

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.
LAN Yubin, CHEN Shengde, DENG Jizhong, et al. Development situation and problem analysis of plant protection unmanned aerial vehicle in China[J]. Journal of South China Agricultural University, 2019, 40(5): 217-225.

中国植保无人机发展形势及问题分析

兰玉彬^{1,2}, 陈盛德^{1,3}, 邓继忠^{1,3}, 周志艳^{1,3}, 欧阳帆^{1,3}

(1 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心, 广东 广州 510642; 2 华南农业大学 电子工程学院, 广东 广州 510642; 3 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642)

摘要: 植保无人机作为我国农业航空产业的重要组成之一, 近年来的迅猛发展和应用引起了人们广泛的关注。为全面、深入地了解中国植保无人机的发展形势及存在的问题, 农业农村部农机化司委托华南农业大学国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心统计和撰写了“2016 年我国农用植保无人飞机发展形势分析与政策建议”的报告。在此报告的基础上, 本文对我国植保无人机的类型、生产企业及保有量分布情况进行了统计和分析, 比较全面地展示了中国植保无人机行业的发展状况, 总结和提出了目前植保无人机行业发展中在关键施药技术研究、相关标准制订以及监督管理这 3 个方面存在的主要问题及建议, 并对植保无人机的市场前景、关键技术和作业服务模式的发展趋势进行了预测, 以期国内科研机构和企业进行科学研究及应用提供参考, 加快我国植保无人机产业的发展进程, 促进和推动我国植保无人机产业的健康快速发展。

关键词: 农业航空; 植保无人机; 发展形势; 精准施药
中图分类号: S25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2019)05-0217-09

Development situation and problem analysis of plant protection unmanned aerial vehicle in China

LAN Yubin^{1,2}, CHEN Shengde^{1,3}, DENG Jizhong^{1,3}, ZHOU Zhiyan^{1,3}, OUYANG Fan^{1,3}

(1 National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticides Spraying Technology, Guangzhou 510642, China; 2 College of Electronic Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) was an important component in China agricultural aviation industry, its rapid development and application in recent years attracted extensive attention. In order to thoroughly and deeply understand the current development situation and problems of plant protection UAV in China, the Department of Agricultural Mechanization Management of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs commissioned National Center for International Collaboration Research on Precision Agricultural Aviation Pesticides Spraying Technology of South China Agricultural University to perform a survey and generate a report of “Analysis of the Development Situation and Policy Suggestion for Agricultural Plant Protection UAV in China in 2016”. Based on this report, this paper performs statistical analyses on the type distribution, enterprises distribution and ownership distribution of plant protection UAV in China. The overall situation of plant protection UAV in China is presented. The main problems and suggestions related to the research of key pesticide spraying

technology, the establishment of relevant standard and the management of supervision in the development of plant protection UAV industry are summarized and put forward. And the development trend of market prospect, key technologies and operation service mode of plant protection UAV are forecasted. It is expected to provide references for scientific research and application of domestic scientific research institutions and enterprises, which can promote and encourage the development process of plant protection UAV industry in China.

Key words: agricultural aviation; plant protection unmanned aerial vehicle; development situation; precision spraying

化学防治病虫害是重要的农业生产技术，同时也是最有效的防治手段^[1]。合理喷施化学农药有助于提高生产效率和质量，在病虫害防控和保证国家粮食生产安全中发挥着极其重要的作用。但是在我国普遍存在着农药的“粗放式”喷洒，据统计，我国每年使用 130 万 t 农药制剂，单位面积的农药用量是世界平均水平的 2.5 倍^[2]。农药的过量使用不仅带来了严重的水资源污染、农产品品质下降以及生态系统失衡等问题，还造成了经济上的巨大损失，威胁食品和生命安全。

目前，我国农业生产过程中的植保作业仍以手工及半机械化操作为主^[3]，不仅效率低下，无法解决农村劳动力短缺和农业规模化种植的问题，而且对农民人身安全也带来了极大的危害，同时，低下的农药利用率造成了农药的过量使用，使大量农药流失到土壤和空气中^[4]。据调查，目前我国植保作业使用的植保机械以手动喷雾器和小型机（电）动喷雾器为主，其中手动施药器械、背负式机动器械和拖拉机悬挂式植保机械分别占国内植保器械保有量的 93.07%、5.53% 和 0.57%^[3]。我国目前植保行业的水平仅相当于发达国家 20 世纪 50 年代的水平，植保已成为农业种植与田间管理机械化中最薄弱的环节^[5]，植保机械是当前中国农业机械化的一大短板，因此，我国亟需建立更加高效的具有新型现代化植保器械参与的植保体系。

