

宋睿, 沈国清, 张永涛, 等. 植保无人机飞防助剂的筛选及其性能评价[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(2): 333-339.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.02.008

植保无人机飞防助剂的筛选及其性能评价

宋睿¹, 沈国清¹, 张永涛², 唐飞龙¹, 吴仁铭¹, 马云良³, 张乃昌³

(1. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240; 2. 江苏诺丽慧农农业科技有限公司, 江苏 南京 211100; 3. 上海飒天智能科技有限公司, 上海 201499)

摘要: 无人机植保飞防技术因其省工、省时和省水等优势在中国多种农作物上推广应用。然而, 在飞防作业过程中, 农药雾滴的飘移和蒸发会造成药效降低、环境污染和作物药害等问题。本研究以 70% 吡蚜酮可湿性粉剂为试验药剂, 采用液滴接触角分析、蒸发测定和雾滴检测等方法, 研究 5 种表面活性剂及其不同添加量对农药药液润湿性、防蒸发性及沉积性能影响, 结果表明, 添加 2.0% (质量分数) 阴离子型表面活性剂 AS-1 的药液性能最优。在此基础上, 进一步开展 AS-1 与多糖类化合物 GD 复配及其性能评价研究。结果表明, 将 2.0% (质量分数) AS-1 与 0.2% (质量分数) GD 复配制备成飞防助剂 TAB78, 添加于 5 种水稻常用农药药液, 与未添加助剂的空白药液相比, 添加飞防助剂 TAB78 的农药液滴接触角降低、雾滴蒸发时间延长、沉积覆盖率和沉积密度提高。采用安飞易 M6-AG 型无人机进行农药田间飞防喷雾试验, 向水稻常用农药中添加 TAB78 后, 药液覆盖率及沉积密度显著提高。

关键词: 植保无人机; 飞防助剂; 润湿性; 防蒸发性; 沉积效果

中图分类号: S482 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2021)02-0333-07

Selection and performance evaluation of spray adjuvant based on unmanned aerial vehicle (UAV) for plant protection

SONG Rui¹, SHEN Guo-qing¹, ZHANG Yong-tao², TANG Fei-long¹, WU Ren-ming¹, MA Yun-liang³, ZHANG Nai-chang³

(1. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China; 2. Jiangsu Nuoli smart Agricultural Technology Co., Ltd., Nanjing 211100, China; 3. Shanghai Satian Intelligent Technology Co., Ltd., Shanghai 201499, China)

Abstract: Aerial spray control technology based on unmanned aerial vehicles (UAVs) for plant protection have been promoted and applied in many crops in China for its advantages such as saving labor, time and water. However, in the process of aerial spray control, the drift and evaporation of pesticide droplets will result in problems such as reduced efficacy of pesticide, environmental pollution and phytotoxicity. In this study, pymetrozine 70% wettable powder (WP) was taken as the research object, and the methods of contact angle of droplets analysis, evaporability detection and droplets detection were adopted to study the effect of five surfactants and their additive amounts on wettability, preventing evaporability and deposition performance of pesticide solution. The results showed that pesticide solution adding 2.0% (mass fraction) anionic surfactant AS-1 was the best in performance. On this basis, further studies on the compounding of AS-1 and polysaccharide GD and its performance evaluation were carried out. The results showed that, after preparing spray adjuvant TAB78 by compounding 2.0% (mass fraction) AS-1 and 0.2% (mass fraction) GD, it was added into five common pesticide solutions for rice. Compared with the blank solution

without adjuvant, the pesticide solutions adding spray adjuvant TAB78 showed the characteristics such as the reduced contact angles of pesticide droplets, the extended evaporation time, the increased coverage rate and density of deposition. Anfeiyi M6-AG UAV was used in field spray control experiments of pesticides. It showed that coverage rate

收稿日期: 2020-07-29

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0800205); 上海市科技兴农重点攻关项目 (沪农科创字 2018 第 3-3 号)

作者简介: 宋睿 (1996-), 女, 山东枣庄人, 硕士研究生, 研究方向为农药制剂研发。 (E-mail) SR-winter@sjtu.edu.cn

通讯作者: 沈国清, (E-mail) gqsh@sjtu.edu.cn

and deposition density of pesticide solutions increased after adding TAB78 into the common pesticides used for rice.

