

中国南方地区植保无人机补贴体系的政策效应及优化策略

李桦¹ 彭思喜¹ 黄蝶君^{2*}

(1. 华南农业大学 经济管理学院, 广州 510642;

2. 广东财经大学 文化旅游与地理学院, 广州 510320)

摘要 为探讨政府补贴对中国南方地区中小农田、丘陵山区无人机植保普及率的政策效应,选择小块农田与坡地,通过3种主流无人机型的植保服务作业试验,分析政府补贴对作业成本、专业服务团队收益等因素的影响。结果表明:政府补贴对无人机植保普及率的提升有明显的促进效应,购置补贴对降低无人机植保作业成本的作用有限,但作业补贴能够显著促进专业服务团队更好地为中小农田、丘陵山区服务。本研究进一步提出补贴体系的优化策略:购置补贴需要增加新的标准,作业补贴需要分类细化为基础作业补贴、飞防药剂补贴、丘陵山区作业补贴、偏远地区运输补贴、特种作物作业补贴5种类型。

关键词 植保无人机; 植保服务; 农机补贴; 政策效应; 优化策略

中图分类号 S252.3:F323.3

文章编号 1007-4333(2022)01-0287-10

文献标志码 A

Policy effect and optimization strategy for plant protection UAV subsidy system in southern China

LI Hua¹, Peng Sixi¹, HUANG Diejun^{2*}

(1. College of Economics and Management, South China Agriculture University, Guangzhou 510642, China;

2. School of Culture Tourism and Geography, Guangdong University of Finance & Economics, Guangzhou 510320, China)

Abstract In order to explore the effect of government subsidies on the penetration rate of UAV in small and medium-sized farmland and hilly areas of southern China, small farmland and slope land were selected to analyze the influence of government subsidies on the operation cost and the income of professional service teams through the operation test of three mainstream UAVs. The results show that: The government subsidies have a significant promoting effect on the popularization rate of UAV plant protection; The purchase subsidies have a limited effect on reducing the operating cost of UAV plant protection, while operation subsidies can significantly promote the professional service teams to achieve better serve to small and medium-sized farmland and hilly areas. This study further proposes a optimal strategy for subsidy system as follows: The purchase subsidy needs to add new standards; The operation subsidy needs to be classified into five types including basic operation subsidy, flight control agent subsidy, operation subsidy in hilly areas, transportation subsidy in remote areas, and operation subsidy for special crops.

Keywords plant protection UAV; plant protection service; agricultural machinery subsidy; policy effect; optimization strategy

“十四五”期间,以植保无人机为代表的智能农机装备成为支撑农业产业结构调整,农业现代化建设的重要力量。作为典型的数字化智能农机装备,

植保无人机产业链条包括了航空、材料、电子、软件研发、机械加工等诸多领域^[1]。我国的植保无人机虽然起步较晚,但具备设计架构企业、PCB 线路板

收稿日期: 2021-04-01

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71673090);广东省哲学社会科学规划项目(GD19CYJ14);广东省自然科学基金项目(2018A030310687,2019A1515012149)

第一作者: 李桦,副教授,主要从事农机补贴研究,E-mail:fatmartin@scau.edu.cn

通讯作者: 黄蝶君,讲师,主要从事农林经济管理研究,E-mail:diejunhuang@gdufe.edu.cn

厂、SMP贴片厂、模具厂、组装厂等成熟产业体系,发展速度很快,目前我国植保无人飞机在装备数量、作业面积上已经发展到全球第一^[2],且处于上升发展阶段。从2017年开始实施的购置补贴促进了无人机在农林植保领域的普及推广,至2019年我国植保无人机保有量已经超过4万台,作业面积超过4亿亩次(2700万hm²次)^[3]。但无人机植保的“作业瓶颈”也逐步显现,植保作业大量集中在黑龙江、新疆和江苏等平原地区,南方耕种区域的普及率不高。但南方存在大量的山区丘陵地貌,大型植保机械难以覆盖,对植保无人机等特种植保机械的需求尤其强烈^[4]。

