

臧禹,谷秀艳,林树青,等.植保无人机作业方式对玉米螟防治的雾滴沉积和防治效果影响[J].华中农业大学学报,2024,43(6):325-332.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.06.032

植保无人机作业方式对玉米螟防治 的雾滴沉积和防治效果影响

臧禹^{1,2},谷秀艳¹,林树青¹,资乐³,李长龙¹,陈其龙¹,臧英^{2,3}

1. 广州商学院信息技术与工程学院,广州 511363; 2. 广东省农业人工智能重点实验室,广州 510642;
3. 华南农业大学工程学院,广州 510642

摘要 为探索利用植保无人机实施玉米螟防治的最佳作业模式,以作业机型(XP2020、T16)、农药类型(氯虫苯甲酰胺悬浮剂、甲维·茚虫威水乳剂和氟·鱼藤乳油)、施药液量(15、22.5和30 L/hm²)以及空列作为对照设计了4因素3水平的正交试验;田间试验设9个无人机雾滴采集区和防效调查区,同时设置高地隙喷雾机作业区和空白区作为对照,以全面评估不同作业模式下的雾滴沉积效果和防治成效。结果显示:在当前试验条件下,试验区雾滴体积中径与沉积量呈正相关($R^2=0.712, P<0.05$);农药类型对玉米螟防效有显著影响($P<0.05$),而作业机型(XP2020与T16)和所设范围内的施药液量(15~30 L/hm²)均未对防治效果产生显著影响。综合考量防治效果、作业效率、经济效益及抗风险能力等多方面因素,推荐采用T16植保无人机以22.5 L/hm²的施药液量喷施含氟·鱼藤EC与有机硅助剂的混合药液进行无人机防治玉米螟作业,施药后7 d对玉米螟的防治效果可达72%。

关键词 航空喷施;雾滴沉积;作业方式;防治效果;精准施药;玉米螟

中图分类号 S252+.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)06-0325-08

玉米作为一种兼具高经济价值与使用价值的作物,不仅是重要的食品来源,也广泛应用于畜禽饲料及工业生产中^[1]。随着农业生态环境的演变、耕作制度的变革、种植业结构的调整、种植品种的更新、生产方式的转变以及生产条件的优化,某些有害生物获得了更加有利的生存环境与繁衍条件,致使作物病虫害问题日趋严重^[2]。相关研究显示,病虫害对玉米的侵害可导致其产量直接下降10%~25%^[3]。植保施药作为确保玉米优质、高产的重要措施,在实施过程中遭遇了诸多问题。特别是在玉米植株高大且密集的生长环境中,传统的人工施药与机械化施药方法不仅施药作业难度较大,而且增加了作业人员暴露于有害化学物质下的风险。此外,为适配高地隙喷雾机的作业需求,还需对玉米的种植配置进行必要的调整与优化^[4]。

航空施药作为一种前沿的植保技术,具有高效率、高质量的作业优势,尤其在应对突发性与暴发性

病虫害时防控成效显著,展现了强大的环境适应性和资源高效利用特性^[5-6]。张亚莉等^[7]采用M45多旋翼植保无人机开展水稻施药田间试验,结果表明无人机水稻施药作业中可选择80%的农药剂量进行减量施药。张梅等^[8]使用极飞P20V2植保无人机喷施氯虫苯甲酰胺悬浮剂防治玉米螟,在施药液量为12 L/hm²的情况下,防效超过85%。王志慧等^[9]使用大疆T16植保无人机喷施氯虫苯甲酰胺SC防治玉米螟,防效可达87.1%。

已有研究证明无人机搭配合适的药剂配方在防治玉米病虫害作业中取得了较好的效果^[10-11]。但是不同农药作用机制不同,同一助剂对不同药剂的溶液理化性质改善程度不同^[12-13],不同植保无人机额定载质量、额定喷施流量、额定喷幅度等数据不一^[14],无人机喷雾所用药剂类型、药剂用量及作业机型影响药液沉积分布和沉积效果。Zang等^[15]研究表明,采用无人机进行施药,并配以适宜的药剂防治玉

收稿日期:2024-09-23

基金项目:广东省基础与应用基础研究基金项目(2020A1515110214)

臧禹,E-mail:yuzang@gcc.edu.cn

通信作者:臧英,E-mail:yingzang@scau.edu.cn

米螟,可显著增强雾滴在玉米叶片上的沉积效率。即便在节水20%的条件下,其防治效果依然能达到83%的优异水平。Shan等^[16]采用无人机防治贪夜蛾在中国的暴发,结果表明随着用水量的增加防治效果逐渐提高,不同施水量下防治效果在59%~85%,考虑到工作效率,他们建议现场作业用水量为22.5 L/hm²。刘平等^[17]使用极飞P20植保无人机喷施氯虫苯甲酰胺防治玉米螟,在施药液量为7.5 L/hm²的情况下,防效可达87.6%,添加飞防助剂后可达92%。