Key words: unmanned aerial vehicle(UAV) plant protection; spray adjuvant; wettability; prevent evaporability; deposition effect

近年来,中国植保无人机飞防作业的应用发展迅速。研究表明,在稳定控制飞行高度和速度等飞行参数的情况下,飞防药剂的理化性质与雾化性能是影响药效的直接因素^[1]。与常规地面喷雾施药相比,植保无人机作业高度高、雾滴从喷头到靶标距离远,施药更容易产生飘移,而添加飞防助剂具有减少飘移、增加药液沉积和提高飞防药效的作用^[2-4]。刘迎等^[5]报道了在使用植保无人机喷施 75%的肟菌·戊唑醇水分散粒剂和 20%噻菌铜悬浮剂时,飞防助剂的添加能够增加药液润湿面积和雾滴覆盖率,提高飞防药效。高赛超等^[6]利用风洞试验研究了 3 种飞防助剂对植保无人机喷雾防治柑橘木虱的影响,发现通过添加倍达通、806 和 Y-20079 等助剂,可减少雾滴的飘移。陈晓等^[7]研究发现,在进行 22%氟啶虫胺胍悬浮剂飞防作业时,添加 ND-800 飞防助剂可有效提高棉花叶片背面的雾滴沉积密度。

水稻是中国种植面积第二大的粮食作物,随着水稻种植的产业化,植保无人机在水稻病虫害防治上的应用前景十分广阔^[8-9]。本研究以吡蚜酮等 5 种水稻常用农药为研究对象,采用液滴接触角分析、蒸发测定和雾滴检测等方法,在研究不同表面活性剂及添加比例对吡蚜酮喷雾雾滴润湿性、防蒸发性及沉积效果影响的基础上,开展水稻飞防助剂筛选及其性能评价研究,并在田间条件下,进行了农药无人机飞防喷雾试验,以期为推动水稻飞防助剂的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试剂

阴离子型表面活性剂 AS-1、AS-2(国药集团化

学试剂有限公司产品),非离子型表面活性剂 A105、T60、TX-10[桑达化工(南通)有限公司产品],多糖类化合物 GD(上海源叶生物科技有限公司产品),市售飞防专用助剂(深圳雨燕智能科技服务有限公司产品)。

1.2 药剂

70%吡蚜酮可湿性粉剂、25%噻嗪酮悬浮剂、4%阿维菌素·啉虫脒微乳剂、20%啉虫脒可湿性粉剂购自深圳诺普信农化股份有限公司,每 1 hm²推荐用量分别为 135~180 g、300~450 ml、225~375 ml、120~180 g;14%甲维·茚虫威悬浮剂购自江苏长青生物科技有限公司,每 1 hm²推荐用量为 150~300 ml;32.5%苯甲·嘧菌酯悬浮剂购自湖南长青润慷宝农化有限公司,每 1 hm²推荐用量为 450~600 g。

1.3 仪器与设备

电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司产品),载玻片(江苏飞舟玻塑有限公司产品),0.1~2.5 μl 移液枪(赛默飞世尔科技有限公司产品),计时器(深圳市铭霞创贸易有限公司产品),DSA100 接触角测定仪(德国 KRUSS 公司产品),3S 电池、8 mm 水管、管内走水高压喷头、植保机无刷水泵(骏化绿植农业有限公司产品,喷头及泵头参数见表 1 与表 2),手持风速仪[优利德科技(中国)股份有限公司产品],雾滴检测卡(云南斌静农业科技发展有限公司产品),Lide300 扫描仪[佳能(中国)有限公司],25 mm PPR 聚丙烯管(HDRF 诸暨市宏润商贸有限公司产品),M6-AG 型植保无人机(安飞易无人机服务中心提供)。

表 1 管内走水高压喷头主要性能参数

Table 1 Main performance parameters of high-pressure nozzle

型号	出口数	管径 (mm)	喷嘴夹角 (°)	压力 (MPa)	流量 (L/min)	喷雾粒径 (μm)
VP110-015	单出口	8	110	0.35	0.8	103

表 2 无刷水泵主要性能参数

Table 2 Main performance parameters of brushless pump

尺寸 (mm)	质量 (g)	工作电压 (V)	最大压力 (MPa)
75×70×46	248	DC12	0.48

1.4 飞防喷雾液的制备

根据产品使用说明中的推荐用量,稀释供试农药。按比例添加飞防助剂,按照推荐量添加市售飞防助剂,混匀后即获得飞防喷雾液。

1.5 飞防助剂性能测试

1.5.1 润湿性测试 采用躺滴法^[10],设置测试温度为 25 ℃,选择静态接触角测定模式,在接触角分析仪(DSA100)操作台上,放置水稻叶片作为测定基底(水稻品种:青角 307)。测试时,将飞防喷雾液注入滴液器,待仪器稳定后,操作软件控制液滴滴落,记录相应的接触角数值,每次滴定液体体积设定为 5 μl ,每组试验重复 3 次,取平均值。

