

四川丘陵地区农业现代化的低空经济支持体系构建

余欣草 邹欣宜 周睿 王珣 赵晶

西南石油大学, 四川南充, 637000;

摘要: 为破解四川丘陵地区地形破碎、规模化不足等农业现代化瓶颈, 本研究立足低空经济技术优势与区域农业诉求, 构建“技术适配—制度保障—主体协同—场景应用”四维支持体系框架。通过分析其理论逻辑与运行机理, 明确各维度核心构成与协同路径, 提出产学研协同创新、优化政策供给、激活主体活力、推进场景落地等策略, 旨在完善特色区域农业与新兴产业适配理论, 为当地农业数字化转型、乡村振兴提供实践指引。

关键词: 农业现代化; 低空经济; 支持体系; 四维协同; 乡村振兴

DOI: 10.69979/3041-0673.26.04.083

引言

习近平总书记强调“没有农业农村现代化, 就没有整个国家现代化”^[1]。四川丘陵地区幅员占全省 12.9%、耕地占 80%^[2], 是特色农产品核心产区, 其农业现代化关乎粮食安全与乡村振兴。但该区域地形起伏、地块零散, 叠加小农生产模式, 面临耕地碎片化、技术落地难等突出困境, 亟需创新解决方案。

低空经济依托无人机植保等技术, 适配复杂地形且高效低成本, 加国家政策支持形成三重契合。现有研究忽视丘陵特殊性, 本研究聚焦低空经济与农业现代化交叉领域, 搭建四维协同机制, 构建适配可操作的支持体系, 为当地破局、助力乡村振兴提供实践路径。

1 文献综述

1.1 低空经济支持产业发展研究

低空经济依赖空域资源且技术高度集成, 核心技术围绕无人机、低空物流迭代, 实现设备小型化、智能化突破^[3], 应用从城市拓展至农业, 精准植保、遥感监测等能提效降本^{[4][5]}, 但针对丘陵农业特殊需求的专项场景设计仍欠缺。完善其支持体系需覆盖技术、政策、基础设施等要素, 要优化空域法规、简化审批^[6], 布局起降充电网络, 构建多元联动机制^[7]。国外低空经济起步早、技术制度成熟, 美、德农业低空作业审批高效, 欧盟形成一体化服务模式, 均为国内提供有益参考。

1.2 丘陵地区农业现代化研究

四川丘陵地区地形破碎、地块分散、交通不便, 农业生产“小而散”, 还面临水资源不均、耕地质量差异大等自然约束^[8], 农业现代化存在产业结构待优化、生产

效率偏低、技术数字化滞后、基础设施与物流薄弱、新型经营主体培育不足、产业链条短等瓶颈。既有研究提出的发展路径多集中于“三化联动”、创新组织模式、加大财税金融支持等方面。

国外日本、韩国等丘陵占比高的国家, 通过研发小型专用农机、引入低空遥感技术破解地块零散难题; 搭建农产品低空物流网络, 同时以专项补贴、人才培养政策降低转型成本, 其区域适配性发展模式具有借鉴价值。

1.3 低空经济赋能农业现代化的交叉研究

低空经济主要通过规模经济、技术效率提升与产业升级三大机制赋能农业现代化。其核心农业应用场景在丘陵地区, 需重点突破飞行器地形适应性、续航能力等关键技术, 支持体系构建需同步推进空域管理优化、专项补贴出台、基础设施布局及数据共享平台建设, 建立多元主体协同机制。

国外典型案例成效显著: 日本九州针对丘陵地形研发专用无人机, 实行“零门槛备案”与设备补贴政策, 通过合作社整合农户需求, 降低人工成本 40%^[9]; 美国阿巴拉契亚山区构建低空物流网络, 缩短农资配送时间、降低农产品冷链成本, 其技术靶向研发、制度简化、主体协同的经验值得借鉴^[10]。

