

# 无人机农业植保应用研究新进展

蒋三生<sup>1</sup>, 郭 辉<sup>1</sup>, 王 尚<sup>2</sup>, 秦雪良<sup>3</sup>

<sup>1</sup>北京农业职业学院, 清河校区, 北京

<sup>2</sup>北京电子科技职业学院, 汽车工程学院, 北京

<sup>3</sup>北京中科浩电科技有限公司, 北京

收稿日期: 2022年10月18日; 录用日期: 2022年11月16日; 发布日期: 2022年11月25日

## 摘 要

植保无人机作为一种新型的现代化智能装备, 在现代农业植保和生产服务领域有着广阔的应用前景。综述了我国无人机在现代农业植保应用研究中的新进展, 主要包括果树飞防、播种、施肥、授粉和农业信息采集等多个领域; 总结了植保无人机面临的相关问题, 并对其未来的发展趋势进行了展望。

## 关键词

无人机, 农业植保, 果树飞防, 撒播, 授粉

# New Progress in the Application of UAV in Agricultural Plant Protection

Sansheng Jiang<sup>1</sup>, Hui Guo<sup>1</sup>, Shang Wang<sup>2</sup>, Xueliang Qing<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Qinghe Campus, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing

<sup>2</sup>School of Automotive Engineering, Beijing Polytechnic, Beijing

<sup>3</sup>Beijing Zhongkehaodian Technology Co., Ltd., Beijing

Received: Oct. 18<sup>th</sup>, 2022; accepted: Nov. 16<sup>th</sup>, 2022; published: Nov. 25<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

As a new modern intelligent equipment, plant protection UAV has a broad application prospect in modern agricultural plant protection and production services. The new progress of UAV in modern agricultural plant protection application research in China was overviewed. Plant protection UAV have been used in many fields, such as fruit tree flying protection, sowing, fertilization, pollination and agricultural information collection. The related problems faced by plant protection UAV were summarized, and its future development trend was prospected.

## Keywords

UAV, Agricultural Plant Protection, Fruit Tree Flying Protection, Sowing, Pollination

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

从广义上来讲,植保无人机是一种用于农、林植物保护或农业生产领域作业的无人驾驶飞机。植保无人机的推广和应用,有效解决了传统农作物植保作业过程中存在的相关问题,不仅能提高植保作业效率,降低作业成本,还能减少农作物病虫害的发生率,增加经济收益。同时,还能通过对农药的科学配比,避免对农药的过度使用,减少土地污染等问题。

使用无人机进行农业植保,日本和美国等发达国家起步较早,产业体系相对成熟。自1987年日本Yamaha公司生产出世界上第一台R-50农用植保无人机,已经历了30多年的发展历程。日本由于国土面积小,耕地面积小且分散,水稻地多,对无人机依赖性大,农用无人机已广泛用于播种、监测、施肥、喷药等作业。美国农业生产则以大农场居多,经营规模大,往往使用载重量更大、续航时间更长、工效比更高的有人飞机进行植保作业,当前美国65%的化学农药采用飞机作业完成喷洒,其中水稻施药作业100%采用航空作业方式。

中国的农用航空始于20世纪50年代初;2010年,无锡汉和生产的3CD-10型单旋翼油动植保无人机首次在全国农机博览会上亮相,开启了中国植保无人机商业化的第一步;2016年后,植保无人机得到大面积推广应用,植保无人机的使用及经营逐渐成熟。相关数据显示[1],截止2020年我国植保无人机保有量约11万台,作业面积累计超过 $6.7 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。

随着市场需求的逐年提升,植保无人机已发展成为一种常见的现代化农业生产和服务型装备。在农业植保应用领域中,无人机已从初期的大田农作物植保飞防发展到了果树飞防、灾情防控、播种、施肥、授粉等农业生产领域,以及结合遥感技术和智慧农业技术的农作物生长环境的信息采集与农情监测等领域。本文综述了无人机在国内农业植保应用研究中的新进展。

## 2. 应用研究新进展

### 2.1. 果树飞防

目前,国内山区、丘陵地带的果树种植区分布较广,由于地形起伏大,传统的果树植保手段存在着作业效率低、作业环境差、农药用量大等问题,一般植保机械难以完成作业任务,而植保无人机在果树领域的应用有着地形适应性强、工作效率高、对土地污染少等优势[2],具备一定的应用前景。

