

李飞, 韩冲冲, 李保同*. 阿维菌素无人机喷施的沉积特征及防效研究[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(5): 914-923.



阿维菌素无人机喷施的沉积特征及防效研究

李 飞, 韩冲冲, 李保同*

(江西农业大学 农学院, 江西 南昌 330045)

摘要: 分析不同剂型农药使用植保无人机和电动喷雾器喷雾后, 农药雾滴在水稻冠层的沉积分布特征, 阐明不同剂型的沉积结构及空间分布对药剂防治效果的影响。以农药雾滴采集器械和水敏纸采集农药雾滴, 通过DepositScan软件分析雾滴覆盖率和雾滴密度, 并利用高效液相色谱测定农药沉积量。在施药量(a.i.) 45 g/hm²条件下, 植保无人机喷雾的雾滴体积中径和雾滴密度低于电动喷雾器。无人机喷雾在水稻冠层的沉积分布为由上到下递减, 电动喷雾器在水稻冠层的沉积由上到下分布均匀。5种剂型应用于植保无人机喷雾的雾滴粒径由小到大依次为干悬浮剂、悬浮剂、水乳剂、乳油和水分散粒剂, 沉积密度从大到小依次为干悬浮剂、水分散粒剂、水乳剂、乳油和悬浮剂, 沉积量由高到低依次为干悬浮剂、乳油、水乳剂、水分散粒剂和悬浮剂。在施药量(a.i.) 45 g/hm²条件下, 植保无人机干悬浮剂防效最高, 电动喷雾器各剂型防效无显著性差异。植保无人机和电动喷雾器稻田喷雾, 5种剂型中干悬浮剂在无人机喷雾中效果最好, 同一施药量下干悬浮剂防效最高, 与其他剂型差异显著。与植保无人机相比, 5种剂型在电动喷雾器上的喷雾效果和防效无显著性差异。

关键词: 雾滴密度; 雾滴覆盖率; 水稻; 防效; 植保无人机

中图分类号: S481+.9; S252+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2286(2019)05-0914-10

A Study of the Deposition Characteristics and Efficacy of Abamectin by UAV Spraying

LI Fei, HAN Chong-chong, LI Bao-tong*

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: This paper analyzes the distribution characteristics of different formulations of pesticides sprayed by plant protection drones and electric sprayers and the deposition pattern of the pesticide droplets in rice canopy, and elucidates the effects of the deposition structure and spatial distribution of different formulations on the efficacy of the pesticides. Pesticide droplets were collected by pesticide droplet collection equipment and water sensitive paper. The droplet coverage and droplet density were analyzed by DepositScan software, and the pesticide deposition amount was determined by high performance liquid chromatography. Under the condition of application rate of 45 g a.i./hm², the droplet diameter and droplet density of the plant protection drone spray were lower than that of the electric sprayer. The sediment distribution of drone spray in rice canopy

收稿日期: 2019-03-21 修回日期: 2019-05-05

基金项目: “十三·五”国家重点研发计划项目(2017YFD0301604)

Project supported by “Thirteenth Five-Year Plan” National Key R & D Program(2017YFD0301604)

作者简介: 李飞(1992—), 男, 硕士生, 主要从事农药学研究, orcid.org/0000-0001-6361-5350, 772609798@qq.com; *通信作者: 李保同, 教授, 博士生导师, orcid.org/0000-0002-9435-4509, libt66@163.com。

decreased from top to bottom, and the deposition of electric spray in rice canopy was evenly distributed from top to bottom. The droplet diameters of the five formulation forms applied to the plant protection drone spray were in the order of $DF < SC < EW < EC < WG$, the deposition densities were in the order of $DF > WG > EW > EC > SC$, the deposition amounts from high to low were $DF > EC > EW > WG > SC$. Under the condition of application rate of 45 g a.i./hm², the plant-protected drone DF had the highest efficacy, and there was no significant difference in the efficacy of the formulations of the electric spray. In the rice field spray by the plant-protected drone and electric sprayer DF had the best efficacy in the five suspensions in the drone spray. With the same spray amount the efficacy of DF was the highest, which was significantly different from other formulations. Compared with the plant protection drone, there was no significant difference in the spray effect and efficacy of the five formulations sprayed by the electric sprayer.

