

中国农用植保无人机施药技术研究进展

胡维月 席玉强 尹新明*

(河南农业大学植物保护学院,河南郑州 450000)

摘要 植保无人机施药是一种低容量高浓度的低空施药方式,具有作业效率高、对人体危害小、适应性广、不受地形限制等特点;但低容量高浓度的施药方式不仅需要对农药浓度有精准的把握,同时施药技术、农药剂型也会影响防治效果。本文介绍了中国植保无人机市场概况,总结了无人机专用药剂及助剂发展现状和农业精准施药技术研究进展,以期为植保无人机进一步研究与应用提供参考。

关键词 植保无人机;市场概况;施药技术;精准施药;雾滴飘移控制

中图分类号 S252+.3 文献标识码 A

文章编号 1007-5739(2022)10-0095-05

DOI:10.3969/j.issn.1007-5739.2022.10.027

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research Progress on Pesticide Application Technology of Agricultural Plant Protection UAV in China

HU Weiyue XI Yuqiang YIN Xinming*

(College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan 450000)

Abstract Plant protection UAV pesticide application is a low-altitude pesticide application method with low capacity and high concentration, which has the characteristics of high working efficiency, little harm to human body, wide adaptability and not restricted by topography. However, the application mode of low capacity and high concentration needs to accurately grasp the concentration of pesticides, at the same time, the application technology and pesticide dosage form will also affect the control effect. This paper introduced the market overview of plant protection UAV in China, summarized the development status of UAV special agents and additives and the research progress of agricultural accurate application technology, so as to provide references for the future research and application of plant protection UAV.

Keywords plant protection UAV; market overview; pesticide application technology; accurate application; spray drift control

航空机械用于病虫草害防治由来已久。1911年,德国首次利用飞机喷洒农药防治森林害虫;1949年,美国研制出农用固定翼飞机;1987年日本研制出农用无人直升机,到1990年日本推出世界第一架用于喷洒农药的小型植保无人机,开创了植保无人机用于田间病虫草害防控的时代^[1]。

2001年,北京一家公司引进日本公司生产的

RMAX型植保无人机,之后植保无人机开始逐步引起国内科研部门的关注;2004年,农业部南京农业机械化研究所等机构开始进行关于农用植保无人机的研究与推广工作^[2];2008年,农业部南京农业机械化研究所研制出了中国第一架农用植保无人机;2009—2012年多所研究单位开始探索植保无人机对水稻、小麦等作物病虫害的防治效果;2013年国内学术期刊上开始相继发表植保无人机的相关研究成果^[3],此后国内越来越多的研究人员开始投入到植保无人机的开发和应用研究中。自2015年新疆发布MG-1型农业无人机后,中国的飞防产业开始快速发展,植保无人机逐步成为中国智慧农田管理中不

基金项目 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-27);河南省重点研发与推广专项(212102110471);西藏自治区科技计划项目(XZ202001YD0002C)。

作者简介 胡维月(1997—),女,河南周口人,在读硕士研究生。研究方向:害虫绿色防控。

*通信作者

收稿日期 2021-09-09

可或缺的重要机械之一,中国对植保无人机的市场需求不断增加。但是,国内相关的产业服务体系尚不完善,至2018年中国才推出首个植保无人机技术规范标准。2019年4月,人力资源社会保障部正式将无人机驾驶员认定为正式职业。据不完全统计,截至2020年6月,我国现行的农业航空标准有国家标准1项、农业行业标准2项、民航行业标准15项,主要以操作规范、喷洒装备要求、安全评价、作业质量及试验评价方法等要求为主。

目前,在世界航空机械的研究与发展中,美国、德国、欧洲等国家以大型直升机进行农事作业为主,而中国、日本、韩国等国家则将研究目标放于小型植保无人机的开发中,这也与各国的农业结构及农业地形有关。美国、德国等国家以家庭农场为主要的经营方式,种植种类集中,利于大型航空机械的使用;中国、日本等国家受农业经营方式、种植结构及地理环境等因素的影响,普通的农业机械难以适应多变的农事活动^[4-6]。植保无人机相较于传统农用机械具有作业效率高、节水节药、对人体危害性小、适应性广等特点,可在平原、丘陵、林地、湿地等多种地形中开展作业,同时不像地面机械在作业过程中会对作物产生损害。相信未来几年内,植保无人机的发展依旧迅速,针对植保无人机的研发与应用也将日益增加。