但与禾本科的大田农作物相比,果树不仅植株大、冠层厚,而且生长环境复杂多变,难以参照一般的大田农作物植保经验进行作业;其次,果树种植带视线容易受到遮挡,对于往返作业无人机的操作和安全性要求都更高;此外,植保无人机的生产厂家、机型多样,果树品种多,作物冠层结构差别大,作业模式和参数差别较大。目前,我国植保无人机在果树领域的作业标准和技术规范比较匮乏,植保飞手全凭经验和常规施药器械的作业参数进行田间作业。因此,针对不同环境、不同品种的果树进行植保作业模式和飞行参数的研究具有重要意义。

中国热带农业科学院潘波、王冰洁等人[3] [4]分别研究了植保无人机作业参数对雾滴在荔枝、火龙果冠层的沉积分布和穿透性的影响,得到了最佳施药作业参数,以期实现无人机施药技术在荔枝、火龙果等果树病虫害防控中得到高效应用。山东理工大学刘琪等人[5]为提高植保无人机在果树上的施药效果,实验研究了喷头间距和飞行高度对雾滴沉积分布的影响,并优化出了最佳喷头间距参数,为植保无人机在苹果树上的田间作业提供了科学的数据支撑。国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心陈盛德等人[6]针对风场影响和橘树独特的树冠结构,对植保无人机的作业参数进行了优选,探索橘树无人机喷施作业的应用前景。广西农业科学院王茜等人[7]对人工担架式喷雾和植保无人机喷雾防治柑桔病虫害(以柑桔溃疡病为主)、控夏梢的效果和成本进行对比研究,发现植保无人机喷雾控夏梢可增效 20.3%,使用植保无人机喷雾比担架式喷雾每次平均可节省成本 1838.25 元/hm<sup>2</sup>。南京农业机械化研究所郭祥雨等人[8]针对棕榈树型高大特点和病虫害位置,研究喷头流量、作业高度、飞行速度对棕榈树雾滴沉积、雾滴穿透性、地面流失量的影响程度,优选出植保无人机的作业参数,为棕榈树病虫害飞防作业提供参考。

以果树为作业对象的植保无人机装备研制上,中国农科院植保所以新疆农业植保无人飞机为测试平台,在全国多个柑橘等果树产区进行实地测试,为有效防治柑橘木虱提供了科学的飞防方案,并基于农科院的实验数据对植保系列无人机的“果树作业”模式进行了持续优化。该果树模式匹配了三维场景语义识别系统,采用三维点云切片与三维特征融合技术,能对三维场景中的物体进行个体识别;该系统能在 1 min 内完成约  $1.33 \times 10^4$  hm<sup>2</sup> 地面的全环境识别,识别的果树类型已达到 20 种,果树识别准确率达到了 95%;还能搭载具有树心识别功能的 AI 飞防系统,为离散种植的果树提供定制化的植保解决方案;同时,喷洒模式更强大,能对高树龄、厚冠层的果树进行针对性喷洒;此外,飞行航线能随意编辑,更具人性化。

## 2.2. 农业生产

农业生产指种植农作物的相关生产活动,包括粮食、瓜果、蔬菜和各类经济作物在生长过程中进行的耕种管收等农业生产活动。目前,植保无人机除了在飞防作业方面应用较广外,还能参与播种、撒肥、脱叶剂喷洒和授粉等多个生产环节,植保无人机已从单一的飞防领域发展到了农业生产和研究中的多领域,成为真正意义的“农业无人机”。

### 2.2.1. 播撒

随着播撒机在农业种植中的应用普及,将播撒技术移植到无人机上能够大大提高作业的效率。目前,植保无人机参与程度较高的播撒作业主要有播种(如水稻、油菜籽和草原种子等)、撒肥、棉花脱叶剂喷洒和鱼虾塘饲料播撒等,特别是在水稻生产的各个环节,包括播种、施肥、施药、叶面肥喷洒等作业环节,植保无人机搭在载药肥一体机后能够全面参与农业生产“耕种管收”环节。

近年来,水稻直播栽培技术由于投资小、效率高、操作简单,可适用于任何土质和形状的土地等优点,在我国具有很高的推广和应用价值。据统计[9],我国水稻种植中采用直播作业的面积大约为  $1.51 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>,水稻直播作业的年均市场价值约 34 亿元。因此,基于水稻直播栽培技术的植保无人机播种作业量迅速增加,预计近两年播撒作业将会保持 200% 的增长速度。极飞科技 2019 年上市的一款搭载有智能播撒系统的农业无人机,能一键启动全自主飞行播撒,水稻播种作业效率高达 5.3 hm<sup>2</sup>/h。极飞科技植保服务团队利用该型号无人机在全国多个省份进行播撒作业,结果显示[9],采用直播的水稻发芽率超过 98%,稻苗分布均匀,生长态势良好。