Keywords: droplet density; droplet coverage; rice; efficacy; UAV

水稻病虫害的种类多,严重危害水稻生产,农药雾滴准确进入防治靶标区域并达到足够的沉积量,对农药达到最佳使用效果十分重要^[1-2]。不同喷雾器械和使用的药剂剂型都直接或间接地影响农药在靶标上的沉积。王军锋等^[3]研究发现助剂通过改变液滴的表面张力影响无人机喷雾沉积分布均匀性、雾滴抗漂移性和抗蒸发性。多项研究^[4]采用体积中径(VMD)、雾滴沉积密度和沉积量等参数测定了无人机在不同飞行高度的雾滴沉积分布,发现飞行高度为2 m时,各冠层的雾滴沉积密度与防治效果均为最佳,添加助剂可进一步提高效果,当冠层中的雾滴密度达到20个/cm²,对粘虫防治效果高于80%。电动喷雾器和植保无人机是现代农业生产使用的主要喷雾器械^[13]。目前,飞防作业只能在生产上应用效果较理想的药剂中进行选择,而这些药剂制剂在使用时,可能引发喷雾设备堵塞、故障,或喷雾雾滴发生漂移,降低实际作业效率。本次选用了阿维菌素的5种常用剂型进行飞机喷雾试验,通过对比飞机喷雾雾滴沉积分布特征和对水稻二化螟的防效,筛选适用飞防的剂型,为水稻二化螟防治提供技术支撑。

1 材料与方法

试验于2018年在江西省上高县泗溪镇试验基地完成。

1.1 试验材料

1.8%阿维菌素乳油(河北威远生化农药有限公司);3%阿维菌素水乳剂(上海沪联生物药业股份有限公司);20%阿维菌素悬浮剂(江西纳农新田科技有限公司);40%阿维菌素干悬浮剂(江西纳农新田科技有限公司);6%阿维菌素水分散粒剂(陕西美邦农药有限公司);诱惑红(指示剂)、水敏纸。

1.2 试验仪器

3WWDZ-10B六旋翼遥控植保机(江西新和莱特科技协同创新有限公司)。3WBD-16C背负式电动喷雾器(台州市凯锋塑钢有限公司)。风速仪(北京中西远大科技有限公司)、温湿度仪(深圳市华图电气有限公司)、HP-G4050型扫描仪(美国惠普公司)、AgiLent1260高效液相色谱仪(DAD检测器,美国AgiLent科技有限公司)、农药雾滴采集架(自制)。

1.3 小区设置及试验时间

试验设置15个小区,每个小区4个重复,无人机喷雾小区面积200 m²,每667 m²用水量2 L,诱惑红用量为3 g/L;人工喷雾小区面积120 m²,每667 m²用水量50 L,诱惑红用量为1 g/L。小区四周设有保护行。

1.4 试验方法

1.4.1 喷雾设置 无人机飞行高度2 m,飞行速度5 m/s,无人机喷头流量1 L/min,无人机喷幅3.5 m(4个喷头)。电动喷雾器行走速度0.5 m/s。

1.4.2 雾滴和农药沉积量的收集和测定 每个小区布置4个采样架于水稻之间,每个采样架在距离地面

60 cm的水稻冠层内从上到下布置3层水敏纸,分别模拟水稻剑叶到倒三叶的雾滴分布情况(图1)。



图1 采样点分布及收集点位

Fig.1 Sampling point distribution and collection site

以诱惑红^[14]为示踪剂,喷雾后2 h,收集雾滴采集卡于密封袋内保存(图2)。雾滴采集卡扫描数据输入电脑,用DepositScan软件进行雾滴覆盖率和雾滴密度分析^[15]。

喷雾后2 h,待雾滴干涸,采集每小区2 kg水稻叶片于10号自封袋。在实验室,每份样品使用Quechers快速样品提取净化法处理样品:样品先粉碎,取5 g放进50 mL离心管,加入4 g无水硫酸镁、15 mL乙腈3 000 r/min涡旋2 min,5 000 r/min离心10 min,取2 mL上清液到20 mL离心管,加入100 mg PSA、100 mg C₁₈、20 mg GCB吸附粉剂,3 000 r/min涡旋

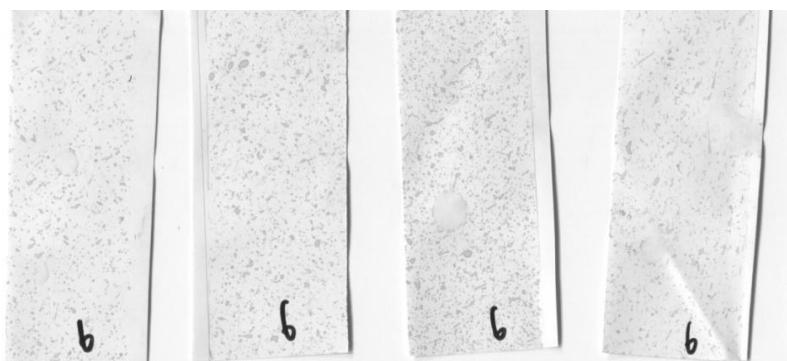


图2 雾滴采集卡

Fig.2 Fog capture card

2 min,5 000 r/min离心10 min,取上清液过0.22 μm有机滤膜待进样检测。色谱条件:V(乙腈):V(水)=80:20,进样量20 μL,检测波长245 nm。