近年来，我国农业航空产业发展迅速，特别是农业航空重要组成之一的植保无人机的迅猛发展和应用引起了人们的广泛关注^[6-7]。植保无人机航空施药作业作为国内新型植保作业方式，与传统的人工施药和地面机械施药方法相比，具有作业效率高、成本低、农药利用率高的特点，可有效解决高秆作物、水田和丘陵山地人工和地面机械作业难以下地等问题，是应对大面积突发性病虫害防治，缓解由于城镇化发展带来的农村劳动力不足，减少农药对操作人员的伤害等问题的有效方式^[8-10]。与有人驾驶固定翼飞机和直升机相比，植保无人机具有机动灵活、无需专用的起降机场的优势，特别适用于

我国田块小、田块分散的地域和民居稠密的农业区域^[11]；且植保无人机采用低空低量喷施方式，旋翼产生的向下气流有助于增加雾滴对作物的穿透性，防治效果相比人工与机械喷施方式提高了 15%~35%^[12]。因此，植保无人机航空喷施已成为减少农药用量、降低农药残留和提升农药防效的新型有力手段^[13]。

另外，随着国内土地流转率的进一步提升，农业规模化生产成为一种趋势，迫切需要规模化、机械化的新型植保方式^[14]；且农业部通过化肥农药减施行动方案，提出了到 2020 年化肥农药使用量实现零增长的计划目标。因此，采用超低容量施药方式的植保无人机有着巨大的发展空间，据估计，未来我国植保无人机市场年总服务产值将达到数百亿元^[15-16]。在巨大的市场需求驱动下，近年来我国农用植保无人机生产企业急剧增加，植保无人机及其施药技术得以快速发展。为全面、深入地了解中国植保无人机及其施药技术的发展现状及存在问题，2016 年 9 月，农业部农机化司委托华南农业大学国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心统计和撰写了《2016 年我国农用植保无人飞机发展形势分析与政策建议》的报告^[17]。在依据此报告的基础上，本文对我国植保无人机保有量及发展区域分布、作业情况进行了统计和分析，对植保无人机施药技术的发展现状进行了概述和总结，指出了植保无人机施药技术未来的发展方向，以期为国内科研机构和企业的应用提供科学参考，加快我国植保无人机产业的发展进程，促进和推动我国植保无人机产业健康快速地发展。

1 中国植保无人机发展形势

1.1 主要的植保无人机类型

目前，国内用于植保作业的无人机产品型号、品牌众多，从升力部件类型来分，主要有单旋翼植保无人机和多旋翼植保无人机等类型；从动力部件类型来分，主要有电动植保无人机和油动植保无人机等类型；从起降类型来分，主要有垂直起降型和

非垂直起降型。其中, 非垂直起降型无人飞机的飞行速度快、无法定点悬停, 现有技术条件下不能满足植保作业要求, 常用来进行遥感航拍等作业。因此目前市场上常见的植保无人机机型主要是单旋

翼和多旋翼的垂直起降型无人机, 包括油动单旋翼植保无人机、电动单旋翼植保无人机和电动多旋翼植保无人机等 3 种类型, 如图 1 所示。



图 1 植保无人机类型

Fig. 1 Types of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV)

各种类型的植保无人机的空机质量为 10~50 kg, 作业高度 1.5~5.0 m, 作业速度小于 8 m/s, 植保作业效率可达 0.067~0.134 hm²/min, 日作业能力在 20~40 hm²。单旋翼植保无人机 (电动机型与油动机型) 药箱载荷多为 12~20 L, 部分油动机型载荷可达 30 L 以上; 目前, 已有企业研制了载荷 70 L 的机型, 但未进入规模应用阶段。多旋翼植保无人机以电池为动力, 较单旋翼无人机载荷少, 载荷范围多为 5~15 L, 且其自动化程度高, 主流企业已实现了航线自动规划、一键起飞、全自主飞行、RTK 差分定位、断点续喷等功能; 部分电动机型还具备了仿地飞行 (地形跟随)、自主避障、夜间飞行、一控多机等功能。油动机型自动化程度较电动机型略低, 日常作业中已实现一键启动、半自主飞行 (如 A-B 点作业)、定高定速等功能。表 1 为植保无人机电动机型和油动机型的优缺点比较, 表 2 为植保无人机单旋翼机型和多旋翼机型的优缺点比较。