1.4 现有研究评述与研究缺口

现有研究存在对区域特殊性关注不足、理论分析框架系统性不强、支持体系构想分散等局限。本研究聚焦四川丘陵地区具体需求, 构建“技术适配—制度保障—主体协同—场景应用”四维系统性支持框架, 提供更具区域适配性与实践操作性的解决方案。

2 四川丘陵地区农业现代化的核心诉求与现实瓶颈

2.1 核心诉求

四川丘陵地区幅员占全省40%以上，耕地碎片化、地块坡度 15° - 35° ，田间道路通达性差，规模化耕作受限，对低空经济有鲜明靶向需求。生产端粮食种植人工成本占比35%-45%^[11]，经济作物管理耗时，亟需精准植保与农资低空投送；技术端可依托低空遥感弥补地面监测短板；物流端能通过低空物流破解运输成本难题；产业端可发展低空观光实现增值转型。该区域80%耕地在丘陵山区，各地核心诉求呈区域分化：川中丘陵以连片粮油种植为主，需大载重长续航无人机实现规模化作业；川南丘陵特色经济作物密集，需小型轻量化无人机完成精准化作业；川东北丘陵坡耕地占比高，需大载重吊运与遥感无人机，适配运输与监测双重需求。

2.2 现实瓶颈

技术适配层面，主流无人机难以适配地块零散特点，核心技术研发不足，设备故障率较平原高20%-30%^[12]，专用设备供给缺口大；制度保障层面，低空空域分类管理未落地，农业低空作业审批耗时、跨部门效率低，监管标准和事故责任划分机制缺失；主体协同层面，农户与合作社低空技术认知率不足40%，受访农户仅15%尝试过智能农机，83%小农户因操作和维护问题拒绝使用，不同年龄段认知率差距悬殊，专业人才匮乏致政企研衔接不畅；配套支撑层面，全省丘陵地区农用无人机起降点、充电设施覆盖率仅23.8%，乡镇级及偏远县域覆盖率极低，网点布局失衡，充电维修服务集中，无统一数据平台，运维不完善影响作业连续性。

3 低空经济支持四川丘陵地区农业现代化的理论逻辑与体系框架

3.1 理论逻辑

低空经济赋能四川丘陵地区农业现代化，核心是技术赋能、效率提升、场景创新三大功能契合区域农业需求。该区域耕地破碎、农机施展难，劳动力老龄化，耕种收综合机械化率67%，低于全国6.25个百分点^{[13][14]}，低空技术可突破地形、缓解用工压力、助力农产品拓市。三大功能经“技术落地—场景应用—产业赋能”传导，落地需研发丘陵专用无人机与算法，应用聚焦多元场景，

赋能培育新业态、做强品牌，结合四川“农用无人机+”政策^[15]，形成技术优势到现代化目标的传导机制，推动农业生产方式变革。

3.2 体系框架

体系构建围绕四大维度展开：技术适配研发丘陵专用设备与运维网络，制度保障优化空域管理、审批及补贴^[16]，主体协同明确政企研等多元主体职责，场景应用按丘陵类型差异化推广业态，发展目标契合四川2027年农用无人机规划^[17]。该框架与路径为四川及国内同类丘陵农业现代化提供可复制蓝图，直接服务四川2027年发展目标^[18]。未来研究需开展县域实证检验、构建动态适配机制。

4 分维度解析运行机理

4.1 技术适配体系：破解设备与场景适配难题

技术适配体系以碳纤维材料、模块化设计研发轻量化高机动无人机，搭配专用飞控系统，融合高精度数字高程模型与AI优化避障及路径规划算法。核心技术分三阶段攻坚，总研发周期21-33个月，预期成本2400-3500万元，商业化采用“先试点服务后批量销售”模式。产学研通过共建联合实验室、开展定向攻关项目、设立田间示范基地协同创新，配套“线上+线下”乡镇级运维服务平台，提供免费监测、培训与低成本维修，降低农户使用门槛。