1.4.3 阿维菌素防治水稻二化螟的田间药效试验 参照《田间药效试验准则(一)杀虫剂防治水稻鳞翅目钻蛀性害虫》,在早稻和晚稻田二化螟卵孵化盛期进行阿维菌素防治水稻二化螟试验。阿维菌素用量(a.i.)45 g/hm²,每处理重复4次,设空白对照。药后10 d和20 d分别调查枯心率,计算保苗效果。

$$\text{枯心率} = \frac{\text{调查枯心数}}{\text{调查总株数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{保苗效果} = \frac{\text{对照区枯心率} - \text{处理区枯心率}}{\text{对照区枯心率}} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{杀虫效果} = \frac{\text{对照区活虫数} - \text{处理区活虫数}}{\text{对照区活虫数}} \times 100\% \quad (3)$$

1.5 数据统计

使用EXCEL进行数据分析。采用SPSS数据处理软件进行显著性分析。

2 结果

2.1 无人机喷施不同剂型药剂雾滴在水稻群体内的沉积分布特征

2.1.1 雾滴粒径 如表1所示,无人机DV10、DV50、DV90分别为201,362,560 μm,电动喷雾器DV10、

DV50、DV90 分别为 276,540,970 μm,无人机喷雾雾滴粒径明显优于电动喷雾器,雾化效果更好。

表 1 2 种喷雾器械雾滴粒径对比

Tab.1 Comparison of droplet size of two spray instruments

施药器具 Spray instruments	DV10/μm	DV50/μm	DV90/μm
多旋翼无人机 UAV spray	201	362	560
电动喷雾器 Artificial spray	276	540	970

由表 2 可知,在无人机喷雾作业下,乳油在水稻冠层的雾滴粒径为 497,489,456 μm,水乳剂在水稻冠层的雾滴粒径为 517,465,425 μm,悬浮剂在水稻冠层的雾滴粒径为 397,354,414 μm,干悬浮剂在水稻冠层的雾滴粒径为 375,366,325 μm,水分散粒剂在水稻冠层的雾滴粒径为 708,555,380 μm。测定结果表明,阿维菌素 5 种剂型的雾滴粒径由小到大依次为干悬浮剂、悬浮剂、水乳剂、乳油和水分散粒剂。干悬浮剂颗粒更小,雾化效果更好,优于其他剂型。

表 2 不同剂型制剂雾滴在水稻冠层的体积中径(DV5)

Tab.2 Volumetric diameter of droplets in rice canopy of different formulations forms(DV5)

剂型 Formulation	水稻冠层雾滴体积中径(DV5)/μm Droplet volume medium diameter in rice canopy (DV5)		
	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer
A	497	489	456
B	517	465	425
C	397	354	414
D	375	366	325
E	708	555	380

A 为 1.8% 阿维菌素乳油,B 为 3% 阿维菌素水乳剂,C 为 20% 阿维菌素悬浮剂,D 为 40% 阿维菌素干悬浮剂,E 为 6% 阿维菌素水分散粒剂,数据为 4 次重复的平均值

A is 1.8% avermectin EC,B is 3% avermectin EW,C is 20% avermectin SC,D is 40% avermectin DF,E is 6% Abamectin WG,the data is the average of 4 replicates

2.1.2 雾滴密度 无人机喷施不同剂型阿维菌素,雾滴在水稻冠层沉积密度分布情况见表 3。六旋翼无人机喷雾,当飞行高度为 2 m,飞行速度为 5 m/s 时,雾滴在水稻冠层的沉积分布规律一致,由大到小均依次为上层、中层和下层。乳油的雾滴密度为 84.3,45.8,17.6 个/cm²,水乳剂的雾滴密度为 85.4,44.6,16.5 个/cm²,悬浮剂的雾滴密度为 46.7,30.2,7.5 个/cm²,干悬浮剂的雾滴密度为 128.9,70.5,25.8 个/cm²,水分散粒剂的雾滴密度为 106.6,65.3,22.5 个/cm²。5 种剂型的沉积密度从大到小依次为干悬浮剂、水分散粒剂、(水乳剂~乳油)和悬浮剂。干悬浮剂为纳米级颗粒,雾化效果好,在飞机喷雾中明显优于其他剂型。

表 3 不同剂型制剂雾滴密度在水稻冠层的沉积密度分布

Tab.3 Distribution of droplet density in rice canopy of different formulations forms

剂型 Formulation	水稻冠层雾滴密度/(个·cm ⁻²) Drop density in rice canopy		
	上层 Upper layer	中层 Middle layer	下层 Lower layer
A	84.3	45.8	17.6
B	85.4	44.6	16.5
C	46.7	30.2	7.5
D	128.9	70.5	25.8
E	106.6	65.3	22.5

A 为 1.8% 阿维菌素乳油,B 为 3% 阿维菌素水乳剂,C 为 20% 阿维菌素悬浮剂,D 为 40% 阿维菌素干悬浮剂,E 为 6% 阿维菌素水分散粒剂,数据为 4 次重复的平均值