从表 1 和表 2 总体来看, 电动机型和油动机型、单旋翼机型和多旋翼机型各有优缺点。多旋翼植保无人机机型以电池为动力, 由于其技术门槛低, 结构和技术相对简单^[18], 企业容易掌握其生产技术、工艺技术和控制系统技术, 因此绝大多数植保无人机企业都有生产销售。同时, 由于电动多旋翼植保无人机易于实现智能化控制, 可靠性较高, 操控容易, 培训周期短, 对驾驶员的操作水平要求低, 且其销售价格较低 (一般 5~10 万元, 甚至更低), 农户容易承受, 占有市场的份额相对较大。油动植保无人机的机型以单旋翼结构为主, 其结构和控制系统较为复杂, 技术门槛高, 一些小企业难以掌握其生产技术和控制技术, 所以国内生产销售油动单旋翼植保无人飞机的企业不多, 只有几家企业在生产销售。且油动单旋翼植保无人机的控制难度大, 不易掌握, 危险性高, 对驾驶员的操作水平要求高, 需要长时间的操控培训, 因此成本较高, 导致售

表 1 植保无人机电动机型和油动机型的优劣比较

Table 1 Comparisons of advantages and disadvantages between electric and oil-powered plant protection unmanned aerial vehicle (UAV)

机型 Type	优势 Advantage	劣势 Disadvantage
电动植保无人机 Electric plant protection UAV	环保, 无废气, 不造成农田污染; 结构简单, 轻便灵活, 易于操作和维护, 普及程度高, 售价低, 易于用户接受; 电机寿命长	载荷较油动机型小, 载荷范围 5~15 L; 航时短, 单架次作业面积小; 采用锂电池作为动力源, 场外需配置发电机或多块电池;
油动植保无人机 Oil-powered plant protection UAV	载荷大, 载荷范围可达 15~20 L; 航时长, 单架次作业范围大; 下洗风场大, 药液穿透性较好; 抗风性能较好	不环保, 废气和废油易造成农田污染; 售价高, 个体用户难以接受; 结构复杂, 整体维护困难, 故障率较高; 操控难度大, 操控水平要求高; 寿命较短, 发动机易磨损

表 2 植保无人机单旋翼机型和多旋翼机型的优劣比较

Table 2 Comparisons of advantages and disadvantages between single-rotor and multi-rotor plant protection unmanned aerial vehicle (UAV)

机型 Type	优势 Advantage	劣势 Disadvantage
单旋翼植保无人机 Single-rotor plant protection UAV	抗风能力好；下洗风场大、风场稳定、穿透力强，喷雾作业效果好	结构较为复杂，价格较高；操控难度较多旋翼机型大，对飞行员的操作水平要求较高
多旋翼植保无人机 Multi-rotor plant protection UAV	成本小，价格低；振动小，飞行稳定性好；结构简单，易维护；自动化程度高，容易操控，对操控员要求较低；场地适应能力强，轻便灵活。	抗风能力弱；载质量小；下洗风场小、紊乱，穿透力弱，喷雾作业效果略差

价较高 (一般需要 20~30 万元, 甚至更高), 市场占有率相对较少。据统计, 我国植保无人机机型约 233 种, 其中单旋翼机型 64 种, 约占 27.5%, 多旋翼机型 168 种, 约占 78.1%, 固定翼机型 1 种, 约占 0.4%(图 2a); 油动力约占 19.7%, 电池动力约占

80.3%(图 2b)^[19]。上述数据表明, 当前中国植保无人机以电池为动力的多旋翼机型为主。由于电动多旋翼无人机在操作、维护和培训等方面具有显著优势, 预计未来几年内, 中国植保无人机仍将以电动多旋翼植保无人机为主。

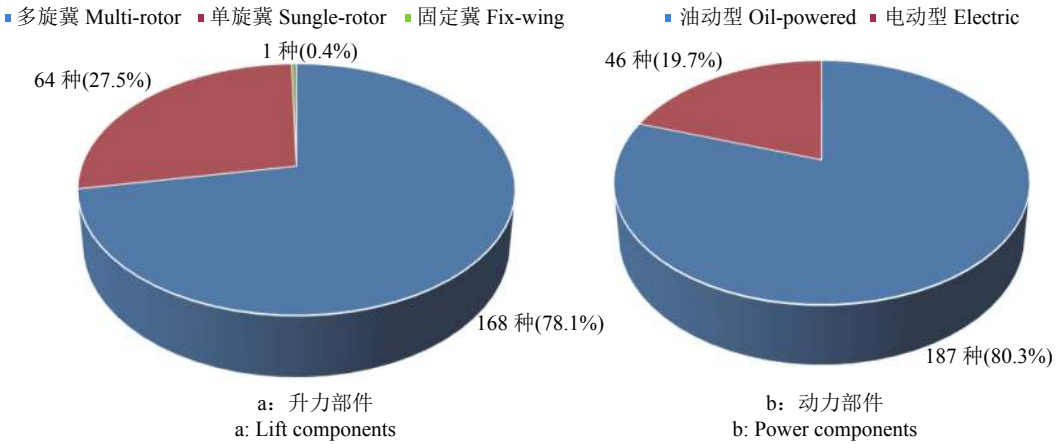


图 2 植保无人机升力部件和动力部件类型分布

Fig. 2 Type distributions of lift and power components of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV)