为了提高无人机植保在南方地区的普及率,广东、湖南等部分省份已经开始对无人机植保专业服务团队实施作业补贴。本研究聚焦广东植保无人机补贴体系的政策效应,并针对现有补贴体系的不足,进行了优化设计,以期帮助整个行业健康发展,不断升级创新,逐步发挥植保无人机的科技优势。

1 补贴对无人机植保作业影响研究综述

1.1 无人机植保作业特征分析

植保无人机是农用无人机的一种典型类型,其利用移动通信设备或者其它程序控制装置操纵实施植保作业^[5]。当前的植保无人机在动力系统(电动、油动、混合动力)、升力结构(固定翼、单旋翼、多旋翼)、起降类型(是否垂直起降型)等方面具有各自的特点^[6]。在不同类型的机型之中,多旋翼电动植保无人机具备智能化程度高、硬件价格低、操作维护简单、升级换代速度快等特点,已经逐步成为最广泛的植保无人机型^[2],大疆的T系列、极飞的P系列在南方地区应用的最为广泛。

无人机植保作业与传统植保模式相比具备明显的优势。首先,植保无人机作业具备作物损伤小,高效、安全、环保、节能等特点^[7]。无人机植保作业效率是传统地面机械的3倍左右,人工的30倍左右,可节省农药30%~50%,节省用水90%^[8],具有良好的社会效益、经济效益和环境效益。其次,新型植保无人机在信息化、智能化领域具有独特优势。当前主流的智能型植保无人机基本实现自主化作业,成为集成移动通信、自动控制、遥感定位、智能规划、飞行避障等多功能的智能农业设备^[9]。最后,植保无人机这类智能农机装备的迭代式创新效应明显,

新机型在作业效率、智能化程度等方面有显著提升,这体现了智能化的植保无人机与普通植保机械的巨大差异。

但是无人机植保也面临大规模推广的困境,需要通过补贴促进无人机植保的普及。首先,无人机植保专业性较强、固定成本较高,使用门槛较高。无人机操作需要专业的培训认证,普通农户难以掌握,但专业服务团队承担需求洽谈、飞手培训、病虫害诊断、作业操控、维护保养、药效查定及回访等工作,固定成本高,大面积作业才能较好的承担这种固定成本。其次,飞防药剂的标准与使用规范不明确,药剂产品良莠不齐,导致作业效果不稳定,影响了无人机植保作业推广^[10]。再次,我国无人机植保产业链仍处于初期阶段,生产企业包揽了研发、生产、推广、培训、维护的全过程,粗放型的发展模式阻碍了无人机植保的规模扩展^[11]。

1.2 补贴对无人机植保作业的作用研究

当前对无人机植保作业的研究主要集中在应用场景^[12]以及相应的工程技术领域^[13]。伴随着无人机植保作业模式的不断推广,适合不同作物、不同地形地貌特征的机型设备、遥感避障、飞控系统的研发也逐步开展起来^[14]。但植保无人机从实验农机转变为农业生产工具,有赖于大范围推广带来的生产制造、植保作业的单位成本降低,这都需要政府补贴发挥重要的作用。

对农机补贴的研究集中探讨购置补贴的作用。很多研究都发现,购置补贴能够提升农机普及率,进而提高农业机械化水平、促进农业总产出^[15]。农机购置补贴对农机普及率的提升主要通过两条路径来实现,首先,购置补贴能够促使农户购买农机^[16],其次,购置补贴也能够培育农机作业服务市场^[17],特别当农机生产性服务市场发育不完全的阶段,补贴对扩大农机作业服务市场的“挤入效应”大于“挤出效应”^[18],政策效果较好。

对于植保无人机这类高科技智能化农机而言,农户自购数量很少,无人机植保普及率的提升需要培育农机服务市场,当前实施的购置补贴能够帮助专业服务团队“买得起”植保无人机,但药剂成本、人工成本、运输成本等作业成本过高的问题^[19],又导致偏远地区和山区丘陵地带“用不起”无人机植保,无人机植保作业在南方地区的普及率提升受到严重影响。