A is 1.8% avermectin EC,B is 3% avermectin EW,C is 20% avermectin SC,D is 40% avermectin DF,E is 6% Abamectin WG,the data is the average of 4 replicates

2.1.3 农药沉积量 无人机施药药后 2 h 采集水稻植株,用液相色谱法测定 5 种剂型阿维菌素在水稻上的沉积量,结果如表 4 所示,乳油剂型的沉积量为 22.29 mg/kg,水乳剂为 21.68 mg/kg,悬浮剂为 10.22 mg/kg,干悬浮低中高分别为 25.89,33.37,37.39 mg/kg,水分散粒剂为 17.52 mg/kg。沉积量由高到低依次为干悬浮剂、(乳油~水乳剂)、水分散粒剂和悬浮剂。

表 4 5 种剂型沉积量表(无人机施药)
Tab.4 Deposition of five formulations

剂型 Formulation	用药量/(g·hm ⁻²) Effective formulations	沉积量/(mg·kg ⁻¹) Deposit amount
1.8% 阿维菌素乳油(EC) 1.8% avermectin EC	45	22.29
3% 阿维菌素水乳剂(EW) 3% avermectin water emulsion	45	21.68
20% 阿维菌素悬浮剂(SC) 20% avermectin suspension	45	10.22
40% 阿维菌素干悬浮剂(DF) 40% avermectin dry suspension	30	25.89
40% 阿维菌素干悬浮剂(DF) 40% avermectin dry suspension	45	33.37
40% 阿维菌素干悬浮剂(DF) 40% avermectin dry suspension	60	37.39
6% 阿维菌素水分散粒剂(WG) 6% avermectin water dispersible granules	45	17.52

电动喷雾器施药药后 2 h 采集水稻植株,用液相色谱法测定 5 种剂型阿维菌素在水稻上的沉积量,结果如表 5 所示,乳油剂型的沉积量为 29.30 mg/kg,水乳剂为 31.47 mg/kg,悬浮剂为 23.28 mg/kg,干悬浮低中高分别为 16.42,17.55,28.87 mg/kg,水分散粒剂为 19.31 mg/kg。沉积量由高到低依次为(乳油~水乳剂)、悬浮剂、水分散粒剂和干悬浮剂。

表 5 5 种剂型沉积量表(电动喷雾器施药)
Tab.5 Deposition of five formulations

剂型 Formulation	用药量/(g·hm ⁻²) Effective formulations	沉积量/(mg·kg ⁻¹) Deposit amount
1.8% 阿维菌素乳油(EC) 1.8% avermectin EC	45	29.30
3% 阿维菌素水乳剂(EW) 3% avermectin water emulsion	45	31.47
20% 阿维菌素悬浮剂(SC) 20% avermectin suspension	45	23.28
40% 阿维菌素干悬浮剂(DF) 40% avermectin dry suspension	30	16.42
40% 阿维菌素干悬浮剂(DF) 40% avermectin dry suspension	45	17.55
40% 阿维菌素干悬浮剂(DF) 40% avermectin dry suspension	60	28.87
6% 阿维菌素水分散粒剂(WG) 6% avermectin water dispersible granules	45	19.31

2.2 防治效果

2.2.1 不同剂型阿维菌素无人机喷雾和电动喷雾器喷雾对水稻早稻二化螟的防效 无人机喷施阿维菌素对水稻二化螟的防效随着使用剂量的增加而上升(表6)。药后 10 d,在同一用药量下,EC(A)、EW(B)、DF(D)、WG(E)4种剂型保苗效果不存在显著性差异,保苗效果均在 60% 以上;SC(C)药效最差,保苗效果仅为 50.55%,与 EC(A)、EW(B)、DF(D)、WG(E)4种剂型的保苗效果差异显著,与 EC(A)、EW(B)、DF(D)3种剂型的保苗效果差异极显著;药后 20 d,EC(A)、EW(B)、SC(C)的保苗效果和杀虫效果存在显著差异,EC 保苗效果最高达到 76.87%,EW 保苗效果为 64%,SC 保苗效果仅为 39.76%;EC 与 DF(D)、WG(E)的保苗效果不存在显著性差异,保苗效果均在 70% 以上;EW(B)与 WG(E)的保苗效果不存在显著性差异,EW(B)与 EC(A)、SC(C)、DF(D)的保苗效果存在显著性差异;SC(C)药效最差,与 EC(A)、EW(B)、DF(D)、WG(E)4种剂型的保苗效果差异极显著;EC(A)和 DF(D)的杀虫效果不存在显著性差异;EW(B)、DF(D)和 WG(E)的杀虫效果不存在显著性差异;EC(A)和 DF(D)的杀虫效果>EW(B)、SC(C)和 WG(E),且差异显著;SC(C)药效最差,与其他剂型的杀虫效果差异极显著。不同剂型阿维菌素对二化螟的防效有差异,在同一施药剂量下,药后 20 d 不同剂型阿维菌素对水稻的保苗效果由好到差依次为 DF、EC、WG、EW 和 SC,对二化螟的杀虫效果由好到差依次为(DF=EC)、EW、WG 和 SC。