1 中国植保无人机市场概况

中国总耕地面积约1.28亿 hm^2 ,每年病虫害鼠害发生面积逾4.67亿公顷次,防治面积达5.67亿公顷次,年均所需农药30万t左右。20世纪末,中国就已经成为世界上农药生产和使用大国,但农药有效利用率只有大约30%^[7-9],中国植保机械的发展与农药使用水平极不相称。因此,迫切需要新型植保机械解决中国农药利用率较低的问题。自2010年以来,植保无人机在中国迅速发展,以植保无人机为应用载体的低空低量航空施药技术逐步成为研究热点,高浓度低剂量的特点在一定程度上可提高农药利用率。

国内研发出的植保无人机机型较多,其中以电动多旋翼的机型开发产品最少,主流植保无人机多采用多旋翼电动无人机^[7,10]。多旋翼植保无人机机型以电池为动力,技术门槛低、结构和技术相对简单^[11]。以目前市场上部分主流植保无人机技术参数(表1)来看,大疆植保无人机整机重量9.8~26.3 kg,作业效率能高达16.00 hm^2/h ,作业箱容积10~30 L,可装备喷头数量最多达16个,雾化粒径在110~265 μm 范围内。电动多旋翼植保无人机工作效率高,能适应多种作业环境,同时其相较于其他机型更易于操作与维修,相信未来几年内,中国植保无人机仍将以电动多旋翼植保无人机为主。

表1 大疆农用植保无人机型号技术参数对比

无人机型号	作业效率/ ($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	最大喷洒流量/ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	整机重量/ kg	最大起飞 重量/kg	喷头数量/ 个	作业箱容积/ L	雾化粒径/ μm	防护 等级
大疆 T30	16.00	7.20~8.00	26.3	66.5	16	30.0	110~265	IP67
大疆 T10	6.67	1.80~3.00	13.0	26.8	4	10.0	130~265	IP67
大疆 T20	12.00	3.60~6.00	21.1	47.5	8	15.1~20.0	130~265	IP67
大疆 T16	10.00	3.60~4.80	18.5	42.0	8	15.1~16.0	130~265	IP67
大疆 MG-1P	6.00	0.450~0.525	9.8	24.8	4	10.0	130~250	IP67

注:数据引自 DJI 大疆创新官方网站。

据不完全统计,当下中国有300多家植保无人机生产厂家、2000家以上的企业从事农用无人机生产与服务^[12-13]。全国农业技术推广服务中心初步统计数据显示,截至2020年11月中旬,全国专业化防治组织中植保无人机保有量约8万架,作业面积大约5300万 hm^2 。预计几年内,植保无人机市场从事飞防员培训派遣服务、无人机维修保养物流服务、喷洒植

保服务、无人机租赁销售、专用农药研发销售等的人员需求量将超过40万人^[2]。

2 无人机专用药剂及助剂发展现状

植保无人机作业原理主要是利用自身旋翼产生的风场使雾化后的雾滴向靶标生物运动,但雾滴向靶标运动过程中,易受温度、湿度和自然风等环境因素的影响,产生蒸发和飘移等造成环境问题,这就需

要开发具有强沉降性、耐挥发性、抗飘移性等特点的低毒高效农药制剂降低雾滴飘移风险^[14]。

植保无人机喷洒农药用水量仅为传统施药方式的 1/30, 药剂浓度相对较高, 若施用不当很容易造成农药残留、环境污染等问题。2020 年, 通过比较背负式喷雾器和植保无人机在水稻田内喷施吡蚜酮后的残留量发现, 植保无人机施药后农药残留量更高^[15]; 2021 年, 研究人员在茶园测试无人机施药的雾滴沉积分布对害虫防治效果及残留量的研究中发现, 无人机施药相比传统机械施药农药利用率更高, 但均匀性较差且农药残留水平高^[16]。因此, 植保无人机使用普通农药进行喷洒时, 安全间隔期应相应延长, 而高残留、分解性较差的农药则不适宜植保无人机的施用。此外, 一些农药制剂类型还会造成雾化喷头堵塞等问题。