1.5.2 防蒸发性能测试 用 0.1~2.5 μl 移液枪准确吸取 1.0 μl 药液,垂直悬滴,无初速度地滴在水稻叶片上,当液滴完全离开移液枪枪头时开始计时,液滴完全蒸发时停止计时,记录液滴在 25 ℃ 和 70% 相对湿度条件下完全蒸发所需时间,每组试验重复 3 次,取平均值作为蒸发时间^[11-12]。

1.5.3 沉积性能测试 采用水敏纸图像分析法,进行沉积性能测试^[13-14]。雾滴检测卡是一种水敏纸,在接触雾滴后会由黄色变为蓝色,运用软件进行处理后,可以计算检测卡上沉积的雾滴数量及覆盖率,进而显示出沉积效果。

图 1 展示了室内沉积性能测试的设计及布点示意图。选取平整的 0.5 m×3.0 m 的样方,均匀设置 12 个采样点,每个采样点处设置不同高度(30 cm、50 cm、80 cm)的细杆,分别对应模拟药液在作物植株低、中、高 3 个沉积位置。将检测卡固定在细杆顶部,显色面水平朝上。

喷施时使用无人机喷头,喷头流量为 0.8 L/min,喷液量为 30 L/hm²。喷施过程中喷头顶

距离地面 1.5 m,喷幅夹角为 110°,喷洒方向垂直向下。喷头的移动方向与样方的长中轴线(图 1 中箭头方向)平行,移动速度为 1 m/s。喷洒结束后等待 15 min,待雾滴检测卡完全干燥后,利用扫描仪将检测卡导入电脑,使用雾滴分析软件,进行雾滴覆盖率及沉积密度分析,试验重复 3 次。

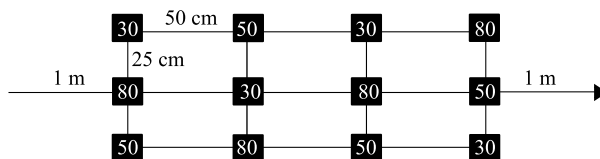
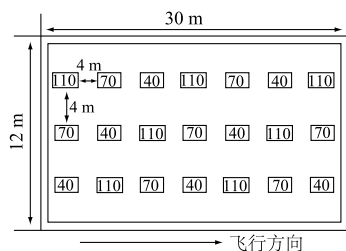


图 1 室内沉积性能测试样方布点示意图

Fig.1 Schematic diagram of distribution points of deposition test quadrat

1.5.4 田间试验 田间试验在上海市奉贤区进行,当天风向为东北风,风速为 0.3 m/s。作业过程中使用安飞易无人机服务中心提供的 M6-AG 型植保无人机,配备 4 个 VP110-015 喷头,其喷头压力为 0.35 MPa,喷幅为 3.0 m,总流量为 0.82 L/min,喷液量为 30 L/hm²,飞行高度距水稻叶尖 1.5 m,飞行速度为 3.3 m/s。大田试验中无人机作业情况及采样布点如图 2 所示。随机选取一块水稻田,设置 3 个小区,每个小区长 30.0 m,宽 12.0 m,面积为 360 m²,共 21 个采样点,每个采样点分别放置 40 cm、70 cm 和 100 cm 3 个高度的 PPR 管,并用夹子将雾滴检测卡固定在管顶部,显色一面水平朝上^[15-16]。喷施结束后,将完全干燥的雾滴检测卡取下,进行后续分析。



(a)采样点布置图



(b)无人机作业图



(c)雾滴检测卡布置图

图 2 田间试验布点及作业图

Fig.2 Layouts and operation diagrams of field experiment

2 结果与分析

2.1 不同表面活性剂及其添加量对农药药液润湿性的影响

70%吡蚜酮可湿性粉剂用水稀释 100 倍后,分

别加入质量分数为 0.1%~2.5% 的 AS-1、AS-2、TX-10、A105 及 T60,未加任何表面活性剂的吡蚜酮药液作为空白药液对照,使用 DSA100 接触角分析仪测定每组药液接触角。

如图 3 所示,添加了质量分数为 0.1%~2.5% 的

AS-1、AS-2、TX-10、A105 和 T60 的农药药液平均接触角分别为 25.5°、34.2°、44.1°、53.1°及 56.8°,比未加任何表面活性剂的吡蚜酮药液(空白药液对照)分别减小了 62.8%、50.2%、35.8%、22.7%及 17.3%,表明这 5 种表面活性剂均可提高农药药液的润湿性,其中,添加 AS-1 的药液平均接触角下降最多,达到 62.8%。添加量对药液接触角影响的研究结果表明,随着 AS-1 添加量的增加,药液接触角呈现先下降后上升的趋势,添加量为 1.0%(质量分数)时药液接触角最小,为 16.7°,润湿性提高了 75.7%。

