet L-7608	0.21	0.20	0.21	10.87	3.77	$y = -0.0035x + 2.7529$	0.9995
	倍达通	0.16	0.16	0.18	26.81	3.65	$y = -0.0027x + 2.7756$	0.9990

注 线性方程中 x 表示时间(s), y 表示液滴体积(μL)。

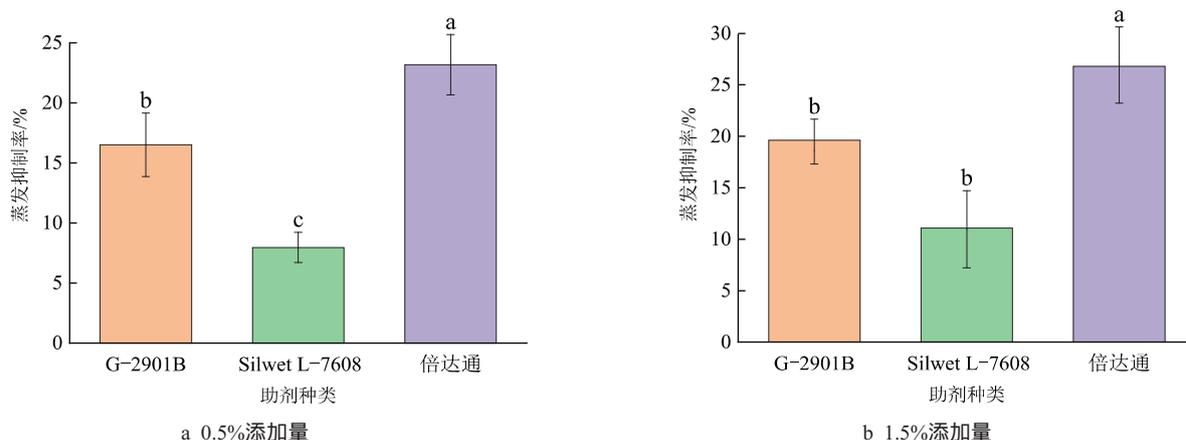


图3 助剂蒸发抑制率

此外,3种助剂在0.5%添加量、33℃条件下,3 min内液滴形态变化如图4所示。

由图可知,添加不同类型的助剂,液滴表现出不同的圆润性,这与液滴的表面张力有关。纯水的表面张力最大,液滴的圆润效果最好。随着不同类别助剂的添加,液滴表面张力发生不同程度的降低,表面张力越低圆润性越差,呈现椭圆形。有机硅类

助剂具有极强的降低表面张力特性^[12-13]。因此,添加有机硅助剂Silwet L-7608的液滴呈明显椭圆形。随着蒸发时间的延长,液滴逐渐变小,圆润性变好,液滴上部形态发生变化,与液滴原始拟合曲线出现不同程度偏离。若仅以液滴原始拟合曲线为参照,则易产生较大的视觉偏差。因此,只对3 min内不同类别助剂形态进行展示。

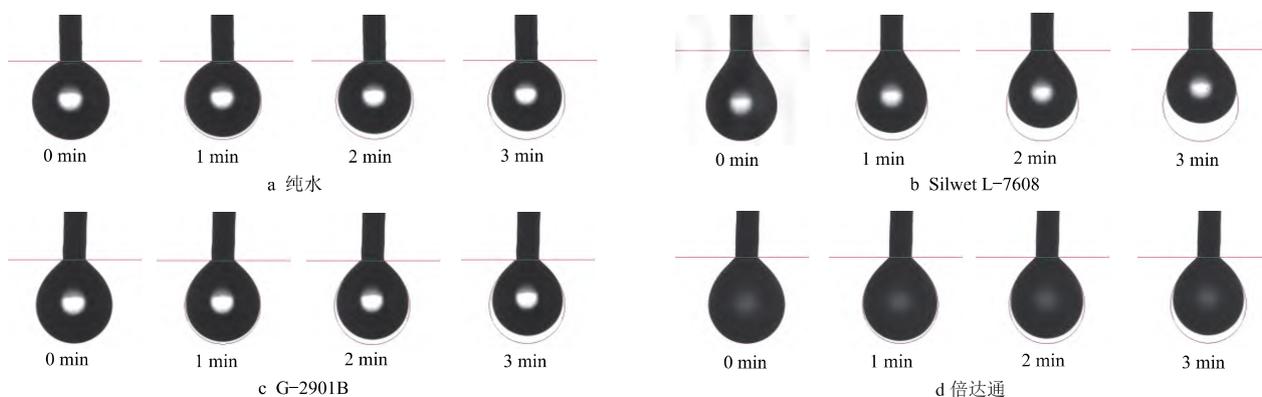


图4 3种助剂的液滴形态变化

3 讨论与分析

近年来,农业植保无人飞机在农业领域的应用日益广泛,但与传统地面施药器械相比,因其作业高度高、雾滴粒径小等特性,其药液雾滴的蒸发和飘移问题受到学者的普遍关注。研究人员亟需建立一种准确有效的方法,来评价药液的抗蒸发性能,以改善植保无人飞机药液体系的抗蒸发性能。悬滴法是评价喷雾雾滴抗蒸发性的一种合理有效的方法,但在测试过程中易受到环境温度、湿度、液滴蒸发抖动、仪器不稳定等多种因素影响,导致测试结果重现性差。该问题已成为困扰学者开展药液抗蒸发测试的难题。为此,笔者对悬滴法测试过程中的影响因素进行了归纳分析,并提出了相应的应对措施,对测试方法进一步优化,以期推进悬滴法测试雾滴抗蒸发性能方法体系的建立和完善,并通过这种方式对3种飞防喷雾助剂的抗蒸发效果做出评价。