目前无人机飞防技术研究主要集中在飞行高度、施药量和是否添加助剂等单一因素,结合作业机型、药剂配伍方式(农药类型+助剂)和施药液量的综合研究相对较少。因此,为客观真实地获取无人机在玉米田喷洒效果较优的作业参数,本研究以作业机型、农药类型和施药液量等参数为因素设计正交试验,拟通过雾滴沉积效果和玉米螟幼虫的防治效果评价不同处理的效果,同时与高地隙喷雾机防治效果进行对比,筛选效果较佳的作业方式,以期为无人机精准施药防治玉米螟提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 作业机型与供试杀虫剂及飞防助剂

1)作业机型。XP2020植保无人机,广州极飞电子科技有限公司制造,最大载药量为20 L,离心喷头SNZ-18000A,工作流量最高可达7.2 L/min;T16植保无人机,深圳市大疆创新科技有限公司制造,其最大载药量为16 L,配置了8个XR11001VS液力喷头,其工作流量最高可达3.6 L/min;3WPZ-700高地隙喷杆喷雾机,青州嘉亿农业装备有限公司制造,最大喷雾宽度23 m,离地间隙0.97 m,轮距1.74 m,药箱容量700 L,最大行走速度40 km/h。

2)供试杀虫剂。10%甲维·茚虫威EW(水乳剂, emulsion in water),有效成分为1%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和9%茚虫威,东莞市瑞德丰生物科技有限公司生产,当地无人机施药植保队推荐用药;5%氯虫苯甲酰胺SC(悬浮剂, suspension concentrate),有效成分为5%氯虫苯甲酰胺,深圳诺普信农化股份有限公司生产,连续2 a用于无人机防治玉米螟均取得较好效果^[18];1.3%氰·鱼藤EC(乳油, emulsifiable concentrate),主要成分为0.8%鱼藤酮,0.5%氰戊菊酯,广东新秀田化工有限公司生产,当地农户推荐用药。

3)供试飞防助剂。全丰,主要成份有机硅,具有超延展性,有助于药液雾滴在作物表面润湿铺展,安阳全丰生物科技有限公司生产。前期研究发现该助剂与供试杀虫剂搭配使用时,效果较为显著^[18],基于此,本试验将不再对助剂进行额外的对比研究。

1.2 试验条件与方法

本研究在广州市增城区宁西镇的华南农业大学试验基地进行,以华美甜8号玉米为试验对象,植株生长至小喇叭口期时,平均高度约为31.5 cm,生长状况均匀一致。试验地块前茬亦为玉米,土壤肥力分布均匀,排灌设施完善,且四周无阻碍物,为无人机喷雾作业提供了理想的条件。玉米长势如图1A所示。



图1 玉米长势(A)和玉米螟虫情(B)

Fig.1 Corn growth(A) and corn borer situation(B)

施药前的虫害调查于6月13日08:00—9:00进行,随后于当日09:00—11:00实施无人机施药作业。施药期间,气温稳定在(29.5±1)℃,相对湿度保持60%~68%,风力微弱(无持续风向且风速≤2 m/s),符合施药作业的要求。当日调查虫害情况显示,各试验区域的幼虫数量200~300只,害虫密度较高,且主要为2~3龄期的幼虫,集中分布在玉米叶片上(图1B)。

本试验采用L₉(3⁴)4因素3水平的正交试验表,因素(水平)分别为作业机型(XP2020、T16)、农药类型(氯虫苯甲酰胺SC、甲维·茚虫威EW和氰·鱼藤EC)、施药液量(15、22.5和30 L/hm²),第4个因素为空列以便进行正交试验误差的判断^[19]。结合正交试验表,本试验共11个处理区,试验方案如表1所示。其中A1~A6是XP2020无人机喷雾区,每个小区宽7 m,长48 m;B1~B3是T16无人机喷雾区,每个小区宽10 m,长48 m。A1~A6与B1~B3的9个处理是作业机型、农药类型、施药液量的正交试验设计方案。C1区是高地隙处理区,宽22 m,长96 m。CK区为空白对照区,宽12 m,长48 m,不做任何处理,如图2所示。