2 中国南方地区无人机植保的现状与问题分析

2.1 南方地区电动植保无人机优势分析

按照驱动力来划分,当前存在电动植保无人机和油动植保无人机 2 种主要机型。从 2 种无人机的

比较以及作业特点来看,电动无人机更适合南方山区丘陵,以及中小规模农田的植保作业^[20],在操作便捷性、经济性方面更有优势。油动机承载电子设备的能力有限,在丘陵山区作业不利(例如对避障功能的特别要求)。而且,电动植保无人机的设备价格、维护成本等都具有明显优势。

表 1 电动植保无人机与油动植保无人机的差异性
Table 1 Differences between electric and oil powered plant protection UAVs

性能差异 Performance differences	电动植保无人机 Electric plant protection UAV	油动植保无人机 Oil powered plant protection UAV
设备成本 Equipment cost	主流电动机型 3 万~6 万	主流油动机型 12 万~25 万
设备操作 Equipment operation	比较简单、对操作手要求较低	比较复杂、对操作手要求较高
设备维护 Equipment maintenance	模块化、维护保养成本较低	结构复杂、维护保养成本较高
设备寿命 Equipment life	设备使用寿命较长	设备使用寿命较短(发动机问题)
更适应区域 More regional	更适应丘陵山区、中小规模农田	更适应平原地区、大规模农田
作业成本 Activity based cost	荷载低,单位成本较高	荷载高,单位成本较低
作业效率 Operational efficiency	续航能力相对较弱,效率较低	续航能力相对较强,效率较高
作业效果 Operation effect	没有明显差别	没有明显差别
作业安全 Operation safety	较安全	燃油污染较大,燃油泄漏等事故
未来拓展 Future development	功能拓展、智能化、提高精度	功能较单一、拓展空间有限

注:数据源自项目团队前期调研。

Note: The data comes from the previous research of the project team.

2.2 南方地区植保无人机产业现状及问题

植保无人机产业链分为上游研发制造、中游植保服务运营、下游维修保险等辅助产业^[21]。大疆和极飞生产的电动无人机在南方地区的市场占有率超过 70%,生产企业实施全产业链运营,包揽了研发、生产、销售和维修的全过程(表 2),甚至还组织专业服务队,

直接为农户提供植保服务。一方面,研发制造企业通过低价策略,降低了无人机植保市场门槛,大量植保服务团队得以低成本进入市场。另外一方面,由于南方地区中小农田多、山区丘陵地形复杂,植保作业成本较高,很多植保作业无法盈利。在这样的背景下,很多地区开始实施作业补贴,试图提升无人机植保普及率。

表2 大疆与极飞植保无人机的销售模式

Table 2 Sales mode of Dajiang and Jifei plant protection UAVs

拓展方式 Development mode	大疆(突出性价比) Dajiang (Cost performance)	极飞(突出配套服务) Jifei (Supporting services)
价格 Price	主动降低硬件价格	跟随降价
作业效率 Operational efficiency	提高作业效率;增加作业载荷	提高作业效率;增加作业载荷
电池 Battery	增加循环充电次数	租赁电池、充电器
维修保障 Maintenance support	4S 专门店;维修点	无忧计划;区域保障中心
飞手培训 Flying hand training	慧飞无人机培训学校	极飞学院
销售模式 Sales model	代理商	极飞农业(直营)+代理商
地理服务 Geographic services	采购供应商地图服务	极飞地理(导航定位、农田数据库)
金融服务 Financial service	分期购机;植保服务分期付款;合约机	共享租赁业务

注:数据来自大疆、极飞公司网站以及研究团队前期市场调研。

Note: Data were collected from the websites of Dajiang and Jifei companies and the preliminary market research of the research team.