1.2 中国植保无人机企业发展状况

据不完全统计, 目前国内共有植保无人机生产企业约 200 多家, 绝大多数为中小型企业, 技术力量和研发水平较低。这些企业较多由原来的航模生产企业发展而来, 其中, 一部分是由原农药生产企业、或农资公司涉足植保无人飞机领域发展而来, 一部分企业是由和无人飞机有关的军工企业发展而成, 也有部分是新成立的高科技公司。

图 3 为通过调研以及国家工商管理系统查寻到的生产植保无人机的部分企业分布。从图 3 可以看出, 全国各省市植保无人机企业分布差异较大。广东省分布的植保无人机企业数量最多, 达 36 家, 约占全国植保无人机企业数量的 30% 左右, 这一现象很大程度上是受益于广东发达的电子消费行业产业链以及植保无人机龙头企业 (如深圳市大疆创新科技有限公司、广州极飞科技有限公司等) 的积

极带动。另外, 山东、江苏和河南等农业大省的植保无人机生产企业数量也较多, 分别为 24、13 和 11 家, 出现这一现象的主要原因是当地政府给予了相应补贴, 极大地促进了植保无人机的应用市场消费。早在 2014 年, 河南省财政就列出专项资金给予植保无人机购机补贴, 农民或合作组织购置植保无人机将享受到 1/3 省财政专项资金补贴和 1/3 农机购置补贴; 江苏省在 2014 年也给予了农户购买植保无人机进行飞防作业最高可获得无人机售价总额的 50% 补贴。其他部分省份分布的植保无人机企业数量较少, 但作业量需求较大, 如地处我国西北地区的新疆维吾尔自治区和我国东北地区的东三省, 由于这些地方的地理和气候原因, 很多植保无人机企业只是在作物作业季节才派遣作业小队和植保无人机前往作业, 因此, 这部分省份所分布的植保无人机企业并不多。



图 3 全国部分省市植保无人机企业分布

Fig. 3 Distributions of enterprises related to plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) in various provinces in China

1.3 植保无人机保有量

根据调查统计,截止 2016 年 6 月 30 日,全国实际田间作业植保无人机拥有量为 4 262 架,其中,以电动多旋翼植保无人机为主,无人机的载药量为 5~30 L,购机者多为种植合作社、农机服务组织和专业化的飞防组织。

图 4 为全国各省植保无人机保有量分布图。由图 4 可以看出,全国各省市植保无人机保有量差异较大,农业大省河南省植保无人机数量最多,达 720 架,占全国无人机保有量的 16.89%。其他几个

农业大省如河北、辽宁、江苏、安徽、福建、山东和湖南省以及新疆维吾尔自治区的农用植保无人机达 200 架以上,共有 2 406 架,占全国农用植保无人机保有量的 56.45%^[20]。新疆农作物种类多,单个作物种植面积大,适合植保无人机作业,吸引了全国各个植保无人机企业纷纷在新疆地区设立作业队进行应用和推广,因此新疆地区的植保无人机保有量也较高。广东省拥有全国最多的植保无人机生产企业,但本省范围内植保无人机的推广使用数量却不是最多,这与当地的作物特点和支持政策相关。