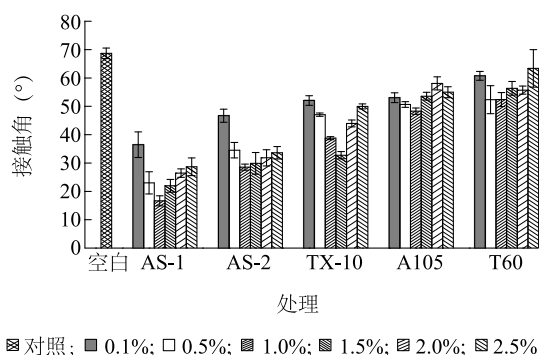


图 3 不同表面活性剂及其添加量对农药药液接触角的影响

Fig.3 Effects of different types and amounts of surfactants on the contact angle of pesticide liquid

2.2 不同表面活性剂及其添加量对农药药液防蒸发性的影响

图 4 中显示了不同添加量的 AS-1、AS-2、TX-10、A105 和 T60 对农药药液蒸发时间的影响,空白对照组为未加任何表面活性剂的吡蚜酮药液。由图 4 可见,与空白药液和其他表面活性剂相比,添加 AS-1、AS-2 和 A105 能够显著延长药液蒸发时间,提高农药药液防蒸发性。其中,在添加质量分数为 1.0%、1.5%和 2.0%的 AS-1、AS-2 与 A105 时,药液蒸发时间比对照延长 18.9%~41.5%。T60 在添加量为 1.0%、1.5%和 2.0%(质量分数)时,蒸发时间分别延长 1.8%~16.7%,而 TX-10 的添加则缩短了药液蒸发时间。

2.3 不同表面活性剂及其添加量对农药药液沉积性能的影响

农药雾滴在靶标作物叶面的覆盖和沉积性能是影响农药有效利用的关键,也是关系农业生态环境安全的重要因素^[17]。为进一步明确表面活性剂种类及其添加量对农药药液覆盖率和沉积密度的影

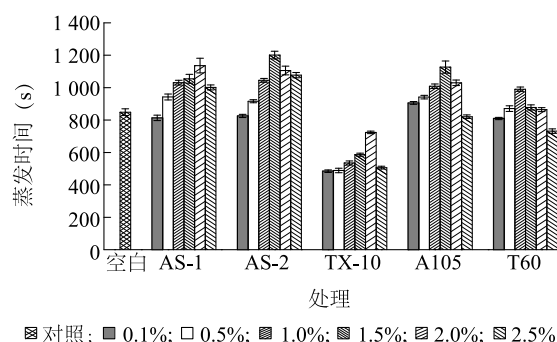


图 4 不同表面活性剂及其添加量对农药药液蒸发时间的影响

Fig.4 Effects of different types and amounts of surfactants on the evaporation time of pesticide liquid

响,选择质量分数为 1.0%、1.5%和 2.0% 3 个添加量,根据方法 1.5.3 所述的方法开展室内喷施试验,测定吡蚜酮药液在水稻叶片上的沉积覆盖率和沉积密度,结果如图 5 所示。从图 5 中可以看出,与空白药液对照相比,添加 AS-1、AS-2、TX-10、A105 和 T60 均能显著提高药液的沉积覆盖率和沉积密度。其中,添加 2.0%(质量分数) AS-1 药液的沉积覆盖率和沉积密度最高,分别为 22.5%和 1 cm² 272.5 个。

为进一步提高药液沉积效果,开展多糖类化合物 GD 与 2.0%(质量分数)AS-1 复配对药液沉积覆盖率及沉积密度的影响研究,结果如表 3 所示。由表 3 可见,随着 GD 添加量的增加,添加 GD 与 2.0%(质量分数)AS-1 复配助剂的药液沉积覆盖率及沉积密度呈先升高后降低的趋势。复配助剂中,GD 添加量为 0.2%(质量分数)时,药液覆盖率和沉积密度均达到最高,分别为 32.1%和 1 cm² 305.9 个,与空白药液对照相比,提高了 435.0%与 165.3%;与单独添加 2%(质量分数)AS-1 相比,提高了 42.7%与 12.3%。