3 无人机植保补贴体系的政策效应分析:以广东省为例

3.1 广东省无人机植保补贴政策

当前广东省的无人机植保补贴包括购置补贴(省级补贴)、作业补贴(县市级补贴)。购置补贴按照“额定载荷量”标准分级补贴(表3),作业补贴按照225~300元/hm²的标准进行补贴,自2019年开始,广东省已经有广州、珠海、河源3个市实施作业

补贴。

3.2 无人机植保补贴政策的效应分析

3.2.1 研究目的

由于植保无人机作业成本较高,导致很多植保服务团队争抢“大单”,不愿意为中小块农田、山区丘陵耕地提供植保服务,无人机植保补贴政策目的就是降低植保作业服务的“门槛”,让更小规模的农田、山区丘陵耕地能够获得无人机植保服务,提升无人机植保普及率。因此,本研究通过对无人机植保作

表3 广东省植保无人机的购置补贴

Table 3 Purchase subsidy system of plant protection UAV in Guangdong Province

补贴金额/元 Subsidy amount	无人机规格 UAV specifications
16 500	10 L≤额定载荷量≤15 L,配4组电池,充电器
23 000	15 L<额定载荷量≤20 L,配4组电池,充电器

注:数据根据广东省农业厅相关政策整理。

Note: Data were sorted out according to the relevant policies of the Department of Agriculture of Guangdong Province.

表 4 广东省植保无人机的作业补贴

Table 4 Operation subsidy system of plant protection UAV in Guangdong Province

补贴地区 Subsidy area	补贴标准/(元/hm ² 次) Subsidy standard	植保种类 Types of plant protection
广州 Guangzhou	300	水稻、蔬菜、玉米每造不超过 2 次；甘蔗、果树每年不操过 4 次
珠海 Zhuhai	300	水稻每造作业 3 次；莲藕每年作业 2 次
河源 Heyuan	225	水稻、蔬菜、玉米等每年不操过 2~4 次

注：数据根据广州、珠海、河源市农业局相关政策整理。

Note: Data were sorted out according to the relevant policies of the agricultural bureaus of Guangzhou, Zhuhai and Heyuan.

业收益成本计算,探讨服务团队不同作业条件下的“盈亏平衡点”(临界作业面积),分析补贴政策对降低无人机植保平地、坡地作业“门槛”的作用,并提出相应的政策建议。

3.2.2 研究设计

研究团队于 2019 年 7—9 月赴广州、河源等地

进行无人机植保服务作业调研。研究团队选择南方地区主流的多旋翼电动植保无人机型作为试验机,为了体现代表性,机型来自市场排名前列的大疆与极飞的主流机型,根据机型特点与销售价格,各选择一款高端、中端和低端机型(机型参数见表 5)。研究团队以广州市增城区某农场 33 hm² 水稻(坡度

表 5 三类植保无人机型的主要参数

Table 5 Main parameters of three kinds of UAVs for plant protection

机型参数 Model parameters	高端 High-end	中端 Middle-end	低端 Low-end
	极飞 P20 系列 Jifei P20	大疆 MG-1P Dajiang MG-1P	大疆 MG-1SAdvanced Dajiang MG-1SAdvanced
作业效率/(hm ² /h) Operation efficiency	14	6	3
电池容量/mAh Battery capacity	20 000	12 000	12 000
续航时间/载荷 Endurance/load	18 分钟/22 kg	9 分钟/24 kg	9 分钟/24 kg
电池寿命 Battery life	充放 200 次	充放 200 次	充放 200 次
整机价格/元 Unit price	62 999	36 200	29 999
最大载荷/kg Maximum load	16	10	10
药箱容量/L Medicine box capacity	16	10	10
精准喷洒/m Precision spraying	3~6.5	5~6	2~5
最大遥控距离/km Maximum remote control distance	4	3	1.5
同时操纵无人机台数 Number of UAVs operating simultaneously	5	5	1

注：资料来源于大疆、极飞公司官网。

Note: Data were collected from the official websites of Dajiang and Jifei.