此外,无人机播撒作业在叶面施肥上和棉花脱叶剂喷洒等应用研究上也有涉及。闽西北的建宁县[10],当地建农机专业合作社对杂交水稻制种采用赤霉素进行叶面喷肥,所用粉剂先用酒精溶解后再稀释,在抽穗 10% 时完成首次喷施,隔日在喷洒第二次,作业效果良好。阿克苏地区农业技术推广中心[11]使用

无人机喷施脱叶催熟剂,促进棉花早熟早脱叶和集中吐絮,通过对优选的2种脱叶剂和4种用量配比进行试验分析,确定了脱叶剂和乙烯利的最佳喷药方式和时间。

### 2.2.2. 授粉

授粉是植物结成果实必经的过程,一般通过蜜蜂授粉或者人工授粉进行。蜜蜂授粉非常依赖于天气状况,一旦植物生长的花期短,很容易错过最佳授粉时间;人工授粉一般用在自花不结实、雌雄同株而异花以及雌雄异株的果树生产上,或在缺乏授粉树或花期气候恶劣、影响正常自然授粉的情况下。

传统的人工授粉不仅效率低,而且人力成本高,遇到高度超过四五米的果树,还需要爬梯进行作业,费时费力,若使用喷雾器进行液体授粉时,则喷洒并不均匀,籽实率低。随着人工成本不断增加以及产业健康发展的需要,无人机喷施高效液体授粉技术开始出现。无人机授粉与传统的人工授粉方式相比,具有明显的效率高、成本低等优势,授粉速度快,让农户能够抓住授粉的有效时机,达到最佳效果。无人机授粉的应用,不仅保障了瓜果作物的坐果率及产量,还避免了因人工沾染等传统授粉方式带来的作物病害扩散,减少了农药的使用与残留。

新疆维吾尔自治区在香梨种植方面具有得天独厚的自然资源,香梨已经成为新疆特色林果种植产业[12]。从2018年开始,在新疆巴州库尔勒、巴州库尔楚、阿克苏等地区的香梨种植户采用植保无人机对梨花进行授粉实验和作业,并陆续在库尔勒、阿拉尔、库车等地建立了植保无人机授粉示范基地;塔里木大学、科研机构和企业组成的科研团队也在新疆生产建设兵团第二师开展了“库尔勒香梨高效安全授粉技术与示范”示范项目研究;在新疆南疆等地,针对梨树花期短的难题,蜂机协同作业高效液体授粉技术开始得到推广和应用,据中国农业科学院蜜蜂研究所的统计数据,采用蜂机协同作业高效液体授粉技术不仅提高了授粉的作业效率(在人工的50倍以上),还能实现梨园增产(约500 kg/667 m<sup>2</sup>)。装备研制方面,极飞科技研制的2020款新型植保无人机能够根据地形变化和梨树高度,实时调整飞行高度和飞行参数,能够安全、可靠地完成花粉喷洒作业,用量大约在75 g/hm<sup>2</sup>。

作为中国油茶栽培区的河南省,由于秋季降温比南方油茶中心产区早,花期昆虫活动少,导致油茶自然授粉的坐果率低下,通过辅助授粉改善油茶花自然授粉不足是解决这一难题的有效途径[13]。为此,河南省林科院植保服务团队自2019年起在光山县、新县等油茶集中种植区开展无人机油茶授粉技术服务,每天作业面积约40 hm<sup>2</sup>,年均完成约333.33 hm<sup>2</sup>,油茶树的坐果率能提高到12.9%~39.6%,平均为22.3%。

闽西北的建宁县是以杂交水稻制种为特色的农业大县[10],2018年开始使用无人机对制种水稻进行授粉作业实验,试验采用植保无人机螺旋桨扫风替代人工拉绳授粉,选择父本抽穗扬花的高峰期作业,效果良好。

## 2.3. 农业信息采集

基于现代农业和智慧农业的发展背景[14],将无人驾驶、遥控、遥测、无线通讯、GPS定位和传感器技术融为一体的无人机遥感技术,能够实时、快捷、高效地获取地表农作物的空间遥感信息。通过无人机搭载的摄像机、传感器等设备对农作物、农田等进行扫描、拍摄和采集等,完成对农作物、农田地块等特征测量和信息采集,从而实现农情监测和农业生产的现代化、信息化。该技术领域的应用前景广阔,可以用来评估大范围地区的农作物类型、长势和产量等,为卫星影像监测不到的作物信息空间抽样提供数据,替代传统人工采集农情信息时的片面性、低效性和主观性,实现全面、准确、高效和客观的农情监测。