图 6 展示了添加 2.0%(质量分数)AS-1 与 0.2%(质量分数)GD 的复配助剂(命名为 TAB78)的药液与空白药液对照的检测卡对比图。图 6 中可见,喷施含有 TAB78 的药液时,雾滴检测卡上蓝色液滴的覆盖面积和沉积密度明显高于空白药液对照。对其润湿性和防蒸发性的研究结果表明,添加 TAB78 的药液接触角、蒸发时间分别为 15.4°和 1 284 s。分别比空白药液对照的接触角降低 77.6%,蒸发时间延长 51.4%。与单一表面活性剂(图 3、图 4)相比,添加 TAB78 的药液接触角降低了 7.6%~73.5%、蒸发时间延长了 6.9%~164.7%。

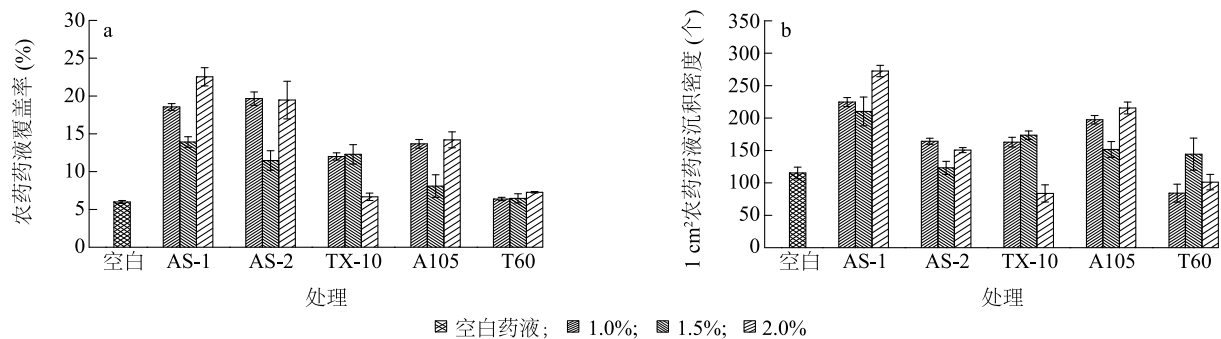


图 5 不同表面活性剂及其添加量对农药药液覆盖率 (a) 及沉积密度 (b) 的影响
Fig.5 Effects of different types and amounts of surfactants on deposition coverage (a) and density (b) of pesticide liquid

表 3 多糖类化合物 GD 与 AS-1 复配对药液沉积覆盖率及沉积密度的影响

Table 3 Effects of polysaccharide GD and AS-1 compounding on deposition coverage and density of pesticide liquid

组别	助剂种类及添加量 (质量分数)	沉积覆盖率 (%)	沉积密度 (个, 1 cm ²)
1	空白药液对照	6.0	115.3
2	2.0% AS-1	22.5	272.5
3	0.1% GD	17.0	147.4
4	0.2% GD	17.5	187.8
5	0.3% GD	14.9	136.1
6	0.4% GD	15.2	132.4
7	0.5% GD	13.2	122.9
8	2.0% AS-1+0.1% GD	25.7	278.3
9	2.0% AS-1+0.2% GD	32.1	305.9
10	2.0% AS-1+0.3% GD	29.3	286.3
11	2.0% AS-1+0.4% GD	28.2	275.6
12	2.0% AS-1+0.5% GD	19.2	244.7

2.4 添加 TAB78 的稻田常用农药药液的润湿、防蒸发以及沉积效果

为验证 TAB78 飞防助剂对水稻常用农药的应用效果,选取了 70%吡蚜酮可湿性粉剂、25%噻嗪酮悬浮剂、4%阿维菌素·啉虫脲微乳剂、20%啉虫脲可湿性粉剂、14%甲维·茚虫威悬浮剂+32.5%苯甲·嘧菌酯悬浮剂复配农药为研究对象,对添加 TAB78 后的农药药液进行润湿、防蒸发以及沉积效果测试,结果如图 7 所示。

由图 7 可见,添加 TAB78 后,与空白药液对照相比,25%噻嗪酮悬浮剂、4%阿维菌素·啉虫脲微

乳剂、20%啉虫脲可湿性粉剂、14%甲维·茚虫威悬浮剂+32.5%苯甲·嘧菌酯悬浮剂复配农药的药液接触角分别下降了 77.5%、59.1%、42.7%、59.2%和 67.7%,平均下降 61.2%;蒸发时间分别延长 51.4%、39.8%、94.6%、62.3%和 22.3%,平均延长 54.1%;沉积覆盖率分别提高 4.3 倍、1.0 倍、2.1 倍、1.2 倍和 0.9 倍,平均提高 1.9 倍;沉积密度分别提高 1.7 倍、0.7 倍、0.4 倍、0.4 倍和 0.9 倍,平均提高 0.8 倍。表明 TAB78 的添加均可显著提高稻田常用农药药液的润湿、防蒸发及沉积效果。