常规电动喷雾器喷施阿维菌素对水稻二化螟的防效也随着使用剂量的增加而上升(表7)。在同一用药量下,EC(A)、EW(B)、SC(C)、DF(D)、WG(E)5种剂型于药后 10~20 d 的保苗效果彼此之间不存在显著性差异,药后 10 d 保苗效果均在 80% 以上,药后 20 d 均在 70% 以上;药后 20 d,EC(A)、SC(C)、DF(D)3种剂型的杀虫效果彼此之间不存在显著性差异,杀虫效果均在 80% 以上;EW(B)和 WG(E)的杀虫效果彼此之间不存在显著性差异,杀虫效果均在 70%~80%;EC(A)、SC(C)、DF(D)3种剂型的杀虫效果>EW(B)和 WG(E);不同剂型阿维菌素对二化螟的防效有差异,但差异不显著。在同一施药剂量下,药后 20 d 不同剂型阿维菌素对水稻的保苗效果由好到差依次为(DF≈EC≈SC)、WG 和 EW,对二化螟的杀虫效果由好到差依次为(SC≈EC≈DF)、WG 和 EW。

表6 不同剂型阿维菌素对二化螟的田间防效(无人机施药)

Tab.6 Field efficacs of different formulations forms of avermectin on *Chilo suppressalis*(plant protection UAV)

处理 Treatment	有效成分用量/ (g·hm ⁻²) Effective formulations	药后 10 d			药后 20 d					
		枯心率/%	保苗效果/%		枯心率/%	保苗效果/%	残存虫数/头	杀虫效果/%		
		Rate of dead plant	Seedlings efficacy		Rate of dead plant	Seedlings efficacy	Number of live ensects	Insecticidal efficacy		
A	45	0.32	68.68	b A	0.28	76.87	b ABC	2.67	79.49	ab AB
B	45	0.31	69.78	ab A	0.42	64.82	c C	4	69.23	c B
C	45	0.50	50.55	c B	0.72	39.76	d D	7.33	43.59	d C
D	30	0.28	71.98	ab A	0.25	79.28	ab ABC	3.67	71.79	bc B
D	45	0.25	75.27	ab A	0.24	80.24	ab AB	2.67	79.49	ab AB
D	60	0.19	80.77	a A	0.14	87.95	a A	1.67	87.18	a A
E	45	0.36	64.29	b AB	0.36	70.36	bc BC	4.33	66.67	c B
CK	0	1.01			1.20			13		

A 为 1.8% 阿维菌素 EC,B 为 3% 阿维菌素 EW,C 为 20% 阿维菌素 SC,D 为 40% 阿维菌素 DF,E 为 6% 阿维菌素 WG,数据为 4 次重复的平均值,同列数据后不同大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平的差异显著性

A is 1.8% avermectin EC,B is 3% avermectin EW,C is 20% avermectin SC,D is 40% avermectin DF,and E is 6% avermectin.WG,the data is the average of 4 replicates,and the different upper and lower letters after the same column data indicate the significance of the difference at the 0.01 and 0.05 levels,respectively

表 7 不同剂型阿维菌素对二化螟的田间防效(电动喷雾器施药)
Tab.7 Field efficacy of different formulations forms of avermectin
on Chilo suppressalis (artificial application)

处理 Treatment	有效成分用量/ (g·hm ⁻²) Effective formulations	药后 10 d			药后 20 d					
		枯心率/%	保苗效果/%		枯心率/%	保苗效果/%		残存虫数/头	杀虫效果/%	
		Rate of dead plant	Seedlings efficacy		Rate of dead plant	Seedlings efficacy		Number of live ensects	Insecticidal efficacy	
A	45	0.15	85.00	bc B	0.24	80.21	ab A	1.67	87.18	a A
B	45	0.14	85.87	bc B	0.31	74.18	b A	3.33	74.36	cd BC
C	45	0.10	90.19	ab AB	0.26	78.66	ab A	1.33	89.74	a A
D	30	0.17	82.98	c B	0.33	72.98	b A	3.67	71.79	d C
D	45	0.12	87.88	bc AB	0.23	80.55	ab A	2	84.62	ab AB
D	60	0.06	94.52	a A	0.17	85.54	a A	1.33	89.74	a A
E	45	0.15	85.58	bc B	0.30	75.39	ab A	2.67	79.79	bc ABC
CK	0	1.01			1.20			13		

A 为 1.8% 阿维菌素 EC,B 为 3% 阿维菌素 EW,C 为 20% 阿维菌素 SC,D 为 40% 阿维菌素 DF,E 为 6% 阿维菌素 WG,数据为 4 次重复的平均值,同列数据后不同大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平的差异显著性