国外针对植保无人机低容量高浓度喷雾特点, 已经研制出适合无人机喷施的飞防专用剂型——超低容量液剂, 这种剂型相比其他剂型雾滴更小、渗透性更强、药液覆盖率更高。在日本, 飞防专用药剂登记已有 266 种, 韩国也已登记 110 种^[17-18]。长久以来, 中国植保无人机研究重心偏向于无人机技术参数的改良, 只注重无人机本身的性能质量, 而忽视了药剂对防治效果的影响。目前, 国内飞防专用药剂和助剂的研制和试验尚处于起步阶段。截至 2018 年, 中国登记的超低容量液剂仅有 12 种, 中国植保无人机所使用的农药则多为常规地面机械使用的药剂, 其并不能完全适应无人机的作业要求^[9]。因此, 为了促进中国植保无人机精准施药技术的发展, 必须加快推进植保无人机专用药剂的开发和应用研究, 相关部门也应建立完善的植保无人机施药标准与安全监管体系^[7, 16]。

3 农业精准施药技术研究进展

3.1 航空静电喷雾技术

静电喷雾技术是通过接触式、电晕式及感应式等充电方式使雾滴带电, 在高压静电的作用下, 带电药液能够主动吸附于作物靶标的正反面, 达到吸附效果^[19-20]。中国航空静电喷雾技术研究始于 2005 年, 而无人机静电喷雾技术研究始于 2015 年^[21-22]。目前,

国内对有人驾驶飞机已有标准规定航空静电喷雾器的设备组成、主要技术指标及注意事项等^[23], 但缺少对植保无人机静电喷雾系统整机的详细说明和操作规程, 且各研究人员选用的机型、旋翼数量、技术参数各不相同, 这就降低了研究结果的可借鉴性。中国现阶段应重视基础性研究和延续性试验, 解决载重、静电系统与播撒和飞控系统的整机协调性差、基础性研究欠缺等问题, 把单一强调对雾滴带电的实现转向对技术系统的整体研究^[24]。

静电喷雾技术具有能够增加药剂雾滴沉积、减少飘移和降低施药量等方面的优势, 可以有效解决植保无人机施药技术方面的问题, 实现无人机的精准施药。

3.2 农药变量喷雾技术

变量喷雾技术是通过分析农田作物的实际情况, 有针对性地调整喷施量和喷施方式, 以最小农药喷施量达到最佳防治效果。变量喷雾技术工作过程主要涉及农田信息获取、数据处理与控制及对执行动作的感知等, 现阶段研究的变量喷雾技术主要有 2 种类型, 即基于处方图的变量喷雾技术和基于实时感知的变量喷雾技术。前者是根据分析后的农田信息调整作业模式; 后者则是作业过程中实时获取农田信息, 并快速进行判断从而实现变量喷雾^[25-26]。有研究表明, 目前搭载变量喷雾技术的机械相比于传统喷药方式节约 50% 以上, 对靶识别成功率达 60% 以上^[27]。

航空植保变量喷雾是全球研究的一个重要方向, 在美国、日本等发达国家已有一定的研究与发展, 中国对植保无人机变量喷雾也相继进行了探索性研究^[28]。早在 2014 年, 国内就有学者设计了利用 PWM 技术控制的无人机机载农药变量喷洒系统, 但没有结合无人机作业参数进行变量喷雾^[29]; 2017 年, 虽开始设计关于飞行速度和施药流量自动匹配的植保无人机动态变量施药系统, 但没有研究控制算法对控制效果的影响^[30]; 到 2019 年, 开始有学者关注飞行速度的变化对施药均匀性的影响, 设计了基于神经网络 PID 的自适应无人机变量喷雾系统^[31]; 最新的研究中, 高锐涛等^[32]设计了基于变量施药处方图的

实时解译系统,为植保无人机变量喷雾技术的发展提供了理论参考。

目前,国内对变量喷雾技术在精准施药上的应用研究尚处于探索阶段,将变量喷雾技术应用到植保无人机上的相关研究报道更少,加强对植保无人机变量喷雾系统的研究和应用将会有效改善现阶段的植保作业问题。