4.2 制度保障体系：降低成本与风险

制度保障体系明确：划定300米以下、远离机场/航线及人口密集区的净空区域为农业专用空域，按县域划设封闭管理单元，以经纬度坐标明确四至边界并备案公示。飞行时段限定为6:00-19:00（恶劣天气除外），作业前需通过省级低空管理平台提交飞行计划（含区域、时段、机型）。与通用/民航空域建立“提前报备+实时联动”协调机制，跨空域作业需提前24小时申请，由空管部门动态调度；遇紧急飞行任务，开通农业作业优先通道，确保农事需求及时响应。同步配套空域使用违规处罚细则，保障政策落地清晰可执行^[9]。

4.3 主体协同体系：构建多元参与闭环

主体协同体系通过“责任清单+利益联结”破解协同不畅难题，明确政府承担60%-70%乡镇级起降点、充电设施建设资金（剩余由社会资本补充），负责空域划

定、审批流程优化及专项补贴发放，每年组织2次供需对接会；企业承担技术市场化推广责任，三年内实现重点县域服务覆盖率达80%，免费为每个乡镇培训3-5名技术骨干，优先聘用本地农户参与运维；科研机构每年培养不少于200名专业技术人才（含飞手、运维人员），与企业共建成果转化机制，技术落地收益按15%-20%比例分成；农业经营主体负责反馈生产需求、组织农户参与技术培训，合作社牵头整合作业订单并按服务收益的5%-8%获得组织管理费，同时建立“政府补贴+企业盈利+农户增收+科研分成”的共享机制，形成稳定协同闭环。

4.4 场景应用体系：实现全链条赋能

场景应用体系聚焦全链条赋能，按“地形-作物-经济水平”精准匹配场景并明确适用条件与效益指标：精准植保场景适用于坡度 $\leq 25^\circ$ 的连片粮油/经济作物种植区及中等以上经济水平县域，可降低农药使用量15%-20%、人工成本35%-45%，生产效率提升2-3倍；低空物流场景适用于坡度 $\geq 20^\circ$ 、交通不便的偏远县域，聚焦生鲜农产品与农资运输，能缩短配送时间40%-60%，降低冷链物流成本25%-30%，带动农户年均增收1500-3000元；遥感监测场景适配各类坡度的特色果林（柑橘、茶叶）与林药种植区，可实现苗情、病虫害监测覆盖率100%，减少减产损失10%-15%，助力农产品优质率提升20%以上；低空文旅场景适用于临近城镇、旅游资源基础较好的浅丘区域，能带动乡村旅游收入增长30%-50%，拓宽产业链增值空间。

4.5 各维度的协同运行机理

四大体系动态协同：技术适配支撑场景应用，场景需求驱动技术迭代；制度保障划定规则，主体协同为制度优化提供依据；场景应用是核心目标，转化协同成果为农业现代化实效，推动体系持续升级，符合低空经济与农业融合发展战略。

5 四川丘陵地区农业现代化低空经济支持体系的构建路径

5.1 技术适配体系：聚焦区域需求，强化产学研协同创新

紧扣四川丘陵地区需求，组建产学研研发联盟，攻关轻量化低空作业设备与地形识别算法，开发特色作物

专用设备，攻克行业痛点。建立县乡村三级技术推广体系，设服务窗口、开展分层技术培训，鼓励科技企业提供“技术托管”服务。按每5平方公里1个标准布局起降点与充电设施，明确建设标准与配套要求，搭建区域性低空农业大数据中心。同时优化政策供给，划定300米以下农业专用空域，压缩审批时限，建立三位一体监管机制，推出专项补贴与专属保险，配套优惠政策引资本，鼓励村集体参与运营，破解布局与运营难题。

5.2 主体协同体系：搭建联动平台，激活多元主体活力

构建多方协同发展格局，激活产学研用主体活力。建立农业农村部门牵头、多部门协同的跨部门机制，定期召开供需对接会匹配产业链需求。培育本地化服务主体，支持本土企业与省外龙头合作，鼓励合作社、家庭农场组建低空作业服务队。搭建全省统一的需求对接与信息共享平台，引导金融机构开发专属金融产品，支持科研机构与企业、农业经营主体共建产学研示范基地，加速技术成果田间转化。