张帅[15]设计的适用于精细化农情监测的无人机低空遥感系统,可实时对作业采集数据进行定性、定量判定,并能在短时间内完成测区影像的拼接以及前期数据预处理,能完成农作物种植面积统计、作物倒伏监测、作物倒伏监测和作物估产等农田信息采集与处理任务;李灏等人[16]对物联网无人机农业病害



信息采集和监测可行性进行了实验分析,通过无人机飞行拍摄农业小麦冠层图像,研究图像里面的小麦冠层反射率、红波段、绿波段等的病害指数相互之间的联系,通过运用集中反射率建立条锈病病害指数反演模型;花良浩等人[17]针对农田中农作物的生长状况和受灾情况进行监测,并能够第一时间通知相关人员进行处理,科学地对农作物进行管理;张云程[18]利用无人机对山杏种质信息数据进行采集,对种质资源库中心点位置和明显标志进行航摄,通过飞行参数和相机参数优化,提高刺点效率和成图精度,减少了调查工期、工作量和成本;在水稻生长过程中,水稻冠层对光的反射率的大小受叶绿素水平和氮素含量等的影响[19],有学者通过无人机遥感方法获取水稻分蘖期冠层的高光谱图像,再通过深度算法得到水稻氮素、叶绿素的相对含量,并建立了决策模型确定水稻关键追肥节点的追施量,在不影响产能的条件下能减少约30%氮肥追施量。

此外,无人机遥感在土壤水分监测方面也有一定的研究和应用。土壤含水量对地面和大气层之间水气及热量的传输和平衡方面有着重要影响,是现代农业节水研究的重要参数和研究热点。利用微波遥感和近、远红外遥感等技术监测土壤水分,通过土壤成像的对比和分析,计算出土壤的湿度及其相关系数。通过对土壤水分的定期监测及其对农作物生长趋势的系统评估,不仅能精准监测农作物的需水量,从而采取合理的节水灌溉方式,还能全面监测洪涝灾害等农情。

### 3. 主要问题及解决办法

无人机在农业植保领域的普及和应用现状,目前主要存在以下几个方面的问题需要得到重视和解决。

#### 3.1. 安全问题

植保无人机飞防作业时具有一定的飞行高度,药液易飘移[20]、易蒸发,因此浓度较高。很多无人机操作手只接受过短期的操作培训,缺乏农业从业背景和植保专业技术知识,作业时很容易造成药液多喷、乱喷的现象,造成了作业安全性问题频发的现状。因此,需要政府和企业对无人机飞手的安全用药进行专业指导和培训,既要培养他们成为操作能手,还要成为农作物病虫害防治的行家[21]。此外,无人机操作不当、安全意识不足,还会引起人身伤害现象,如何降低无人机作业的故障率,如何加强对专业飞手的安全培训和检查,也需要进一步思考和完善。针对该问题,则需要政府部门对无人机驾驶员培训机构进行有力监督,并严把考核关,切实保障无人机驾驶员的专业技能水平。

#### 3.2. 空域问题

植保无人机的作业关系到军方、民航、农业农村局、公安局和植保服务单位等多方的相互协作,由于缺少统筹的发展战略规划,以及农业航空政策法规不完善,监管部门职责不清晰等问题,植保无人机农业作业申报空域流程比较繁琐,不仅增加了农业作业的成本,还可能耽误最佳作业时间,甚至导致取消作业任务。希望政府相关部门和行业协会加强对无人机参与农业生产的总体支持,联合出台旨在促进航空植保行业快速发展的空域开放政策和相关措施。

#### 3.3. 装备问题

目前,我国用于植保的无人机多还存在低空飞行稳定性欠缺、续航时间短、载重量小及操控水平要求高等问题。无人机在低空飞行时,地面复杂的作物冠层结构会对无人机的压力高度产生影响,造成飞行高度的误差,难以保证飞行的稳定性;在各种复杂的农田环境下,植保无人机的适应能力差,很难自动辨别出不同高度、不同位置 and 不同种类的农作物,缺乏高稳定性、高可靠性的自主飞行控制系统;此外,无人机的续航能力、锂电池寿命、防尘防水能力也已经成为产品竞争的重要指标。上述装备性能问题,需要鼓励国家科研院所与企业深度合作,共同参与项目研发,在企业资金和国家科研基金的双重