3.3 雾滴飘移控制技术

雾滴飘移是农药在使用过程中通过空气向非靶标运动的现象,包括飞行飘移和蒸发飘移。飘移会造成环境污染,甚至会危及人类身体健康、蜜蜂养殖等。因此,需要进一步研究影响雾滴飘移与沉积行为的因素^[33]。

2018年,研究人员采用油动单旋翼植保无人机探索了不同施药量棉花苗期喷雾雾滴沉积分布的规律^[34],之后研究人员深入研究了喷雾参数及助剂类型对农药雾滴沉积分布的影响^[35-36];除了关于喷雾参数及助剂类型的研究外,还有学者开始利用风洞环境模拟无人机飞行喷雾试验,进行雾化喷头、喷雾助剂等对喷雾飘移影响的研究^[37-38];最新的研究中,研究人员开始更多地关注植保无人机在飞行过程中不同侧向风、环境风速、飞行参数等对雾滴沉积和飘移的影响程度^[39-41]。

中国对植保无人机喷雾飘移的研究还处于初步阶段,深入研究不同因素对农药飘移的影响、下风向的雾滴飘移规律以及农药飘移对非靶标生物的影响对提升农药利用率和环境保护具有重要意义^[42]。

4 结语

中国植保无人机的发展相较于世界其他国家起步较晚,最初的研究多是基于地面机械设备的相关硬件和施药技术进行再开发。因此,有些设备和技术并不能与植保无人机完美兼容,尤其在施药技术方面,植保无人机虽然能有效提高农药利用率,但农药雾滴飘移、均匀性差、农药残留等问题以及缺乏专用农药制剂都制约着植保无人机的进一步推广和应用。目前,国内在精准施药关键技术方面已经有关于农业航空静电喷雾技术、农药变量喷雾技术、雾滴飘移控制技术的研究,但由于研究不够深入且研究时

使用的植保无人机型号各不相同,对照参考性不强,缺乏针对性,技术发展与国外发达国家仍有一定差距。无人机精准施药关键技术涉及多领域多学科的研究,尚需广大研究人员进一步开发和推广应用。

5 参考文献

- [1] 郑加强,徐幼林.环境友好型农药喷施机械研究进展与展望[J].农业机械学报,2021,52(3):1-16.
- [2] 张延发,周婧,袁敏敏,等.植保无人机作物生产应用研究进展[J].安徽农学通报,2018,24(22):58-60.
- [3] 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.
- [4] 郭棒.美国农业经营体系研究[J].哈尔滨师范大学社会科学学报,2017,8(4):59-62.
- [5] 蔡伟,牡丹.德国农业经营体系研究[J].世界农业,2014(7):166-168.
- [6] 阙名锦.农用无人机在水稻病虫害防治中的应用综述[J].广西农学报,2018,33(3):44-47.
- [7] 何雄奎.中国精准施药技术和装备研究现状及发展建议[J].智慧农业(中英文),2020,2(1):133-146.
- [8] 束放,郭永旺.2018年农作物有害生物防治和农药械市场需求预测[J].中国植保导刊,2018,38(5):69-71.
- [9] 李永平.2018年农药械市场特点及2019年趋势展望[J].农药市场信息,2018(30):41-42.
- [10] 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.
- [11] 徐小杰,陈盛德,周志艳,等.植保无人机主要性能指标测评方法的分析与思考[J].农机化研究,2018,40(12):1-10.
- [12] 张梅生.农业植保无人机的现状及产业发展探究[J].南方农业,2020,14(21):156-157.
- [13] 兰玉彬,陈盛德,邓继忠,等.中国植保无人机发展形势及问题分析[J].华南农业大学学报,2019,40(5):217-225.
- [14] 袁会珠,杨峻,林勇,等.日本植保无人飞机施用农药制剂登记管理情况分析[J].农药科学与管理,2021,42(3):3-7.
- [15] 刘春来,聂思桥,刘照清,等.两种施药器械对水稻中吡蚜酮残留量影响研究[J].农药科学与管理,2020,41(2):25-30.
- [16] 楚博,罗逢健,罗宗秀,等.茶园应用植保无人飞机的可行性评价[J].茶叶科学,2021,41(2):203-212.
- [17] 朱丽华.浅谈植保无人机对农药及其剂型的选择[J].农