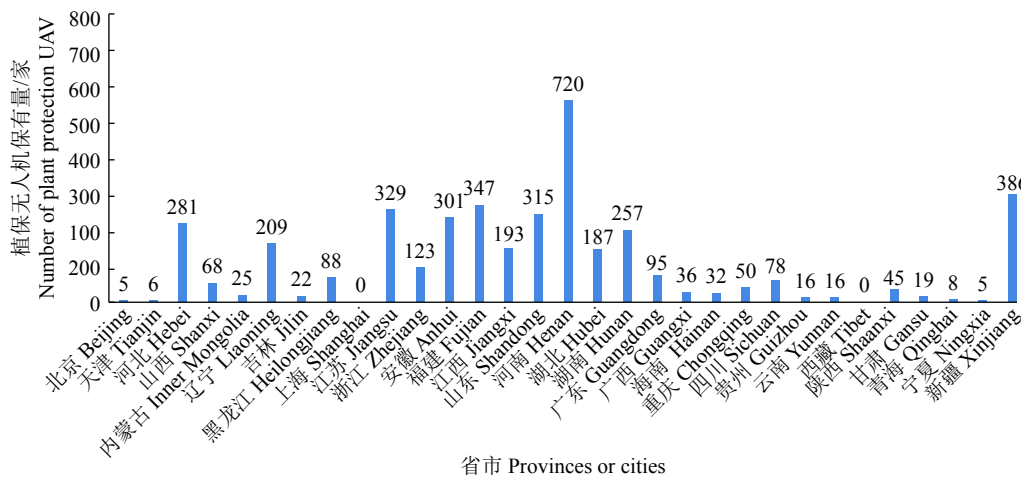


图 4 全国各省市植保无人机保有量分布

Fig. 4 Ownership distributions of plant protection unmanned aerial vehicle (UAV) in various provinces in China

2 存在问题及建议

2.1 植保无人机施药技术研究滞后

2.1.1 植保无人机精准施药基础研究有待深入 植保无人机精准施药基础研究是开展航空喷施作业

的前提。目前国内对各种类型的植保无人机在喷药过程中的基础研究才刚刚起步,主要集中在以下 2 个方面:一是雾滴沉积规律及各因素影响的模型研究,通过空气动力学或喷施试验结果建立飞机喷雾的雾滴分布数学模型,运用模型分析雾滴沉降规

律,研究飞行速度、飞行高度、风速、风向、雾滴粒径等因素对雾滴沉积与飘移的影响;二是基于农情信息的精准施药控制技术研究,即在航空喷雾作业时,通过航空遥感技术获取不同作业区域的作物长势、病虫害等农情信息,生成处方图并确定不同区域航空喷施所需的农药制剂及施用量,通过变量控制技术实现植保无人机的精准施药。现阶段我国植保行业在上述领域的研究仍处于探索阶段,为掌握植保无人机航空喷施雾滴沉积与飘移规律,实现对农作物的精准施药,需对植保无人机精准施药基础理论和技术开展深入研究。

2.1.2 缺乏高性能的植保无人机喷施关键部件 植保无人机所采用的喷雾方式为低容量或超低容量的高浓度喷雾,其施药装备具有特殊性。目前,国内大多数植保无人机的航空喷雾设备均是借用常规喷雾设备或由其改装而来,缺乏专门针对植保无人机设计的高效轻量化喷施关键部件。现阶段我国植保无人机普遍使用的喷施设备还存在较多的缺陷,具体表现为:配套的隔膜泵压力小且寿命短;采用的喷嘴存在雾滴谱宽、飘移量大、对靶性差、雾化效果不可控、易堵塞等不足,难以充分彰显农业航空植保技术的优势。因此,亟需研发高精度、可靠性好的植保无人机喷施关键部件,提高喷施作业效率和作业效果。

2.1.3 缺乏植保无人机施药作业规范 目前,植保无人机已被广泛用于对农作物进行病虫草害防治,但由于我国作物种类和病虫草害类别繁多,植保无人机机型和药剂类型多样,且作业环境复杂多变,因此,针对不同作物和病虫害,如何选择合适的施药方法已成为植保作业过程中的难题。现阶段无人机植保作业大多凭经验或参考地面喷雾确定剂量和配置方法,但无人机植保作业要求与地面机械施药有很大的不同,往往因为配置或方法不科学影响作业质量,也容易对环境造成较大的负面影响。目前我国还缺乏与航空植保作业中采用植保无人机配套的施药作业技术规范,因此,建立植保无人机施药作业规范,在对不同作物、不同药剂类型进行喷施作业时可提供决策参考,以达到最佳的喷施作业效果。

2.1.4 缺乏适用于植保无人机低容量喷雾专用药剂和助剂 植保无人机采用低容量或超低容量喷雾,一般作物每 0.067 hm² 药液的用量为 500~1 000 mL,仅为人工作业的 1/60~1/30,药液的浓度很高,容易

对作物产生药害,因此需要采用专用超低容量液剂,而且液剂须具备抗蒸发、防飘移、沉积性能好和安全性高的特点。目前国内真正专门用于植保无人机施药的农药制剂、助剂还没有登记生产,仍属于空白,因此行业内急需适用于植保无人机超低容量喷雾的专用药剂和助剂,才能充分发挥植保无人机对农作物病虫害的防治优势。