液滴抗蒸发性测试主要受温度、湿度、液滴包针、液滴抖动和仪器系统误差等因素干扰。温度控制依赖温控盒底部的温控底板,因此每次测试需保持液滴与温控底板的适宜距离。随着测试时间的延长,温控盒内湿度会不断升高,进而抑制雾滴蒸发。在温控盒四角放置硅胶可以有效缓解这一因素的干扰。表面张力过低的助剂在测试过程中会出现液滴持续上移、包针的现象,针头涂覆纳米疏水剂可有效抑制这一现象的发生。液滴抖动包括液滴自然蒸发抖动,以及气流、外力等因素导致的抖动,测试过程中封闭温控盒开口并保持操作台稳定,可有效避免非试验因素的干扰。仪器帧数设置过高,或长期频繁使用未及时维护是导致仪器系统不稳定,影响测试结果的重要因素。若出现此类情况,可通过降低帧数或重启仪器等方式解决。

悬滴法是评价喷雾雾滴抗蒸发性的方法之一,仪器的稳定操作是影响测试结果的重要因素,但目

前尚无针对性的专业测试仪器。现有测试方法主要借助视频光学接触角测量仪,在特定温度下,测定固定时间段内液滴的蒸发体积差,通过计算体积变化求出雾滴的蒸发抑制率。根据液滴体积随时间的变化得出蒸发速率线性方程。通过上述措施改进,以期找到抗蒸发测试中的关键影响因素,在仪器相对稳定的条件下,对不同样品的抗蒸发特性进行测试。该方法可作为植保无人飞机飞防药剂和助剂抗蒸发性筛选的有效手段,以期推进飞防药剂和助剂抗蒸发效果的改良和应用。

参考文献

- [1] 翟肇裕,曹益飞,徐焕良,等.农作物病虫害识别关键技术研究综述[J].农业机械学报,2021,52(7):1-18.
- [2] 刘杰,曾娟,黄冲,等.2024年全国农作物重大病虫害发生趋势预报[J].中国植保导刊,2024,44(1):37-40.
- [3] 陈盛德,廖玲君,徐小杰,等.中国植保无人机及其施药关键技术的研究现状与趋势[J].沈阳农业大学学报,2023,54(4):502-512.
- [4] 周志艳,明锐,臧禹,等.中国农业航空发展现状及对策建议[J].农业工程学报,2017,33(20):1-13.
- [5] 赵方奎,闫晓静,袁会珠.我国植保无人飞机相关标准制定与规范内容分析[J].现代农药,2023,22(3):41-46.
- [6] 袁会珠,薛新宇,闫晓静,等.植保无人飞机低空低容量喷雾技术应用与展望[J].植物保护,2018,44(5):152-158;180.
- [7] 周金晓,石鑫,袁会珠,等.植保无人飞机施药防治农作物病虫害研究进展[J].现代农药,2023,22(3):29-36.
- [8] 李香帅,刘晓慧,闫晓静,等.植保无人飞机研究现状与发展趋势[J].现代农药,2023,22(3):1-9.
- [9] 曾爱军.减少农药雾滴飘移的技术研究[D].北京:中国农业大学,2005.
- [10] 宋小沐.雾滴蒸发特性及农药助剂的抗蒸发性能研究[D].辽宁大连:大连理工大学,2021.
- [11] 周晓欣,陈奕璇,石鑫,等.植保无人飞机喷雾雾滴蒸发性能测定方法及应用[J].现代农药,2021,20(3):20-25.
- [12] 林金元,王国宾,况慧云,等.喷雾助剂对雾滴粒径、抗蒸发及植保无人飞机喷雾雾滴飘移的影响[J].上海农业学报,2022,38(2):81-87.
- [13] 刘志军,辜柳霜,闫超,等.有机硅助剂对7种杀虫剂在剑麻叶上润湿性能的影响[J].中国农学通报,2023,39(1):112-116.

先正达在加拿大推出基于异噁唑虫酰胺的种子处理剂

近日,先正达加拿大公司正式推出种子处理剂Equento® Cereals。这是一款针对加拿大西部谷类作物的创新产品,兼具触杀和内吸活性,可有效防治金针虫和多种种传和土传病害。Equento® Cereals包含6种有效成分,核心成分为先正达研发的新型杀虫剂异噁唑虫酰胺(PLINAZOLIN®),IRAC将其归类于Group 30,作用机制独特,对金针虫具有良好的防效,其他活性成分还包括杀虫剂噁虫嗪,杀菌剂苯醚甲环唑、氟唑环菌胺、精甲霜灵、咯菌腈。

先正达加拿大表示,Equento® Cereals能够有效防治金针虫,从而保护谷物种子和幼苗免受金针虫取食危害,避免因此导致的作物健康受损和产量下降。Equento® Cereals将于2026年种植季在加拿大西部上市。

(来源:Syngenta Canada, Agropages)