5.3 场景应用体系：分类推进落地，打造示范标杆

分层推进低空经济农业场景落地，在粮食主产区推广“遥感监测+精准植保”，偏远乡村布局“低空物流+农资农产品配送”，并培育低空观光、智慧研学等特色业态，打造“低空溯源+品牌打造”模式，选取基础好的乡镇建示范片区并推广经验。

6 结语

本研究结合四川丘陵地区农业现代化困境与低空经济赋能潜力，围绕四维协同机制分析发现，低空经济的赋能效果源于四大维度的深度融合，该机制能破解区域农业发展难题，为低空经济与农业现代化融合提供系统支撑。理论上，本研究提出多维度协同范式，为理解新兴产业与特色区域农业现代化的共生关系提供新视角；实践上，相关构建路径可为政策制定者和市场主体提供实操参考。本研究尚存局限，未来将通过实证调研等方式进一步优化完善。

参考文献

- [1] 习近平. 论“三农”工作[M]. 北京：中央文献出版社，2022.
- [2] 四川省人民政府网站. “天府良机”行动深入推进，

- 四川多措并举——农业机械化率今年有望达到65%[EB/OL]. 2025-11-05.
- [3] 顾冬冬, 毕洁颖. 低空经济驱动农业新质生产力: 作用机理、现实瓶颈与路径设计[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2025.
- [4] 张军伟, 杜建军. 从传统农业到智慧农业: 低空经济赋能发展的理论机制与实证检验[J]. 上海财经大学学报, 2025(12).
- [5] 王继发, 蒋俊伟. 四川广元推进农业“4+N”低空经济发展[N]. 中国食品报, 2025-10-28.
- [6] 董念清. 低空经济法治保障的体系构建与制度再造——以低空空域管理改革为中心的分析[J]. 现代经济探讨, 2025(12).
- [7] 张杰, 李美林, 李竹. 新质生产力背景下四川低空经济高质量发展的路径探索[J]. 中国经贸导刊, 2025(10).
- [8] 侯晓春, 王鹏. 化危为机. 四川丘陵地区经济发展研究[J]. LocalEconomy, 2009(10).
- [9] 产业世界. 2025年日本工业无人机产业发展深度研究报告[R]. 2025.
- [10] 豆丁网. 农业无人机精准施药算法与防治效果对比研究报告[R]. 2025-12-27.
- [11] 尹志刚. 智慧农机赋能规模化种植: 阳新县780亩粮食种植成本核算与效率提升实践[J]. 湖北农业科学, 2025.
- [12] 太平洋科技. 高低起伏的地块无人机如何植保[EB/OL]. 2025-09-30.
- [13] 阚莹莹. 提升农业机械化四川的破与立[N]. 四川日报, 2023-07-05(8)
- [14] 习近平. 习近平重要讲话单行本(2020年合订本)[M]. 北京: 人民出版社, 2021.
- [15] 四川省农业农村厅. 关于加快农业领域低空经济发展的通知(川农发[2025]11号)[EB/OL]. 2025-04-18.
- [16] 四川省发展和改革委员会. 关于印发《支持低空经济发展的若干政策措施》的通知[EB/OL]. 2025-05-13.
- [17] 四川农村日报. 聚焦四大领域发力四川加快农业领域低空经济发展[N/OL]. 2025-04-22.
- [18] 四川农村日报. 聚焦四大领域发力四川加快农业领域低空经济发展[N/OL]. 2025-04-22.
- [19] 四川省人民政府办公厅. 关于促进低空经济发展的指导意见[EB/OL]. 2024-06-03. (2025-12-23)
- 基金项目: 西南石油大学第24期(2025-2026年度)课外开放实验重点项目(立项编号: 2024KSZ10003)