A is 1.8% avermectin EC,B is 3% avermectin EW,C is 20% avermectin SC,D is 40% avermectin DF,and E is 6% avermectin.WG,the data is the average of 4 replicates,and the different upper and lower letters after the same column data indicate the significance of the difference at the 0.01 and 0.05 levels,respectively

2.2.2 不同剂型阿维菌素无人机喷雾和电动喷雾器喷雾对水稻晚稻二化螟的防效 无人机喷施阿维菌素对水稻二化螟的防效随着使用剂量的增加而上升(表 8)。在同一用药剂量下,EC(A)与 EW(B)、DF(D)、WG(E)3 种剂型于药后 10 d 的保苗效果不存在显著性差异,保苗效果均大于 50%,与 SC(C)差异显著;EW(B)与 SC(C)于药后 10 d 的保苗效果差异显著;SC(C)药后 10 d 保苗效果仅为 33.72%与 EC(A)、EW(B)、DF(D)、WG(E)于药后 10 d 的保苗效果差异显著,与 EC(A)、DF(D)、WG(E)于药后 10 d 的保苗效果差异极显著;EC(A)与 DF(D)、WG(E)于药后 20 d 的保苗效果差异不显著,保苗效果均在 60% 以上,与 EW(B)、SC(C)差异显著;EW(B)与 SC(C)于药后 20 d 的保苗效果差异不显著,保苗效果均低于 30%,与其他剂型差异极显著;SC(C)与 EC(A)、SC(C)、DF(D)、WG(E)于药后 20 d 的保苗效果差异极显著,保苗效果仅为 16.12%;EC(A)与 EW(B)于药后 20 d 的杀虫效果差异不显著,杀虫效果均为 50%~60%,与其他剂型差异极显著;EW(B)与 SC(C)、DF(D)、WG(E)于药后 20 d 的杀虫效果差异极显著;SC(C)药后 20 d 的杀虫效果仅为 38.24%与 EW(B)、EC(A)、DF(D)、WG(E)于药后 20 d 的杀虫效果差异显著,与 EW(B)、EC(A)、DF(D)于药后 20 d 的杀虫效果差异极显著;DF(D)杀虫效果最好,可以达到 80% 以上,与其他剂型于药后 20 d 的杀虫效果差异极显著;WG(E)与 EW(B)、EC(A)、DF(D)于药后 20 d 的杀虫效果差异极显著,与 SC(C)差异显著;不同剂型阿维菌素对二化螟的防效有差异,在同一施药剂量下,药后 20 d 不同剂型阿维菌素对水稻的保苗效果由好到差依次为 DF、WG、EC、EW 和 SC,对二化螟的杀虫效果由好到差依次为 DF、EC、EW、WG 和 SC。

常规电动喷雾器喷施阿维菌素对水稻二化螟的防效随着使用剂量的增加而上升(表 9)。在同一用药量下,EC(A)、EW(B)、SC(C)、DF(D)、WG(E)5 种剂型于药后 10 d 的保苗效果彼此之间不存在显著性差异,保苗效果均在 79% 以上;DF(D)与 EW(B)于药后 20 d 的保苗效果存在显著性差异,与其他剂型差异不显著;EC(A)药后 20 d 杀虫效果达到 70% 以上,与 EW(B)、SC(C)、WG(E)于药后 20 d 的杀虫效果存在显著性差异,与 DF(D)不存在显著性差异;EW(B)药后 20 d 杀虫效果 64.71%,显著低于 EC(A)和 DF(D),显著高于 SC(C)和 WG(E);SC(C)与 EW(B)、EC(A)、DF(D)于药后 20 d 的杀虫效果存在显著性差异,杀虫效果仅为 47.06%;DF(D)杀虫效果高达 76%,与 EW(B)、SC(C)、WG(E)于药后 20 d 的杀虫效果

存在极显著性差异;WG(E)杀虫效果为 57.35%,与 EC(A)、EW(B)、DF(D)于药后 20 d 的杀虫效果存在显著性差异;不同剂型阿维菌素对二化螟的防效有差异,但差异不显著。在同一施药剂量下,药后 20 d 不同剂型阿维菌素对水稻的保苗效果由好到差依次为 DF、SC、EC、WG 和 EW,对二化螟的杀虫效果由好到差依次为(EC≈DF)、EW、WG 和 SC。

表 8 不同剂型阿维菌素对二化螟的田间防效(无人机施药)
Tab.8 Field efficacs of different formulations forms of avermectin
on Chilo suppressalis (plant protection UAV)