0~2度)作为平地植保作业试验样本,河源市龙川县某农场 200 hm² 水稻(坡度 6~15 度)作为丘陵山区植保作业试验样本,获得植保无人机不同条件下的作业参数。

3.2.3 试验数据与计算公式

本研究收集的试验数据包括:植保作业效率数据、植保作业收益数据和植保作业成本数据。植保效率数据来自三类无人机的作业试验,坡地植保效率显著下降,低端机型功能不完善、操纵性差,效率下降更为显著(50%左右)。植保作业收益数据包括农户支付植保费用、政府作业补贴费用。植保作业成本数据包括:机型折旧成本、人工成本、耗材成本、药剂成本和运输成本。其中机型折旧按照销售价格减去购置补贴之后的余额计算,根据《企业固定资产

折旧办法》,按 3 年有效作业时间(南方地区无人机植保作业时间集中在 3~10 月)折旧;耗材成本、药剂成本根据市场售价核算;人工成本根据对服务团队的调查获取;运输成本的基础数据根据对服务团队的调查获取,按往返 20 km 计算运输距离。

本研究从经营者(植保服务团队)视角,分析植保无人机补贴政策对“盈亏平衡点”(临界作业面积)的作用。其中,“植保收益=农户支付植保费用+政府作业补贴费用”;“植保成本=机型折旧(购置补贴)+耗材成本+人工成本+飞防药剂成本+运输成本”;当“植保收益=植保成本”时,植保服务达到“盈亏平衡点”(临界作业面积),超过临界作业面积,植保服务团队提供服务(盈利),达不到临界作业面积,植保服务团队无法提供服务(亏损)。

表 6 三类无人机植保服务的试验数据

Table 6 Cost data of three types of UAV plant protection services

植保服务成本 Plant protection service cost	高端 High-end	中端 Middle-end	低端 Low-end
	极飞 P20 系列 Jifei P20	大疆 MG-1P DajiangMG-1P	大疆 MG-1SAdvanced Dajiang MG-1SAdvanced
机型折旧/(元/d) Depreciation of aircraft type	71.9	41.3	33.8
植保服务效率/(hm ² /h) Plant protection service efficiency	14	6	3
丘陵效率 Hill efficiency	约下降 30%	约下降 30%	约下降 50%
无人机耗材/(元/hm ²) UAV consumables	7.5	14.55	21
人工成本 Labor cost	广州增城	基本工资 2.7 元/hm ² + 提成 15 元/hm ²	基本工资 4.5 元/hm ² + 提成 15 元/hm ²
	河源龙川	基本工资 1.95 元/hm ² + 提成 15 元/hm ²	基本工资 3.3 元/hm ² + 提成 15 元/hm ²
飞防药剂成本/(元/hm ²) Cost of flight control agent	300~450(不同品类有一定差异)		
运输成本 Transportation cost	每辆车载 1~2 架飞机,按往返 20 km 计算运输距离		
植保收益 Income from plant protection	农户支付 450 元/hm ² + 政府补贴 225~300 元/hm ²		

3.2.4 数据结果与补贴政策效应分析

从数据结果来看,不同补贴政策的效果不同,作业补贴对无人机植保普及率的提升具有明显的促进效应。首先,政府补贴能够提升无人机植保的普及率,表现为无人机植保的临界作业面积显著下降,植保服务团队能够为更小规模的农田,更小规模的坡地提供服务。例如高端机型在平地,无补贴状况下提供服务的起点从 42.9 hm² 下降到 22.5 hm²;坡

地从 49.2 hm² 下降到 33.2 hm²。其次,高端机型得到补贴之后,临界作业面积最低。这说明补贴起到了两方面的作用,第一是直接提升无人机植保普及率,第二是促进厂商升级无人机的作业能力、降低成本,从而进一步提升无人机植保普及率。最后,购置补贴效果有限,仅对降低硬件折旧有帮助,对作业中的变动成本不产生影响,作业补贴的效果更为显著。