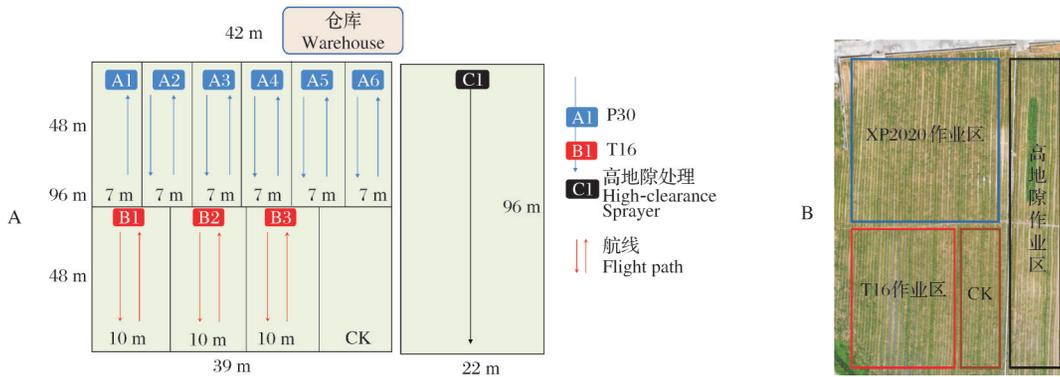


图 2 试验小区整体布局平面图(A)和现场图(B)

Fig.2 Test area overall layout plan (A) and grayscale (B)

表 1 试验方案

Table 1 Experimental scheme

处理 Treatment	作业机械 Machinery	农药类型 Type of pesticide	助剂 Adjuvant	施药量/ (mL/hm ²) Application rate	施药量/ (L/hm ²) Application volume	面积/m ² Area	正交编号 Number
A1		氯虫苯甲酰胺 SC Chlorfenapyr		10	22.5	336	4
A2	XP2020(1)	氯虫苯甲酰胺 SC Chlorfenapyr		10	15	336	1
A3		甲维·茚虫威 EW Methomyl indoxacarb	有机硅 Organic silicon	50	30	336	5
A4		甲维·茚虫威 EW Methomyl indoxacarb		50	22.5	336	2
A5	XP2020(2)	氰·鱼藤 EC Cyanogen caulis		90	30	336	3
A6		氰·鱼藤 EC Cyanogen caulis		90	15	336	6
B1		氯虫苯甲酰胺 SC Chlorfenapyr		10	30	480	7
B2	T16	甲维·茚虫威 EW Methomyl indoxacarb	有机硅 Organic silicon	50	15	480	8
B3		氰·鱼藤 EC Cyanogen caulis		90	22.5	480	9
C1	高地隙喷雾机 High clearance sprayer	氯虫苯甲酰胺 SC Chlorfenapyr	有机硅 Organic silicon	10	900	2 112	
CK						432	

1.3 雾滴沉积测定

喷雾开始前,将人工采样器放置在 5 个沿喷雾器中心均匀间隔的采样点,如图 3 所示。为了避免地块之间的交叉污染,取样只在每个地块的中心进行。每个小区布设 2 排水敏纸,每排设置 5 个采样点,每个采样点间隔 1 m,采样点由 1 张水敏纸组成,沿喷雾器飞行垂直方向均匀布置。田间试验结束后,逐一编号回收所布置的水敏纸,利用 CanoScan LiDE300 扫描仪对这些水敏纸进行高精度扫描。通过 Depositscan 软件对扫描图像进行深入的分析处理,最终精

确获取雾滴的体积中径 D_{v50} 以及雾滴的沉积量等重要参数。

1.4 防治效果调查和统计

依据 GB/T 17980.6—2000 标准对幼虫的防治效果进行评估。在每个试验小区内随机选取 5 垄玉米作为样本,每个小区共统计 100 株玉米,对这些玉米进行标记。分别在施药前、施药后第 3 天(即 6 月 16 日)以及第 7 天(即 6 月 20 日)对玉米螟的数量进行统计。