处理 Treatment	有效成分用量/ (g·hm ⁻²) Effective formulations	药后 10 d			药后 20 d				
		枯心率/%	保苗效果/%		枯心率/%	保苗效果/%	残存虫数/头	杀虫效果/%	
		Rate of dead plant	Seedlings efficacy		Rate of dead plant	Seedlings efficacy	Number of live ensects	Insecticidal efficacy	
A	45	0.69	68.21	ab A	0.96	63.59	a AB	29	57.35 b BC
B	45	1.00	54.05	b AB	1.80	31.43	b BC	33	51.47 bc BC
C	45	1.44	33.72	c B	2.20	16.12	b C	42	38.24 d D
D	30	0.73	66.67	ab A	1.05	60.14	a AB	25	63.24 b B
D	45	0.54	75.16	a A	0.56	78.53	a A	11	83.82 a A
D	60	0.43	80.18	a A	0.48	81.61	a A	10	85.29 a A
E	45	0.77	64.74	ab A	0.83	68.39	a AB	38	44.12 c CD
CK	0	2.18			2.63			68	

A 为 1.8% 阿维菌素乳油,B 为 3% 阿维菌素水乳剂,C 为 20% 阿维菌素悬浮剂,D 为 40% 阿维菌素干悬浮剂,E 为 6% 阿维菌素水分散粒剂,数据为 4 次重复的平均值,同列数据后不同大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平的差异显著性
A is 1.8% avermectin EC,B is 3% avermectin EW,C is 20% avermectin SC,D is 40% avermectin DF,and E is 6% avermectin.WG,the data is the average of 4 replicates,and the different upper and lower letters after the same column data indicate the significance of the difference at the 0.01 and 0.05 levels,respectively

表 9 不同剂型阿维菌素对二化螟的田间防效(电动喷雾器施药)
Tab.9 Field efficacs of different formulations forms of avermectin
on Chilo suppressalis (artificial application)

处理 Treatment	有效成分用量/ (g·hm ⁻²) Effective formulations	药后 10 d			药后 20 d				
		枯心率/%	保苗效果/%		枯心率/%	保苗效果/%	残存虫数/头	杀虫效果/%	
		Rate of dead plant	Seedlings efficacy		Rate of dead plant	Seedlings efficacy	Number of live ensects	Insecticidal efficacy	
A	45	0.28	87.13	a A	0.73	72.10	bc B	15	77.94 b BC
B	45	0.45	79.41	a A	0.85	67.75	c B	24	64.71 c CD
C	45	0.40	81.60	a A	0.66	74.73	bc B	36	47.06 d E
D	30	0.40	81.60	a A	0.79	70.02	bc B	32	52.94 d DE
D	45	0.37	83.14	a A	0.54	79.35	b AB	16	76.47 ab AB
D	60	0.22	90.09	a A	0.30	88.59	a A	7	89.71 a A
E	45	0.27	87.52	a A	0.76	71.11	bc B	29	57.35 d DE
CK	0	2.18			2.63			68	

A 为 1.8% 阿维菌素 EC,B 为 3% 阿维菌素 EW,C 为 20% 阿维菌素 SC,D 为 40% 阿维菌素 DF,E 为 6% 阿维菌素 WG,数据为 4 次重复的平均值,同列数据后不同大小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平的差异显著性
A is 1.8% avermectin EC,B is 3% avermectin EW,C is 20% avermectin SC,D is 40% avermectin DF,and E is 6% avermectin.WG,the data is the average of 4 replicates,and the different upper and lower letters after the same column data indicate the significance of the difference at the 0.01 and 0.05 levels,respectively

3 讨 论

目前,市场上用于水稻二化螟化学防治的药剂主要有氯虫苯甲酰胺、三唑磷、阿维菌素及其复配剂等农药产品。单一产品的大量使用带来了严重的抗药新问题,阿维菌素作为高效杀虫剂,仍是二化螟防治中的理想轮换药剂。阿维菌素毒性较高,悬浮剂(SC)、干悬浮剂(DF)和水分散粒剂(WG)相比传统的乳油和粉剂,具有生产和使用安全的优点,且干悬浮剂粒径小,适用于超低容量喷雾和航空植保等现代农业器械。

无人机喷雾雾滴粒径小,雾化效果更佳。在乳油(EC)、水乳剂(EW)、悬浮剂(SC)、干悬浮剂(DF)、水分散粒剂(WG)5种制剂中,DF雾滴粒径最小,在水稻冠层的沉积密度和沉积量最高,对水稻二化螟的防效最好,接近或等同常规喷雾的药效,是适宜无人机喷雾的理想剂型。5种剂型阿维菌素常规电动喷雾器喷施的防效差异不显著,农业生产过程中可根据价格、使用安全性等择优选择。本研究仅试验了阿维菌素5种剂型在水稻群体内的沉积分布与防效,有关颗粒剂、可湿性粉剂等其他剂型的沉积特征及防效有待进一步研究。

悬浮剂和水分散粒剂的沉积量较少可能与这2种剂型的颗粒较大,不易于无人机喷头的雾化有关。试验还发现乳油在无人机喷雾中存在轻微堵塞喷头的现象,可能与乳油存在的固体杂质有关。