2.2 植保无人机相关标准缺失

与植保无人机行业的火爆形成鲜明对比的是相关标准的极度缺失。目前在民用无人机领域(含植保无人机)还没有国家标准,现有的民用无人机其他标准(如行业标准、地方标准、团体标准等)大多无法适用于航空植保领域。目前国内已有科研院所、行业联盟等组织正在进行植保无人机有关标准制定的工作,如《农用遥控飞行植保机安全技术要求》(农业部农业行业标准农机化分标委立项,农业部南京农业机械化研究所负责承担)、《无人驾驶航空器系统作业技术规范》(空管委正在制定的民航行业标准,由民航二所承担标准起草任务)。起草的团体标准有《微轻型单旋翼农用植保无人机技术条件》(由华南农业大学起草)、《微轻型多旋翼农用植保无人机技术条件》(由华南农业大学起草)、《农用无人驾驶航空器作业质量标准——喷洒作业》(由华南农业大学起草)、《多轴农用植保无人机系统》(由中国无人机产业联盟起草)等,但受各种因素限制,上述标准尚未颁布。显然,相对于民用无人机行业的快速发展,现有的民用无人机标准无疑是杯水车薪,伴随着植保无人机产业的快速发展,面对各个方面的需求和要求,植保无人机的标准制定工作应成为当前无人机产业的一个焦点。

2.3 植保无人机监督管理不足

2.3.1 亟待加强植保无人机企业市场准入机制 早期无人机创业者和从业人员多是航模爱好者和中小投资者,很多企业不具备无人机研制的基本条件和规模,产品多采用抄袭仿制机架、外购发动机和飞控方式生产样机。企业缺乏自己的核心技术,样机也没有经过真正的应用测试,功能上不符合植保作业的要求且可靠性不高。质量不佳的植保无人机带来了诸多飞行隐患,也对整个行业带来风险。目前,针对植保无人机企业市场的监管措施和行业标准尚未出台。为规范民用无人机制造业市场竞争秩序,侧面引导行业基本资源与能力需求,引导资

源配置、技术研究与管理水平的发展方向, 促进国内民用无人飞机产业的健康快速发展, 须尽快制定并完善植保无人机市场准入机制, 并严格监管标准的实际执行情况, 使得植保无人机能尽早建立起一个健康有序的良性市场。

2.3.2 适当放宽植保无人机的空域管理 《民用无人飞机空中交通管理办法 (MD-TM-2009-002)》^[21]指出: 组织实施民用无人飞机活动的单位和个人应当按照《通用航空飞行管制条例》(2003 年) 等规定申请划设和使用空域, 接受飞行活动管理和空中交通服务, 保证飞行安全。2014 年 7 月, 低空空域改革在空域管理方面获得进展——《低空空域使用管理规定 (试行)》(征求意见稿)^[22] 出台, 该管理规定主要针对民用无人飞机, 包括无人飞机的飞行计划如何申报, 申报应具备哪些条件, 以及在哪些空域里可以飞行。目前在国家层面上对植保无人机的空域管理仍处于模糊地带, 从控制风险的角度来看, 农田一般远离市区, 地广人稀, 视野较开阔, 完全可以符合监管部门要求的飞行距离不能过高, 不能造成交通事故以及需在操作者视野范围之内的安全性要求。此外, 由于农作物病虫害的发生具有突发性和难以准确预报的特点, 对于农药喷洒来说, 每次飞行喷施及时申报飞行计划难以实现。因此, 将民用无人驾驶航空器系统的空域管理办法直接移植到植保无人飞机的管理上来, 不利于整个行业的发展, 建议政府相关管理部门适当放宽植保无人机的空域管理, 促进植保无人机的行业发展和应用。

3 植保无人机未来发展趋势分析

3.1 市场前景

根据全国农技中心的数据, 目前, 我国各种新型农业主体快速发展, 家庭农场有 87 万个, 各种农场经营合作社达到 121 万个, 全国农村承包 3.34 hm² 以上大户达到 287 万家, 家庭农场平均面积达到 13.34 hm², 有 800 多个县市、12 000 余个乡镇建立土地承包经营权流转服务中心。据中国农机流通协会的调查显示, 农机合作组织、种粮大户、家庭农场、农民合作社在消费主体中的比重正以 15% 的年均增长速度快速增长。新型农业主体的崛起, 土地高流转率及新形势下农资市场的一系列变革, 都在为植保无人机的产业发展和植保作业的推广应用提供有利条件, 未来的无人机植保服务市场空间也将十分巨大。若 1.20 亿 hm² 耕地的四分之一采用

植保无人机作业, 平均每 0.067 hm² 每年喷洒农药 3 次, 每 0.067 hm² 收费按 15 元计, 则年植保服务费约为 200 亿元。因此, 国内土地流转的持续进行和巨大的植保服务市场, 将对植保无人机产业的发展提供有力的支撑, 未来的植保无人机市场前景十分广阔。