表 7 不同情境下达到“盈亏平衡点”的无人机植保临界作业面积

Table 7 UAV plant protection service area reaching “break-even point” in different situations

hm²

补贴模式 Subsidy model	平地(0~2°)无人机植保服务 Flat (0-2°) UAV plant protection service			坡度(6~15°)无人机植保服务 Slope (6-15°) UAV plant protection service		
	高端机型 High-end	中端机型 Middle-end	低端机型 Low-end	高端机型 High-end	中端机型 Middle-end	低端机型 Low-end
	无补贴 No subsidy	59.3	51.4	42.9	71.4	58.7
购置补贴 Purchase subsidy	54.8	47.6	38.4	66.9	53.8	44.7
购置补贴+作业补贴 Purchase subsidy+ operation subsidy	37.2	33.4	22.5	53	36.7	33.2

4 中国南方地区植保无人机补贴体系的优化策略

当前的作业补贴仍然以作业面积为标准,会促使服务团队“争抢大田”,忽视中小农田和坡地农田的植保需求,需要根据无人机植保作业中面临的主要困难,对植保无人机补贴体系进行优化。

4.1 根据植保作业成本与困难优化补贴体系

根据植保作业成本与困难发现“痛点”,针对性的优化植保补贴体系。从下表无人机植保作业的成本结构来看,占比最大的植保作业成本分别是:飞防药剂成本(约占 45%~55%)、人工成本(约占 15%~28%)和耗材成本(10.8%~25%)。飞防药剂成本属于刚性成本,需要直接对厂商给予补贴,防止服务团队为节省成本影响施药效果。丘陵山区作业更加困难,会直接提升人工成本与耗材成本,需要针对性的设置山区丘陵补贴。

4.2 植保无人机补贴体系的优化策略

4.2.1 购置补贴优化策略

增加购置补贴的补贴标准。现有的无人机购置补贴只考虑“载荷量”的问题,从实际植保作业以及无人机的未来发展来看,“续航时间”、“智能化模块”对无人机的作业也很重要,需要设定为补贴标准。

4.2.2 作业补贴优化策略

需要将作业补贴划分为:基础作业补贴、飞防药剂补贴、丘陵山区作业补贴、偏远地区运输补贴和特种作物作业补贴(见表 9)。基础作业按植保面积进行补贴,但补贴金额下降,将剩余金额转移到其它专项。飞防药剂补贴针对药剂厂商,目的是降低药剂成本。丘陵山区作业补贴、偏远地区运输补贴设置的目的是促使服务团队为山地坡地、距离较远的农田提供植保服务,特种作物作业补贴是针对果树等打药存在难度的作物设置的补贴。

表8 植保作业成本结构

Table 8 Cost structure of plant protection activities %

植保作业成本结构 Plant protection activity cost structure	高端机型 High-end	中端机型 Middle-end	低端机型 Low-end
硬件折旧成本 Hardware depreciation cost	2.5~3.0	2.0~2.1	1.8~2.1
耗材成本 Consumables cost	10.8~15	15~19	21~25
飞防药剂成本 Cost of flight control agent	50~55	50~52	45~48
人工成本 Labor cost	15~20	21~25	24~28
运输成本 Transportation cost	2.3~2.5	2.0~2.2	2.0~2.2

表9 中国南方地区植保无人机补贴体系设计

Table 9 Design of subsidy system for UAV in Southern China plant protection

补贴类型 Types of subsidies	补贴对象 Subsidy target	补贴模式 Subsidy model
购置补贴 Purchase subsidy	购置补贴 制造企业	按载荷量、续航时间、智能化功能
作业补贴 Operation subsidy	基础作业补贴 服务团队	按面积给予 150~225 元/hm ² 的补贴
	飞防药剂补贴 药剂厂商	根据药剂种类,给予 10%~20% 的药剂补贴
	丘陵山区作业补贴 服务团队	按坡度分 5 档补贴
	偏远地区运输补贴 服务团队	按服务距离分档补贴
	特种作物作业补贴 服务团队	给予果树等特种作物补贴