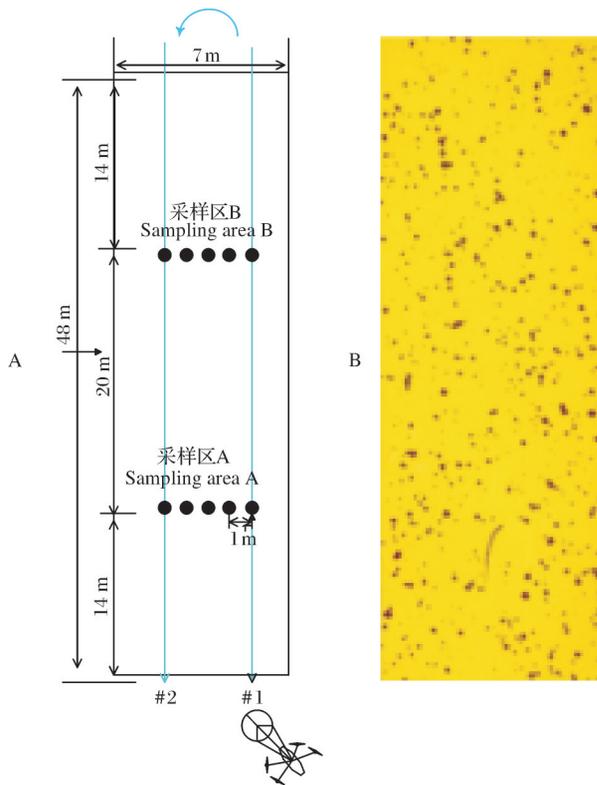


图3 水敏纸布置(A)和水敏纸(B)

Fig.3 Water sensitivity paper and sampling layout (A) and WSP (B)

1.5 数据处理

使用SPSS 29.0软件计算95%置信区间,并采用Duncan's新复极差法进行试验数据的差异显著性检验,同时利用Duncan's多重比较法对正交试验水平进行优选^[20]。采用SPSS 29.0软件分析2组数据的线性相关性。

2 结果与分析

2.1 雾滴沉积特性

各处理的雾滴沉积结果见图4,XP2020无人机沉积量最高的为A6处理 $0.353 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ (XP2020, 氰·鱼藤EC+有机硅助剂, $15 \text{ L}/\text{hm}^2$),T16无人机沉积量最高的为B3处理 $0.336 \mu\text{L}/\text{cm}^2$ (T16, 氰·鱼藤EC+有机硅助剂, $22.5 \text{ L}/\text{hm}^2$);粒径最大的为B2处理, D_{v50} 为 $386 \mu\text{m}$ (T16, 甲维·茚虫威EW+有机硅助剂, $15 \text{ L}/\text{hm}^2$)。整体上,T16无人机的雾滴 D_{v50} 大于XP2020无人机,原因可能是由于2种无人机喷嘴的雾化方式不同,液力式喷嘴的雾滴大于离心式喷嘴的雾滴。

通过相关性分析可知雾滴的体积中径 D_{v50} 与雾滴的沉积量呈弱相关性($R^2=0.712, P<0.05$)。说明

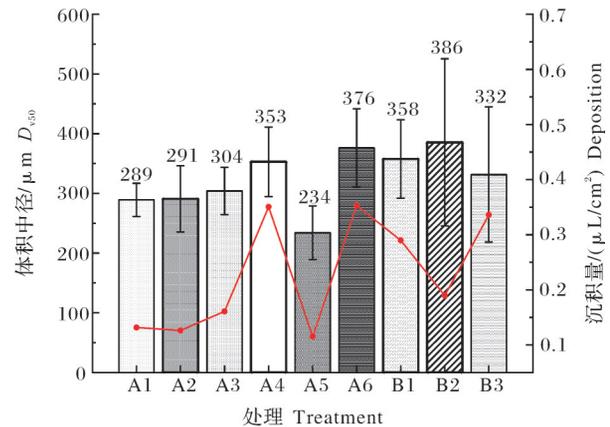


图4 雾滴沉积结果

Fig.4 Droplet deposition results

药液雾化后的 D_{v50} 在一定范围内数值越大,药液在作物表面的沉积量越大。在适当的范围内,可以通过增加雾滴 D_{v50} 的方式,提高药液在靶标上的沉积。

2.2 对玉米螟的防治效果

施药3 d后对玉米螟的防治效果见图5A,结果显示,施药后3 d处理B3(T16, 氰·鱼藤EC, $22.5 \text{ L}/\text{hm}^2$)的防治效果最佳,达到82%。对于不同农药类型,喷施氯虫苯甲酰胺SC的处理与喷施其他2种药剂的处理之间存在显著差异($P<0.05$),且其防治效果远低于后两者。XP2020喷施氰·鱼藤EC处理(A4、A5)和T16喷施甲维·茚虫威EW(B2)处理和氰·鱼藤EC(B3)处理,其防治效果均显著高于高地隙喷雾机的C1处理($P<0.05$)。此外,使用XP2020无人机喷施甲维·茚虫威EW和氰·鱼藤EC时施药液量的影响不显著,对喷施氯虫苯甲酰胺SC的影响显著($P<0.05$)。