3.2 植保无人机技术发展趋势

植保无人机的飞速发展和巨大市场吸引了越来越多的企业纷纷参与到航空植保领域, 整个植保无人机行业出现蓬勃发展态势。随着现代城镇化发展导致的农村劳动力缺失, 人口老龄化的加快以及人们对生态环境和食品安全的高要求, 预计未来植保无人机技术将在如下几个方面得到发展:

1) 操控智能化。植保无人机操作复杂, 尤其是单旋翼植保无人机, 对操作人员的操作能力要求更高。随着植保无人机技术的不断发展, 无人机操控系统会越来越智能化, 例如: 一键起飞、一键降落、一键返航以及暂停等功能将成为标配, 用户不需要进行特殊训练, 就能很快学会如何操控。

2) 作业精准化。植保无人机作业效果是最终影响其应用推广的主要因素之一, 因此要求植保无人机能实现定高定速、仿地形飞行、轨迹记录、断点记忆、自动避障、自动返航、电子围栏等功能, 既可以实现精准高效作业, 又降低了操作人员的劳动强度。

3) 功能更优化。目前影响植保无人机作业效率的因素之一是载荷量较小、续航时间较短, 作业过程中需频繁更换电池及药液, 因此需要进一步提高载荷量和续航时间, 使得植保无人机的时间利用率进一步提高。

4) 喷施装备优化。影响航空作业效果的主要参数包括作业压力、喷雾量、雾滴粒径、雾滴分布性能等, 因此研发与优化雾滴谱窄、低飘移的专用航空压力雾化系列喷嘴, 防药液浪涌且空气阻力小的异形流线型药箱, 轻型、高强度喷杆喷雾系统和小体积、轻质量、自吸力强、运转平稳可靠的航空施药系列化轻型隔膜泵等与航空施药相关的关键部件和设备是未来需要解决的重要问题。

3.3 植保无人机作业服务模式

目前, 由于植保无人机的价格较高, 后续的维护保养难度较大, 植保无人机的购买对象多数是种植合作社、农机服务组织、专业植保服务公司等专业组织, 农户/农民个人购机比例较小。另一方面, 植保无人机作业时操控难度大, 飞行员需要经过专

业培训,这就决定了植保无人机的作业服务模式必将朝多样化方向发展。预计植保无人机的作业服务模式将主要有以下 2 种:

1) “售卖+服务”模式。这是目前植保无人机生产企业采用的最为普遍的一种模式,由植保无人机生产企业自己组织成立专业化飞防组织或植保服务公司,直接开展植保服务作业。例如:广州极飞科技有限公司在新疆成立了“新疆极飞农业科技股份有限公司”,在河南省等地也建立服务基地,总共有超过 1 000 人的服务团队,并建立了植保无人机培训机构“极飞学院”;安阳全丰航空植保科技股份有限公司先后投资组建“海南辉隆全丰航空植保科技有限公司”、“安徽全丰瑞美福航空植保科技有限公司”、“河南南阳全丰航空植保科技有限公司”、“云南全丰航空植保科技有限公司”、“石河子市全丰航空植保科技有限公司”等专业化的飞防服务公司,集销售、维修、培训和植保服务于一身,并投资组建了“安阳太行低空空应用职业培训学校”进行植保无人飞机的驾驶培训。相信植保无人机“售卖+服务”模式将会继续沿用和发展。

2) “专业植保服务”模式。这种模式是只提供服务,不生产植保无人机,即由专业的植保服务团队为农户提供专业植保喷洒服务,农户不仅可以省去购买和维护植保无人飞机的费用,还可以避免使用植保无人机过程中遇到的技术和操作问题。许多专业化的植保服务公司、组织都是采用这一模式,如“农飞客农业科技有限公司”、“新安股份”、“芭田股份”和“隆鑫通用”等涉农企业也纷纷进入植保服务市场。

4 结语

加快植保无人飞机的推广应用是我国现代农业建设的需要。目前,作业实践已经证明,植保无人机及其施药技术由于在不受作物长势和地势限制、提高作业效率、节本增效等方面具有不可替代的优势,在我国取得了极大的进步和应用。随着经济的发展,中国面临着人口老龄化和城镇化发展带来的农村劳动力不足的严峻形势,而且由于单体农户的小规模生产模式的存在,为了保障我国农业的稳定和可持续发展,加快实现农业机械化和现代化的进程,特别是山区与水田的全程机械化作业水平已经成为中国国家层面的发展战略,植保无人机及其低

空低量施药技术取代传统人力背负式喷雾作业符合当前中国农业现代化发展的要求,在较大程度上提升了中国植保机械化水平。

另外,从日本等国外发达国家植保无人飞机的发展历程以及国内的市场需求来看,植保无人飞机方兴未艾,市场前景非常广阔,潜在的应用方面将不断拓展。植保无人机在中国是一个新兴产业,植保无人机及其施药技术与装备也处于不断发展之中,为保证植保无人机的健康发展和推广应用,深入研究植保无人机及其低空低量施药技术的迫切性不容忽视;同时,加强国家政府管理部门对植保无人机行业的管理、引导和鼓励,对中国植保无人机市场的健康、有序发展具有重要的促进意义。

参考文献:

[1] 王潇楠. 农药雾滴飘移及减飘方法研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.