5 结论与建议

本研究分析了我国南方地区无人机植保服务的现状,并针对中小农田和山区丘陵地区无人机植保普及率低的问题,测试了广东省植保无人机补贴体系的政策效果,发现政府补贴对无人机植保普及率的提升有明显的促进效应,同时针对植保作业面临的主要问题,提出了植保无人机补贴体系的优化策略。包括对购置补贴的完善,以及将作业补贴细化为基础作业补贴、飞防药剂补贴、丘陵山区作业补贴、偏远地区运输补贴和特种作物作业补贴 5 种类型。

植保无人机这类高科技智能化农机装备,真正发挥科技优势有赖于大量使用所积累的数据以及随

之而来的无人机迭代升级。研究团队的实地测试发现,对同一块坡地进行第二次植保,作业成本下降(下降 5%左右)、效率明显上升(上升 20%~30%左右)。这说明无人机植保普及率的提升不仅带来经济收益,更可以为后续的植保提供基础数据和学习累计效应。政府不仅要促使植保服务团队“更多购买”植保无人机,更要帮助无人机在“多个场景下”实现植保作业,由此形成的数据积累以及机型的迭代升级会不断降低作业成本,解决我国山区丘陵“打药难”的困境。

参考文献 References

- [1] 何雄奎. 中国植保无人机研究与发展[EB/OL]. (2018-12-01). http://www.sohu.com/a/207892261_658625

- He X K. Research and development of UAVs for plant protection in China [EB/OL]. (2018-12-01). http://www.sohu.com/a/207892261_658625 (in Chinese)
- [2] 阳湘林. 中国植保无人机产业发展探析[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(5): 67-71
- Yang X L. Analysis on the development status of plant protection unmanned aerial vehicle in China[J]. *China Plant Protection Guide*, 2020, 40(5): 67-71 (in Chinese)
- [3] 段倩倩. 全国渗透率仅 5%, 大疆和极飞分走两路突破植保机蓝海[N]. 第一财经, 2019-04-24(3)
- Duan Q Q. The national penetration rate is only 5%, Dajiang and Jifei break through the blue ocean of plant protection machine by two ways[N]. *First Finance and Economics*, 2019-04-24(3) (in Chinese)
- [4] 张悦, 宋月鹏, 韩云, 张红梅, 樊桂菊, 张晓辉. 丘陵山区果园植保机械研究现状及发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(5): 47-52
- Zhang Y, Song Y P, Han Y, Zhang H M, Fan G J, Zhang X H. Research status and development trend of orchard plant protection machinery in hilly and mountainous areas[J]. *China Journal of Agricultural Machinery Chemistry*, 2020, 41(5): 47-52 (in Chinese)
- [5] 杨陆强, 果霖, 朱加繁, 高志超, 周体全, 喻自荣, 彭继文, 张汝坤. 我国农用无人机发展概况与展望[J]. 农机化研究, 2017, 39(8): 6-11
- Yang L Q, Guo L, Zhu J F, Gao Z C, Zhou T Q, Yu Z R, Peng J W, Zhang R K. Overview and prospect of agricultural UAV development in China[J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39 (8): 6-11 (in Chinese)
- [6] 李军, 鲁飞, 贾国连. 250 g/L 吡唑醚菌酯悬浮剂防治花生叶斑病效果研究[J]. 现代农业科技, 2016(6): 126-128
- Li J, Lu F, Jia G L. Study on the effect of 250 g/L pyrazoxystrobin SC on controlling peanut leaf spot[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(6): 126-128 (in Chinese)
- [7] Zhang X, Zhang F, Qi Y, Deng L, Wang X, Yang S. New research methods for vegetation information extraction based on visible light remote sensing images from an unmanned aerial vehicle (UAV)[J]. *International Journal of Applied Earth Observation*, 2019, 78(1): 215-226
- [8] 徐剑锋. 无人机技术在植保中的应用价值[J]. 热带作物学报, 2020, 41(9): 18
- Xu J F. Application value of UAV technology in plant protection[J]. *Journal of Tropical Crops*, 2020, 41(9): 18 (in Chinese)
- [9] 徐利锋, 杨中柱, 黄祖胜, 丁维龙. 结合混合粒子群算法的植保无人机航线设计方法[J]. 小型微型计算机系统, 2020(9): 1826-1832
- Xu L F, Yang Z Z, Huang Z S, Ding W L. Route planning method for plant protection unmanned aerial vehicles combined with hybrid particle swarm optimization[J]. *Mini Computer System*, 2020(9): 1826-1832 (in Chinese)
- [10] 林正平, 洪峰, 刘鹤. 浅析影响植保无人机作业效果的主要因素[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(4): 70-72
- Lin Z P, Hong F Liu H. Major influencing factors on efficiency of plant protection UAV[J]. *China Plant Protection Guide*, 2019, 39 (4): 70-72 (in Chinese)
- [11] 何勇, 赵春江. 精细农业[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2010
- He Y, Zhao C J. *Precision Agriculture* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2010 (in Chinese)
- [12] Allred B, Martinez L, Fessehazion M K, Rouse G, Williamson T N, Wishart D B, Koganti T, Freeland R, Eash N, Batschelet A, Featheringill R. Overall results and key findings on the use of UAV visible-color, multispectral, and thermal infrared imagery to map agricultural drainage pipes [J]. *Agricultural Water Management*, 2020, 232 (1): 106036.
- [13] 郑瀚, 陈军. 农用植保机喷施作业智能控制系统优化分析[J]. 农机化研究, 2021, 43(12): 203-206
- Zheng H, Chen J. Optimization analysis of intelligent control system for spraying operation of agricultural plant protection machine[J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2021, 43 (12): 203-206 (in Chinese)
- [14] Ouyang F, Cheng H, Lan Y B, Zhang Y L, Yin X C, Hu J, Peng X D, Wang G B, Chen S D. Automatic delivery and recovery system of wireless sensor networks (WSN) nodes based on UAV for agricultural applications[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 162(10): 31-43
- [15] 杨思雨, 蔡海龙. 不同环节农机社会化服务对粮食生产效率的影响: 以早稻为例[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25 (11): 138-149
- Yang S Y, Cai H L. Impact of different links of agricultural machinery socialized services on the technical efficiency of grain production: Taking early rice as an example[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25 (11): 138-149 (in Chinese)
- [16] 李农, 万祎. 我国农机购置补贴的宏观政策效应研究[J]. 农业经济问题, 2010(12): 79-84
- Li N, Wan Y. Research on macro policy effect of agricultural machinery purchase subsidy in China [J]. *Agricultural*