支持下, 攻坚克难, 并做好知识产权的保护和效益转化。

#### 4. 总结和展望

随着农业现代化进程加快, 无人机农业植保市场整体处于一个发展和上升阶段, 植保无人机在果树飞防、播种、撒肥、授粉和农情信息采集分析等新应用领域发展迅速。针对不同果树的飞防作业模式和作业参数进行应用研究是一个热点方向, 农业航空植保将成为中国农业植保的重要手段和保障国家粮食安全的新举措。植保无人机的高水平发展, 将成为我国现代智慧农业建设和发展的重要助力, 推动航空植保操控智能化、作业精准化和功能全面化, 是植保无人机发展的必然趋势。

此外, 随着现代农业中无人机遥感技术的发展和成熟, 利用机载的高光谱相机或传感器等设备对农田地块的平整度、农作物的生长态势等信息进行实时监测, 并依据监测数据算出农作物的生长需求完全可以实现; 通过无人机的“精准把脉”, 得到农田及农作物的“处方图”, 从而“对症下药”, 科学计算出农作物在不同生长周期所需的水、肥、药的用量, 推动我国农业向生产减肥、保护减药发展; 预计不久的将来, 我国农业将大规模实现培育科学化、作业精准化和生产自动化, 真正实现智慧农业的发展格局。

#### 项目基金

北京农业职业学院科技创新项目(项目编号 XY-YF-22-08)。

#### 参考文献

- [1] 程忠义. 植保无人机将继续深刻改变国内农业格局[J]. 营销界, 2021(Z1): 72-77.
- [2] 马放. 植保无人机在农作物病虫害防治中的运用研究[J]. 农业工程技术, 2021, 41(27): 41-42+44.
- [3] 潘波, 姜蕾, 王冰洁, 等. 飞行参数对六旋翼植保无人机雾滴在荔枝树冠层沉积分布的影响[J]. 热带作物学报, 2021, 42(1): 213-219.
- [4] 王冰洁, 潘波, 姜蕾, 等. 植保无人机作业参数对雾滴在火龙果树冠层沉积分布的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(10): 101-109.
- [5] 刘琪, 兰玉彬, 单常峰, 等. 航空植保喷施参数对苹果树雾滴沉积特性影响[J]. 农机化研究, 2020, 42(9): 173-180.
- [6] 陈盛德, 兰玉彬, 周志艳, 等. 小型植保无人机喷雾参数对橘树冠层雾滴沉积分布的影响[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(5): 97-102.
- [7] 王茜, 陈香玲, 廖惠红, 等. 柑桔夏梢期病虫害防治采用植保无人机施药的效果和效益[J]. 中国南方果树, 2020, 49(4): 16-19.
- [8] 郭祥雨, 薛新宇, 秦维彩, 等. 植保无人机作业参数对棕榈树雾滴沉积的影响[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(6): 35-40.
- [9] 夏木. 无人机播撒与传统播种有何不同[J]. 农机市场, 2021(4): 30-31.
- [10] 段士杰. 植保无人机在杂交水稻制种上的应用[J]. 福建农机, 2021(3): 16-18+47.
- [11] 阿布都艾尼·阿布都维力, 艾麦尔江·阿布力提甫, 马辉, 等. 无人机喷施脱叶催熟剂改良优化试验[J]. 现代农村科技, 2022(10): 72-73.
- [12] 郭梦, 张传辉. 植保无人机授粉技术在库尔勒香梨中的应用[J]. 现代农业科技, 2021(5): 89-91.
- [13] 欧阳曦. 让农业种植更智慧更高效 河南无人机的油茶授粉[J]. 乡村科技, 2020, 11(33): 2.
- [14] 汤继发. 植保无人机在现代智慧农业建设中的应用研究[J]. 农业工程技术, 2021, 41(21): 53-54+57.
- [15] 张帅. 基于无人机低空遥感的农田信息采集与处理研究[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(13): 149-151.
- [16] 李灏, 卢佳祁. 基于物联网的无人机作业信息采集与监测[J]. 移动信息, 2017(10): 95-96.
- [17] 花良浩, 李丹丹, 黄呈宇, 等. 基于小型智能无人机低空遥感技术的农田信息采集的研究[J]. 南方农机, 2022, 53(2): 69-71.

- [18] 张云程. 无人机航摄成图技术在山杏种质信息采集上的应用[J]. 林业勘查设计, 2021, 50(6): 80-82+86.
- [19] 张黎黎. 无人机技术在水稻生产中的应用[J]. 新农业, 2021(18): 37.
- [20] 陆显斌. 植保无人机飞防作业应用特点与存在问题分析[J]. 农机使用与维修, 2021(2): 25-26.
- [21] 凌德斌. 植保无人机推广应用与发展分析[J]. 农业工程技术, 2021, 41(27): 38-40.