2.5 添加 TAB78 的稻田常用农药药液在水稻植株上的沉积覆盖率和沉积密度

选取 14%甲维·茚虫威悬浮剂+32.5%苯甲·嘧菌酯悬浮剂复配农药为研究对象,研究农药药液中分别加入 TAB78 和市售飞防助剂的田间喷雾效果。图 8 为使用安飞易 M6-AG 型植保无人机在稻田喷施时,水稻株上(100 cm)、中(70 cm)和下(40 cm)3 个部位处药液雾滴的覆盖率和沉积密度。

由图 8 可见,添加 2.2% (质量分数) TAB78 飞防助剂的药液在水稻植株低、中、高 3 个部位的覆盖率分别为 4.7%、7.1%和 13.3%,分别比空白药液对照提高 3.1 倍、2.1 倍和 2.4 倍,比市售飞防助剂提高 51.9%、56.1%和 77.0%;沉积密度分别为 1 cm² 325.9 个、351.4 个和 407.5 个,分别比空白药液对照提高 1.7 倍、1.1 倍和 0.7 倍,比市售飞防助剂提高 12.1%、11.3%和 8.4%。不同植株高度药液覆盖率和沉积密度比较结果表明,水稻植株上部农药药液的沉积覆盖率及密度高于下部,主要原因是水稻叶片的遮挡导致农药雾滴难以沉积到位置较低的叶片上。

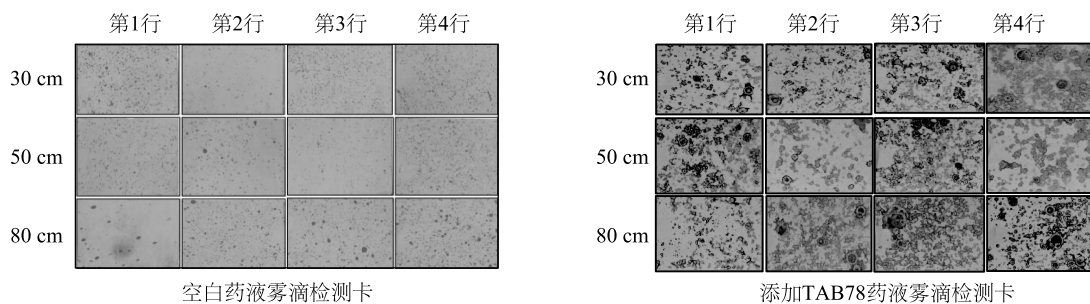
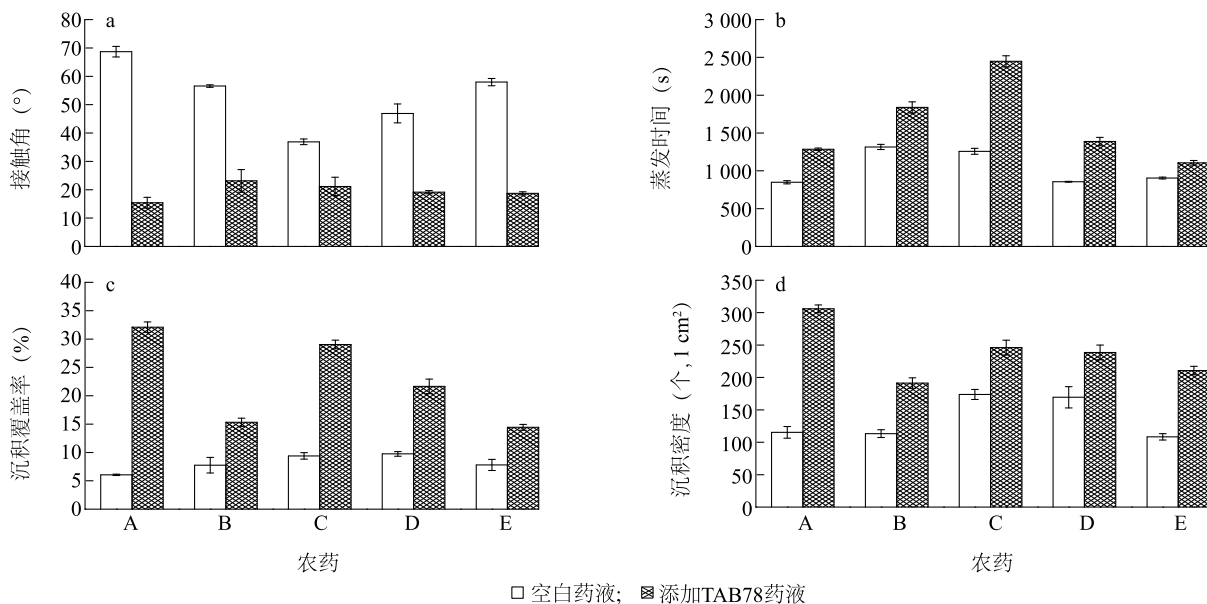