[2] 袁会珠, 杨代斌, 闫晓静, 等. 农药有效利用率与喷雾技术优化[J]. 植物保护, 2011, 37(5): 14-20.

[3] 周志艳, 臧英, 罗锡文, 等. 中国农业航空植保产业技术创新发展战略[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 1-10.

[4] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 13-15.

[5] 齐飞, 朱明, 周新群, 等. 农业工程与中国农业现代化相互关系分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 1-10.

[6] LAN Y B, CHEN S D, FRITZ B K. Current status and future trends of precision agricultural aviation technologies[J]. Int J Agric Biol Eng, 2017, 10(3): 1-17.

[7] 张东彦, 兰玉彬, 陈立平, 等. 中国农业航空施药技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 53-59.

[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] QIN W C, QIU B J, XUE X Y, et al. Droplet deposition and control effect of insecticides sprayed with an unmanned aerial vehicle against plant hoppers[J]. Crop Protection, 2016, 85: 79-88.

[10] XUE X Y, LAN Y B, SUN Z, et al. Development an unmanned aerial vehicle based automatic aerial spraying system[J]. Comp Electr Agric, 2016, 128: 58-66.

[11] 陈盛德, 兰玉彬, FRITZ B K, 等. 多旋翼无人机旋翼下方风场对航空喷施雾滴沉积的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 105-113.

[12] 周志艳, 袁旺, 陈盛德. 中国水稻植保机械现状与发展趋势[J]. 广东农业科学, 2014(15): 178-183.

[13] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 航空喷施与人工喷施方式对水稻施药效果比较[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(4): 103-109.

[14] 陈盛德, 兰玉彬, 李继宇, 等. 植保无人机航空喷施作业有效喷幅的评定与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7):

82-90.

[15] 罗锡文, 廖娟, 胡炼, 等. 提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(1): 1-11.

[16] PATHAK R, BARZIN R, BORA G C. Data-driven precision agricultural applications using field sensors and unmanned aerial vehicle[J]. *Int J Prec Agric Aviat*, 2018, 1(1): 19-23.

[17] 华南农业大学. 2016 年我国农用植保无人飞机发展形势分析与政策建议[R]. 北京: 农业部农业机械化管理局, 2016.

[18] 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, 12: 1-10.

[19] 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): 9-21.

[20] LAN Y B, CHEN S D. Current status and trends of plant protection UAV and its spraying technology in China[J]. *Int J Prec Agric Aviat*, 2018, 1(1): 1-9.

[21] 中国民用航空局空中交通管理局. 民用无人飞机空中交通管理办法: MD-TM-2009-002[A]. 北京: 中国民用航空局空管行业管理办公室. 2009.

[22] 国家空管委办公室. 低空空域使用管理规定 (试行)[A/OL]. [2019-05-20]. http://www.360doc.com/content/14/1230/10/75978_436811011.shtml.

【责任编辑 李晓卉】



兰玉彬, 教授, 博士生导师, 欧洲科学、艺术与人文学院院士, 格鲁吉亚国家科学院外籍院士, 国家特聘专家, 广东省领军人才, 教育部“海外名师”, 国家精准农业航空施药技术国际联合研究中心主

任和首席科学家, 美国德州农工大学兼职教授, 国际精准农业航空学会主席, 中国农业工程学会农业航空分会常务副主任委员, 国家航空植保科技创新联盟常务副理事长, 受聘中国科学技术协会“全国农业航空技术学科首席科学传播专家”。长期从事农业航空应用技术研究, 在国际上首倡“精准农业航空”理念和技术路线, 并率先开展农业航空遥感和精准施药相结合的研究和应用。近年来致力于国内精准农业航空技术的深入研究与产学研合作, 现主持国家和省部级重要项目 11 项。迄今已在国内外农业工程核心期刊上发表论文 300 余篇, SCI/EI 收录 160 余篇。曾荣获“科学中国人 2015 年度人物”中国产学研合作促进奖、中国农村科技杂志“2016 年度影响人物”和首届世界无人机联合会“全球无人机贡献奖”等。被科技日报赞誉为“带领我国农业航空飞上新高度”的科学家。