- 家科技,2021(6):65.
- [18] 张俊,杨志刚,廉勇,等.植保无人机对农药及其剂型的选择[J].现代农业,2020(5):14-17.
- [19] 张亚莉,兰玉彬,FRITZ B K, et al.美国航空静电喷雾系统的发展历史与中国应用现状[J].农业工程学报,2016,32(10):1-7.
- [20] TAVARES R M, CUNHA J P, ALVES T C, et al. Electrostatic spraying in the chemical control of *Triozoida limbata* (Enderlein) (Hemiptera: Triozidae) in guava trees (*Psidium guajava* L.) [J]. Pest Management Science, 2017, 73(6): 1148-1153.
- [21] 茹煜,金兰,贾志成,等.无人机静电喷雾系统设计与试验[J].农业工程学报,2015,31(8):42-47.
- [22] 栾华,张青,王稳祥.Z03K000B 静电频谱喷洒系统加改装与飞行试验[J].新疆农垦科技,2006,29(5):46-47.
- [23] 国家林业局.航空静电喷雾设备应用技术规范:LY/T 2685—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [24] 张亚莉,黄鑫荣,王林琳,等.国外农业航空静电喷雾技术研究进展与借鉴[J].农业工程学报,2021,37(6):50-59.
- [25] 胡志超,田立佳,彭宝良,等.变量技术在农业机械上的应用[J].农机化研究,2009,31(4):226-229.
- [26] 吕海杰.变量喷雾技术原理及其在机械化植保中的应用优势[J].农机使用与维修,2021(6):7-8.
- [27] 王震涛,牛浩,唐玉荣,等.果园喷雾机械及技术的现状[J].塔里木大学学报,2019,31(3):83-91.
- [28] 余昭南,胡军,初鑫,等.变量喷雾系统的喷雾控制方式研究现状及展望[J].中国农机化学报,2019,40(9):72-79.
- [29] 徐兴,徐胜,刘永鑫,等.小型无人机机载农药变量喷洒系统设计[J].广东农业科学,2014,41(9):207-210.
- [30] 王大帅,张俊雄,李伟,等.植保无人机动态变量施药系统设计及试验[J].农业机械学报,2017,48(5):86-93.
- [31] 岑振钊,岳学军,王林惠,等.基于神经网络PID的无人机自适应变量喷雾系统的设计与试验[J].华南农业大学学报,2019,40(4):100-108.
- [32] 高锐涛,单建,杨洲,等.植保无人机变量喷雾处方图实时解译系统的设计与试验[J].吉林大学学报(工学版),2020,50(1):361-374.
- [33] NUYTENS D, DE SCHAMPHELEIRE M, BAETENS K, et al. Drift from field crop sprayers using an integrated approach: results of a five-year study [J]. Transactions of the ASABE, 2011, 54(2): 403-408.
- [34] 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.
- [35] 陈晓,刘德江,王果,等.喷雾参数及助剂类型对植保无人飞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.
- [36] 韩鹏,崔宗胤,闫晓静,等.三类喷雾助剂在植保无人飞机精准果树作业模式下对丘陵柑橘雾滴沉积分布的影响[J].农药学学报,2020,22(6):1076-1084.
- [37] 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飞机喷雾飘移性的影响[J].农药学学报,2020,22(2):315-323.
- [38] WANG C L, ZENG A J, HE X K, et al. Spray drift characteristics test of unmanned aerial vehicle spray unit under wind tunnel conditions [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2020, 13(3): 13-21.
- [39] 陈盛德,展义龙,兰玉彬,等.侧向风对航空植保无人机平面扇形喷头雾滴飘移的影响[J].华南农业大学学报,2021,42(4):89-98.
- [40] 石鑫,陈奕璇,杜亚辉,等.环境风速及飞行参数对多旋翼植保无人机雾滴飘移特性的影响[J].植物保护学报,2021,48(3):546-553.
- [41] 鲁文霞,兰玉彬,王国宾,等.环境风速对四旋翼植保无人飞机施雾滴飘移的影响研究[J].农机化研究,2021,43(7):187-193.
- [42] 石鑫.多旋翼植保无人飞机施药飘移规律及对蜜蜂的风险评估研究[D].北京:中国农业科学院,2021.