图 6 空白药液与添加 TAB78 药液的雾滴检测卡对比图

Fig.6 Comparison of the test cards with droplets of blank pesticide liquid and liquid with TAB78



A: 70%吡蚜酮可湿性粉剂; B: 25%噻嗪酮悬浮剂; C: 4%阿维菌素·啉虫脲微乳剂; D: 20%啉虫脲可湿性粉剂; E: 14%甲维·茚虫威悬浮剂+32.5%苯甲·啉菌酯悬浮剂。

图 7 飞防助剂 TAB78 对水稻 5 种常用农药药液的润湿性 (a)、防蒸发性 (b)、沉积覆盖率 (c) 和沉积密度 (d) 的影响

Fig.7 Effects of TAB78 on wettability (a), preventing evaporability (b), deposition coverage (c) and density (d) of five common pesticides for rice

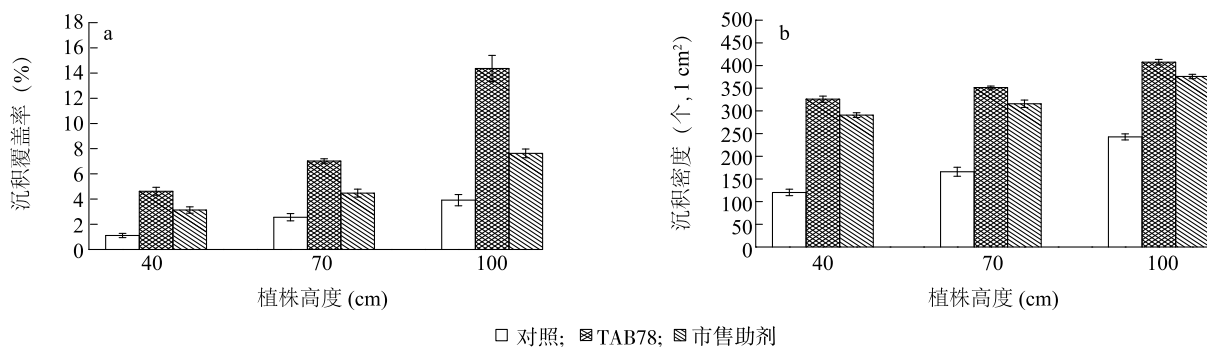


图 8 添加飞防助剂 TAB78 的农药药液在水稻植株上的沉积覆盖率 (a) 和沉积密度 (b)

Fig.8 Deposition coverage (a) and density (b) of pesticide liquid with TAB78 addition

3 讨论

本研究采用室内与田间试验相结合的方法,通

过测定农药液滴接触角、蒸发时间、沉积覆盖率及沉积密度,研究 5 种表面活性剂及其添加量对吡蚜酮农药液润湿性、防蒸发性和沉积效果影响,结果表明,

按 2.0% (质量分数) 添加阴离子型表面活性剂 AS-1 的药液沉积覆盖率和沉积密度最高, 分别为 22.5% 和 $1\text{ cm}^2/272.5$ 个。室内试验结果表明, 按 2.2% (质量分数) 添加量, 在水稻常用农药 70% 吡蚜酮可湿性粉剂、25% 噻嗪酮悬浮剂、4% 阿维菌素·啉虫脒微乳剂、20% 啉虫脒可湿性粉剂、14% 甲维·茚虫威悬浮剂+32.5% 苯甲·嘧菌酯悬浮剂中加入 TAB78 后, 药液接触角显著降低, 蒸发时间、沉积覆盖率和沉积密度明显提高。田间飞防喷雾试验结果表明, 添加 TAB78 飞防助剂的药液在水稻植株上的沉积覆盖率和沉积密度均优于市售飞防助剂。