- Economic Issues*, 2010(12): 79-84 (in Chinese)
- [17] 章磷, 王春霞. 人口、机械化与农村剩余劳动力流量研究[J]. 农业技术经济, 2013(7): 27-33
- Zhang L, Wang C X. Population, mechanization and rural surplus labor flow [J]. *Agricultural Technology and Economy*, 2013(7): 27-33 (in Chinese)
- [18] 潘经韬, 陈池波. 农机购置补贴对农机作业服务市场发展的影响[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2018(3): 27-34
- Pan J T, Chen C B. Impact of agricultural machinery purchase subsidy policy on development of agricultural machinery operation service market [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2018(3): 27-34 (in Chinese)
- [19] 冷志杰, 蒋天宇, 刘飞, 王晓洲, 胡军. 植保无人机的农业服务公司推广模式研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(1): 6-9
- Leng Z J, Jiang T Y, Liu F, Wang X Z, Hu J. Study on the extension mode of agricultural service corporation of UAV for plant protection [J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(1): 6-9 (in Chinese)
- [20] 娄尚易, 薛新宇, 顾伟. 农用植保无人机的研究现状及趋势[J]. 农机化研究, 2017, 39(12): 1-6
- Lou S Y, Xue X Y, Gu W. Current status and trends of agricultural plant protection unmanned aerial vehicle [J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39 (12): 1-6 (in Chinese)
- [21] 王术波, 陈建, 彭兵忠. 我国农用无人机产业链分析[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(3): 131-139
- Wang S B, Chen J, Peng B Z. Analysis on the industrial chain of agricultural unmanned aerial vehicles in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23 (3): 131-139 (in Chinese)

责任编辑: 王岩