无人机喷雾对比背负式人工喷雾具有多项优势,它能够超低空飞行(部分机型支持紧贴作物),药液相对漂移少,对环境污染低,灵活方便。跟常规地面植保机械相比,无人机作业效率极高,避免了田间作业对作物的踩踏,高速下旋气流带来的强穿透性都是其独特的优势。

参考文献:

- [1] 徐德进,顾中言,徐广春,等.喷雾器及施液量对水稻冠层农药雾滴沉积特性的影响[J].中国农业科学,2013,46(20):4284-4292.
Xu D J, Gu Z Y, Xu G C, et al. Influence of sprayer and application rate on pesticide deposit character on rice canopy [J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2013, 46(20): 4284-4292.
- [2] 杨帅.无人机低空喷雾雾滴在作物冠层的沉积分布规律及防治效果研究[D].北京:中国农业科学院,2014.
Yang S. Spray droplet deposition and distribution inside crop canopy and control efficacy applied by unmanned aerial vehicle [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [3] 王军锋,罗博韬,霍元平,等.助剂影响大载荷植保无人机喷洒沉积特性的实验研究[J/OL].排灌机械工程学报, 2018; 1-7 (2018-09-30). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180930.1556.020.html>.
Wang J F, Luo B T, Huo Y P, et al. Influence of adjuvant on large scale plant protection uav spray characteristics [N]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2018; 1-7 (2018-09-30) <http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1814.TH.20180930.1556.020.html>.
- [4] 荀栋,张兢,何可佳,等.TH80-1植保无人机施药对水稻主要病虫害的防治效果研究[J].湖南农业科学,2015(8):39-42.
Xun D, Zhang J, He K J, et al. Control efficacies of TH80-1 plant protection uav spraying method on main diseases and insect pests of rice [J]. Hunan Agricultural Sciences, 2015(8): 39-42.
- [5] 韩冲冲,李飞,李保同,等.无人机喷施雾滴在水稻群体内的沉积分布及防效研究[J].江西农业大学学报,2019,41(1):58-67.
Han C C, Li F, Li B T, et al. A study on deposition distribution of droplets by UAV spray in rice population and its efficacy [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2019, 41(1): 58-67.
- [6] 高圆圆,张玉涛,赵西城,等.小型无人机低空喷洒在玉米田的雾滴沉积分布及对玉米螟的防治效果初探[J].植物保护,2013,39(2):152-157.
Gao Y Y, Zhang Y T, Zhao Y C, et al. Primary studies on spray droplet distribution and control effects of aerial spraying using unmanned aerial vehicle(uav) against the corn borer [J]. Plant Protection, 2013, 39(2): 152-157

- [7] Shi-Jian G, Geitz G, Franklin T, et al. A comparison of the performance and biological efficacy of new knapsack sprayers and a controlled droplet application (CDA) sprayer for the control of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Plutellidae) [J]. *International Journal of Pest Management*, 2004, 50(2): 121-127.
- [8] Faraji A, Unlu I, Crepeau T, et al. Droplet characterization and penetration of an ultra-low volume mosquito adulticide spray targeting the asian tiger mosquito, *aedes albopictus*, within urban and suburban environments of northeastern usa [J]. *Plos One*, 2016, 11(4): e152069.
- [9] Meng Y, Lan Y, Mei G, et al. Effect of aerial spray adjuvant applying on the efficacy of small unmanned aerial vehicle for wheat aphids control [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2018, 11(5): 46-53.
- [10] Pan Z, Lie D, Qiang L, et al. Effects of citrus tree-shape and spraying height of small unmanned aerial vehicle on droplet distribution [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2016, 9(4): 45.
- [11] Shilin W, Jianli S, Xiongkui H, et al. Performances evaluation of four typical unmanned aerial vehicles used for pesticide application in China [J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2017, 10(4): 22-31.
- [12] Martini A T, Avila L A D, Camargo E R, et al. Pesticide drift from aircraft applications with conical nozzles and electrostatic system [J]. *Ciência Rural*, 2016, 46(9): 1678-1682.
- [13] 刘国信. 植保无人机迈入标准引领新时代 [J]. *现代农机*, 2018(5): 16-17.
Liu G X. Plant protection drones enter the standard to lead the new era [J]. *Modern agricultural machinery*, 2018 (5): 16-17.
- [14] 邱占奎, 袁会珠, 楼少巍, 等. 水溶性染色剂诱惑红和丽春红-G 作为农药沉积分布的示踪剂研究 [J]. *农药*, 2007, 46(5): 323-325.
Qiu Z K, Yuan H Z, Lou S W, et al. The research of water soluble dyes of allura red and ponceau-g as tracers for determining pesticide spray distribution [J]. *Pesticide*, 2007, 46(5): 323-325
- [15] 毛益进, 王秀, 马伟. 农药喷洒雾滴粒径分布数值分析方法 [J]. *农业工程学报*, 2009(S2): 78-82.
Mao Y J, Wang X, Ma W. Numerical analysis method for predicting droplet size distribution of nozzles [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(S2): 78-82.