施药7 d后对玉米螟的防治效果见图5B,结果显示,施药后7 d使用XP2020无人机喷施作业,处理A3(甲维·茚虫威EW, $30 \text{ L}/\text{hm}^2$)和A5(氰·鱼藤EC, $30 \text{ L}/\text{hm}^2$)的防治效果较为突出,分别达到81%和70%,两者之间差异不显著,但整体表现优于其他组,与其他处理相比存在显著差异($P<0.05$)。使用T16无人机喷施作业,防治效果较好的为处理B3(氰·鱼藤EC+有机硅助剂, $22.5 \text{ L}/\text{hm}^2$),防治效果为72%,显著优于其他2组处理($P<0.05$)。

2.3 作业方式的差异

为探究正交试验中各因素对玉米螟防治效果的影响,运用Duncan's新复极差法,分别对作业机型、农药类型、以及施药液量3个因素与防治效果之间的关系进行单因素方差分析(表2)。3个因素中只有农

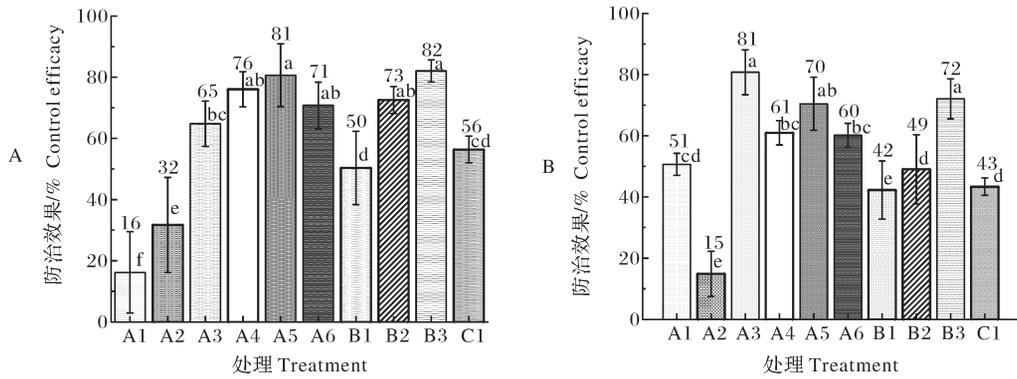


图5 施药3 d (A)和7 d(B)后对玉米螟的防治效果

Fig. 5 Pest control effect after 3 days (A) and 7 days (B) of pesticide application

药类型对施药后第7天的防治效果有显著影响($P < 0.05$),作业机型和施药液量对玉米螟防治无显著影响($P > 0.05$)。在本研究设定的试验条件下,施药后第7天各因素的F值从大到小依次为:农药类型、作

业机型、施药液量,表明农药类型对防治效果最为关键,其次是作业机型,最后是施药液量。试验误差的均方(46.992)小于各个因素的均方,因此本次正交试验的误差在试验允许的范围內。

表2 施药后第7天防治效果的方差分析结果

Table 2 Analysis of variance of control effect after 7 days

源 Source	总平方和 Sum of square	自由度 Degree of freedom	均方 Mean square	F	P
修正模型 Corrected model	4 141.953a	6	690.325	10.305	0.091
截距 Intercept	33 011.307	1	33 011.307	492.762	0.002
施药液量 Application volume	99.269	2	49.635	0.741	0.574
农药类型 Pesticide	3 549.147	2	1 774.573	26.489	0.036
机型 Operation model	493.536	2	246.768	3.684	0.214
误差 Error	133.985	2	46.992		
总计 Total	37 287.244 596	9			
修正后总计 Corrected total	4 275.937 314	8			

2.4 防治玉米螟的作业方式优选

为了优选防治玉米螟的较佳作业参数,对作业机型、农药类型和施药液量3个因素与施药后第7天防治效果(药效较稳定)进行Duncan's多重比较(表3),结果显示,施药后第7天,因素“作业机型”的3个水平之间差异不显著,但3水平(T16)效果较好。因素“农药类型”的1水平(氯虫苯甲酰胺)和其他2个水平差异显著,水平优劣顺序为:氰·鱼藤EC > 甲维·茚虫威EW > 氯虫苯甲酰胺SC。但氰·鱼藤EC

中主要成分“鱼藤酮”已被相关研究证实可能对部分鱼类具有高毒性^[21],因此,在选择氰·鱼藤施药时要充分考虑施药安全性,必须考虑它可能对水生生态系统带来的安全风险,必要时可考虑甲维·茚虫威EW作为替代。因素“施药液量”的3个水平之间差异不显著,考虑到较高施药液量会降低无人机的作业效率和经济效益,而较低施药液量会导致药液雾滴数量减少,在实际作业时如遇多变的自然风向,容易导致喷雾作业不均匀等问题,故认为2水平(22.5