飞防助剂的种类及其添加量是影响喷雾药液润湿性、防蒸发性和沉积效果的重要因素, 选用合适的飞防助剂对于提高喷雾药液的抗飘移性和作物表面的沉积量具有重要作用。已有研究表明, 使用无人机进行喷雾作业时, 药液雾滴粒径较小, 在有风和高温环境条件下容易发生飘移和蒸发, 导致农药药液损失, 造成环境污染。向农药喷雾药液中添加飞防助剂后, 助剂中表面活性剂分子在气-液界面定向排列, 形成界面膜, 使农药液滴的表面张力降低, 液滴与作物表面的接触角减小, 润湿性提高^[18-19]。周召路等^[20]的研究结果表明, 表面活性剂可与农药溶液相互作用形成一定的自组装结构, 并将水分子束缚在结构内, 从而减缓雾滴蒸发。在喷雾雾滴沉积研究方面, Lan 等^[21]通过田间试验发现, 助剂的添加能够改变喷雾雾滴的性能, 例如雾滴大小、沉积性能等, 进而提高其覆盖率与沉积密度; 何玲等^[22]提出喷雾助剂的使用会增加雾滴在水稻冠层的沉积分布。本研究结果表明, 水稻生长期进行无人机喷雾作业时, 在农药药液中添加复配飞防助剂 TAB78, 能够有效提高喷雾药液的润湿性、防蒸发性和沉积效果, 增加药液的有效持留, 减少蒸发和漂移损失, 从而达到提高飞防药剂沉积效果, 确保飞防药效的目的。有关飞防助剂 TAB78 优化农药液滴润湿性、抗蒸发性和沉积性能的科学机理还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] CELEN I H. The effect of spray mix adjuvants on spray drift[J]. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2010, 16(1): 105-110.
- [3] 曾爱军, 王昌陵, 宋坚利, 等. 风洞环境下喷头及助剂对植保无人机喷雾飘移性的影响[J]. 农药学学报, 2020, 22(2): 315-

- 323.
- [4] 高兴祥, 李美, 李健, 等. 不同喷雾因子对植保无人机防治除小麦田杂草效果的影响[J]. 农药学学报, 2020, 22(2): 340-346.
- [5] 刘迎, 潘波, 姜蕾, 等. 添加飞防助剂对无人机防治水稻病害的影响[J]. 农药, 2018, 57(4): 299-301.
- [6] 高赛超, 周晓欣, 秦维彩, 等. 利用风洞评价助剂对杀虫剂航空喷雾雾滴飘移的影响[J]. 应用昆虫学报, 2018, 55(4): 654-658.
- [7] 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沉积结构的影响[J]. 农药学学报, 2020, 22(2): 1-6.
- [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] 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.
- [10] FOWKES F M. Additivity of intermolecular forces at interfaces. Determination of the contribution to surface and interfacial tensions of dispersion forces in various liquids[J]. The Journal of Physical Chemistry, 1963, 67(12): 2538-2541.
- [11] 王穗, 彭尔瑞, 吴国星, 等. 植物叶面农药雾滴蒸发时间研究在我国的应用[J]. 广东农业科学, 2009(11): 104-107.
- [12] 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.
- [13] 包瑞, 茹煜, 朱传银, 等. 固定翼飞机喷雾作业雾滴飘移规律研究[J]. 林业工程学报, 2018, 3(2): 129-135.
- [14] KHARIM M N A, WAYAYOK A, SHARIFF A R M, et al. Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 167: 105045.
- [15] 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.
- [16] 陈盛德, 兰玉彬, 周志艳, 等. 植保无人机航空喷施飞行质量的试验与评价[J]. 华南农业大学学报, 2019, 40(3): 95-102.
- [17] 宋玉莹, 曹冲, 徐博, 等. 农药雾滴在植物叶面的弹跳行为及调控技术研究进展[J]. 农药学学报, 2019, 21(5/6): 895-907.
- [18] 庄占兴, 路福绥, 刘月, 等. 表面活性剂在农药中的应用研究进展[J]. 农药, 2008, 47(7): 469-475.
- [19] 庞红宇. 几种农药助剂溶液在靶标上的润湿性研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2006.
- [20] 周召路. 农药助剂调控雾滴在典型作物上的蒸发、沉积及弹跳行为研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- [21] LAN Y F, HOFMAN W C, FRITZ B K, et al. Spray drift mitigation with spray mix adjuvants[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2008, 24(1): 5-10.
- [22] 何玲, 王国宾, 胡韬, 等. 喷雾助剂及施液量对植保无人机喷雾雾滴在水稻冠层沉积分布的影响[J]. 植物保护学报, 2017, 44(6): 1046-1052.

(责任编辑: 陈海霞)