表3 施药后第7天防治效果的Duncan's多重比较分析

Table 3 Duncan's multiple comparison of control effect after 7 days

机型 Operation model	个案数 No.	子集 Subset	农药类型 Type of pesticide		施药液量 Application volume			
			个案数 No.	子集 Subset	个案数 No.	子集 Subset		
XP2020	3	50.59a	氯虫苯甲酰胺(SC) Chlorfenapyr	3	32.75b	22.5	3	58.10a
XP2020	3	62.79a	甲维·茚虫威(EW) Methomyl indoxacarb water emulsion	3	71.13a	15	3	58.33a
T16	3	68.31a	氰·鱼藤(EC) Cyanogen caulis	3	77.82a	30	3	65.26a

注:同列不同小写字母表示处理间0.05水平差异显著,子集越大水平越好。Note: Different lowercase letters in the same column indicate a significant difference in the level of 0.05 between treatments. The larger the subset, the better the level.

L/hm²)较合适。因此,综合考虑无人机防治效果较好的因素水平为:T16,氰·鱼藤EC+有机硅助剂,22.5 L/hm²。

3 讨论

本研究探讨了无人机多种作业模式对雾滴沉积效果和玉米螟幼飞防作业效果的影响,通过对比2种型号无人机(T16与XP2020)及高地隙喷雾机在玉米苗期的喷施作业,结合水敏纸收集的雾滴粒径数据与防效评估结果,分析了作业机型、农药类型及施药液量的不同组合对药液沉积分布及防治成效的综合作用。

无人机采用的超低容量喷雾技术,以其微小的雾滴粒径,在旋翼风场的助力下,有效促进了药液在叶片背面的附着,但过小的雾滴易增加飘移的风险。相反,增大雾滴粒径虽能减少飘移,却可能加剧药液在叶片上的弹跳滚落^[22]。从雾滴测试结果来看,本试验条件下,当雾滴粒径体积中径 D_{v50} 介于234 μm 和386 μm 之间,雾滴沉积量与 D_{v50} 呈正相关。即在合适的范围内,通过优化雾滴谱,增加大雾滴比例,能显著提升药液在玉米叶片上的沉积效率。搭载液力式喷嘴的T16无人机的雾滴普遍大于搭载离心喷嘴的XP2020无人机的雾滴,这是由于2种无人机喷雾的雾化方式不同,根据特定的作业环境,可以选择不同雾化方式的无人机进行飞防作业。

农药类型及其配伍方式直接关系到害虫防治效果,对不同的作物与作业环境应合理选取最佳的药液配伍方式。此外,试验中发现施用氯虫苯甲酰胺的处理区平均防治效果要显著低于其他2种药剂的防治效果,结合当地农户往年多次使用氯虫苯甲酰胺的记录分析,可能是玉米螟对氯虫苯甲酰胺SC已产生了抗药性。因此,建议农户防治病虫害时,尽量选取多种有效农药轮换使用。

本研究综合考虑无人机防治玉米螟效果较好的作业方式时,“施药液量”未选择数据较佳的30 L/hm²,而选择了数据稍差的22.5 L/hm²,与现有研究作出了类似的决策^[23],说明指导农户生产时,要充分考虑现实因素,为农户规划最佳性价比兼更抗风险的作业方式。

综上,无人机防治玉米螟的效果受施药液量、作业机型及农药类型等多重因素影响。在当前试验条件下,针对玉米喇叭口期,采用T16无人机,以22.5

L/hm²的施药液量喷施含氰·鱼藤EC与有机硅助剂的混合药液可以有效提高喷雾质量及对玉米螟的防治效果。本研究在华南农业大学试验基地进行,虽然该基地提供了标准的试验环境,但与实际农业生产中的复杂条件相比,仍存在一定的差距。例如,试验基地的土壤、气候等条件可能与不同地区的农田存在差异,这可能导致试验结果在不同环境下的普适性受到限制。并且由于试验设计、样本选择等方面的限制,本研究结果可能无法完全代表所有类似条件下的实际情况。因此,在将研究结果应用于实际农业生产时,需要谨慎考虑试验条件与实际农田环境的差异,并进行必要的调整和优化。

参考文献 References

- [1] 张华,陈晨,张家乐.营养成分视角下的中国植物饲料价值评估及发展策略分析[J].中国畜牧杂志,2021,57(10):254-260. ZHANG H, CHEN C, ZHANG J L. Value evaluation and development strategy analysis of plant feed in China from the perspective of nutritional components [J]. Chinese journal of animal science, 2021, 57(10): 254-260 (in Chinese).
- [2] 刘杰,李天娇,姜玉英,等.2020年我国玉米主要病虫害发生特点[J].中国植保导刊,2021,41(8):30-35. LIU J, LI T J, JIANG Y Y, et al. Occurrence characteristics of main maize diseases and insect pests in China in 2020 [J]. China plant protection, 2021, 41(8): 30-35 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王振营,王晓鸣.我国玉米病虫害发生现状、趋势与防控对策[J].植物保护,2019,45(1):1-11. WANG Z Y, WANG X M. Current status and management strategies for corn pests and diseases in China [J]. Plant protection, 2019, 45(1): 1-11 (in Chinese with English abstract).
- [4] 白志坤,陈兵,高山,等.农用无人机施药技术应用研究现状[J].中国农机化学报,2024,45(9):54-61. BAI Z K, CHEN B, GAO S, et al. Current status of research on the application of agricultural UAV application technology [J]. Journal of Chinese agricultural mechanization, 2024, 45(9): 54-61 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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. ZHOU Z Y, MING R, ZANG Y, et al. Development status and countermeasures of agricultural aviation in China [J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(20): 1-13 (in Chinese with English abstract).
- [6] 胡红岩,任相亮,姜伟丽,等.植保无人机棉田喷洒农药沉积分布研究[J].华中农业大学学报,2018,37(5):59-64. HU H Y, REN X L, JIANG W L, et al. Pesticide spray distribution of plant protection UVA in cotton field [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2018, 37(5): 59-64 (in Chinese with English abstract).

- English abstract).
- [7] 张亚莉,高启超,邓继忠,等.M45型多旋翼植保无人机减量施药对稻飞虱防治效果的影响[J].华南农业大学学报,2021,42(6):36-42.ZHANG Y L,GAO Q C,DENG J Z,et al.Effects of reduced pesticide application on rice planthopper control by M45 multi-rotor plant protection UAV[J].Journal of South China Agricultural University,2021,42(6):36-42(in Chinese with English abstract).
- [8] 张梅,李天娇,罗伍周,等.植保无人机作业质量及其对玉米螟防效评价[J].中国植保导刊,2021,41(6):66-69.ZHANG M,LI T J,LUO W Z,et al.Operation quality of plant protection UAV and its control effect evaluation on corn borer[J].China plant protection,2021,41(6):66-69.
- [9] 王志慧,丁新华,贾尊尊,等.基于增效剂与杀虫剂协同作用的玉米螟超低量喷雾防治技术[J].新疆农业科学,2020,57(2):311-318.WANG Z H,DING X H,JIA Z Z,et al.An ultra low spray control technique for corn borer based on synergist and insecticide[J].Xinjiang agricultural sciences,2020,57(2):311-318(in Chinese with English abstract).
- [10] CARSCALLEN G E,KHER S V,EVENDEN M L.Efficacy of chlorantraniliprole seed treatments against armyworm (*Mythimna unipuncta* [Lepidoptera: Noctuidae]) larvae on corn (*Zea mays*) [J].Journal of economic entomology,2019,112(1):188-195.
- [11] 王潇楠,王思威,雷春媚,等.植保无人机喷施氯虫苯甲酰胺在玉米冠层中沉积分布及对草地贪夜蛾的防治效果[J].应用昆虫学报,2023,60(4):1244-1253.WANG X N,WANG S W,LEI C M,et al.The effect of flight parameters and nozzle type on the efficacy of spraying chlorantraniliprole from an unmanned aerial vehicle to control *Spodoptera frugiperda* [J].Chinese journal of applied entomology,2023,60(4):1244-1253(in Chinese with English abstract).
- [12] 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.Influence of adjuvants and pesticides on the control efficacy against rice caseworm *Cnaphalocrocis medinalis* using crop protection unmanned aircraft system[J].Journal of plant protection,2023,50(2):538-544(in Chinese with English abstract).
- [13] WANG S L,LI X,ZENG A J,et al.Effects of adjuvants on spraying characteristics and control efficacy in unmanned aerial application[J].Agriculture,2022,12(2):1-15.
- [14] XU L F,YANG Z Z,HUANG Z S,et al.Effects of flight parameters for plant protection UAV on droplets deposition rate based on a 3D simulation approach[J].International journal of agricultural and biological engineering,2023,16(1):66-72.
- [15] ZANG Y,ZHOU Z Y,ZANG Y,et al.Optimization of aviation adjuvants based on wettability analysis for insecticide application on maize using UAV[J].International journal of agricultural and biological engineering,2021,14(5):11-18.
- [16] SHAN C F,WANG G B,WANG H H,et al.Effects of droplet size and spray volume parameters on droplet deposition of wheat herbicide application by using UAV [J]. International journal of agricultural and biological engineering,2021,14(1):74-81.
- [17] 刘平知,王原强,乔志刚,等.植保无人机防治玉米螟效果评价[J].湖北植保,2018(5):26-27.LIU P Z,WANG Y Q,QIAO Z G,et al.Evaluation on the control effect of plant protection drone on corn borer [J].Hubei plant protection,2018(5):26-27(in Chinese).
- [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 mechanism and application effect of flight defense additives for plant protection UAV [D].Guangzhou: South China Agricultural University,2019(in Chinese with English abstract).
- [19] 王颀.试验设计与SPSS应用[M].北京:化学工业出版社,2007.WANG J. Experimental design and SPSS application [M].Beijing:Chemical Industry Press,2007(in Chinese).
- [20] 杨德.试验设计与分析[M].北京:中国农业出版社,2002.YANG D. Design and analysis of experiments [M]. Beijing: China Agriculture Press,2002(in Chinese).
- [21] 黄瑞,徐丰恺.鱼藤酮对花鲈、矛尾虾虎鱼的急性毒性研究[J].海洋湖沼通报,2017,39(1):96-101.HUANG R,XU F K.Study on the acute toxicity of rotenone to *Lateolabrax japonicas* and *Chaeturichthys stigmatias* Richardson[J].Transactions of oceanology and limnology,2017,39(1):96-101(in Chinese with English abstract).
- [22] 孙桐.农药雾滴空间运行的多因素作用机制研究[D].大连:大连理工大学,2018.SUN T. Research on multiple factors mechanism of pesticides pray droplet movement in the air .Dalian: Dalian University of Technology,2018(in Chinese with English abstract).
- [23] 资乐,臧禹,黄俊浩,等.植保无人机飞防助剂与杀虫剂的混配方式对二化螟防治效果影响研究[J].智慧农业(中英文),2021,3(3):52-59.ZI L,ZANG Y,HUANG J H,et al.Effects on control efficacy of pesticide-adjuvants mixture against rice *Chilo suppressalis* (walker) based on plant protection unmanned aerial vehicle[J].Smart agriculture,2021,3(3):52-59(in Chinese with English abstract).

Effects of mode of operating agricultural unmanned aerial vehicles on deposition of droplet and prevention and control of corn borer

ZANG Yu^{1,2}, GU Xiuyan¹, LIN Shuqing¹, ZI Le³, LI Changlong¹, CHEN Qilong¹, ZANG Ying^{2,3}

1. School of Information Technology and Engineering, Guangzhou College of Commerce, Guangzhou 511363, China;

2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Agricultural Artificial Intelligence (GDKL-AAL), Guangzhou 510642, China;

3. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract An orthogonal experiment with 4 factors and 3 levels was designed using models of operating including XP2020 and T16, types of pesticide including chlorfenapyr suspension, methomyl indoxacarb water emulsion, and cyanogen caulis EC and silicone adjuvant, volumes of application including 15 L/hm², 22.5 L/hm², and 30 L/hm², and empty column as control to study the optimal operation mode of using agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) to prevent and control the corn borer. 9 collection areas of UAV droplet and investigation areas of prevention and control were set up in the field experiment, and high-gap operation areas of sprayer and blank area were set up as controls to comprehensively evaluate the deposition of droplet and the effect of prevention and control of corn borer under different modes of operation. The significance of each factor was analyzed in depth with Analysis of Variance (ANOVA). The results showed that there was a positive correlation between the diameter of droplet volume in the experimental area and the amount of deposition under the current experimental conditions ($R^2=0.712$, $P<0.05$). The type of pesticide had a significant impact on the effect of prevention and control of corn borer ($P<0.05$). The model of operating and the volume of pesticide applied within the range (15~30 L/hm²) had no significant impact on the effect of prevention and control of corn borer. It is recommended to use T16 UAV in combination with cyanogen caulis EC and silicone adjuvant, with an application rate of 22.5 L/hm² to prevent and control the corn borers taking into account various factors including the effect of prevention and control, the efficiency of operation, economic benefits, and the mitigation of risk. The effect of prevention and control on corn borer can reach 72% after 7 days of application. It will provide a reference for using agricultural UAVs to prevent and control the corn borer larvae and an important guidance for optimizing the application of pesticide and improving the utilization of pesticide.

Keywords aerial spraying; deposition of droplet; operation mode; effect of prevention and control; precise spraying of pesticides; corn borer

(责任编辑:张志钰)