

高标准农田建设促进智慧农业技术采纳了吗？

苏岚岚 王凯龙 于艳丽

摘要:以高标准农田建设促进智慧农业发展对于发挥两类政策叠加作用、加快培育农业新质生产力具有重要意义。本文采用2022年和2024年中国乡村振兴综合调查(CRRS)数据,实证检验高标准农田建设对智慧农业技术采纳的影响、作用机制及空间溢出效应。研究结果表明,高标准农田建设促进了智慧农业技术采纳,具体体现在无人机植保、农机智能导航系统与第三方平台遥感信息服务等技术方面。机制结果分析发现,高标准农田建设通过增加粮食作物种植比例、减少耕地撂荒以及提升农地规模经营比例,推动智慧农业技术采纳。交互影响分析结果显示,对于位于城市郊区、农业特色产业突出、集体资产存量较高以及使用政务服务平台的村庄,高标准农田建设的智慧农业技术采纳促进效应更为明显。进一步地,高标准农田建设对地理位置邻近的其他村庄的智慧农业技术采纳存在正向空间溢出效应。基于研究结论,本文从加快完善高标准农田建设实施机制、持续创新智慧农业技术应用场景、发挥多重政策合力与优化区域协同机制等方面提出政策建议。

关键词:高标准农田 智慧农业 数字技术 新质生产力 技术采纳

中图分类号:F323.211;F49

文献标识码:A

文章编号:1000-7636(2026)04-0081-18

一、问题提出

加快智慧农业高质量发展是推进农业强国建设、培育农业新质生产力的内在要求。近年来,中国持续完善智慧农业发展的支持政策体系,并围绕农业全产业链智慧化转型开展试点探索。自2013年起,原农业农村部在大田种植、设施园艺、畜禽水产养殖等领域启动了系列农业物联网区域试验项目。在电商、物流、数据等各类平台的作用日益凸显的背景下,2017年以来,农业主管部门大力推进数字农业创新中心和重要农产品全产业链大数据试点等项目建设,并于2020年在全国110个特色农产品优势县开展“互联网+”农产品出村进城试点。随着农业农村整体数字化转型需求的增长,中央网络安全和信息化委员会办公室等多部门先后于2020年与2022年启动两批国家数字乡村试点。这些试点地区聚焦农业生产、经营、管理与服务等环节数字化转型需求,加快推进智能感知、智能分析、智能控制技术与装备在农业中的集成应用。2024年,《农业农村部关于印发〈全

收稿日期:2025-10-23;修回日期:2026-03-19

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目“农民有序参与经济数字化驱动乡村数字治理效能提升的机制与政策研究”(72303238);研究阐释党的二十大精神国家社会科学基金重大项目“加快建设农业强国的主要目标、重点任务与对策研究”(23ZDA045);中国社会科学院重大经济社会调查项目“乡村振兴综合调查及中国农村调查数据库项目建设”(GQDC2020017)

作者简介:苏岚岚 中国社会科学院农村发展研究所助理研究员,北京,100732;

王凯龙 宁夏大学经济管理学院硕士研究生,银川,750021;

于艳丽 宁夏大学经济管理学院副教授,通信作者。

作者感谢匿名审稿人的评审意见。

国智慧农业行动计划(2024—2028年)的通知》明确了今后一段时期加快智慧农业发展的总体要求、重点任务和组织保障。2026年中央一号文件进一步提出“因地制宜发展农业新质生产力,促进人工智能与农业发展相结合,拓展无人机、物联网、机器人等应用场景”。得益于各级政府的大力支持,中国农业物联网、农机自动驾驶和无人机等农业科技的应用进程加快。《数字中国发展报告(2023)》显示,设施栽培、畜禽养殖、水产养殖和种植业的数字化水平分别达到41.00%、32.80%、16.40%和21.80%。但因顶层设计不完善、技术供需不匹配、成本收益难平衡等问题,智慧农业技术的推广与应用仍然较为滞后^[1]。因此,立足把农业建成现代化大产业的新定位,加快探寻智慧农业高质量发展的可行路径,具有重要的现实意义。

高标准农田建设与智慧农业发展之间存在战略契合性,可为后者提供重要推动力。高标准农田建设是在耕地用途管制要求下提高耕地质量和保障国家粮食安全的重要手段。2025年中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《逐步把永久基本农田建成高标准农田实施方案》明确,“鼓励高标准农田经营主体自主推进水肥一体化、智能灌溉、墒情虫情自动监测、智慧气象服务等信息化建设”。《全国人大常委会执法检查组关于检查农业法实施情况的报告》显示,全国已累计建成高标准农田超10亿亩^①,约占全国耕地面积的52%,且13个粮食主产省(区)累计建成面积约占全国的七成。改善技术应用条件始终是高标准农田建设的重要内容之一,且越来越强调推进物联网、大数据、智能控制、卫星定位等技术在农田生产经营全过程中的应用,以提高农田综合生产能力。已有研究表明,高标准农田建设在促进农地市场化流转、推动农业规模经营、提升农业生产效益等方面发挥了积极作用^[2-3]。然而,高标准农田建设也存在生产经营效率不高、建管用衔接不畅、农民参与建管护积极性偏低、建设效能未得到充分激活等问题^[4-5]。在高标准农田建设由“量的积累”转向“质的提升”的关键阶段,智慧农业有望成为破解前述困境的切入点。然而,关于高标准农田建设对智慧农业发展的影响效应及作用机制还缺乏微观证据。理论上,高标准农田建设所带来的农业生产条件改善有助于降低技术采纳门槛、强化技术节本增效优势,进而提升农民采纳智慧农业技术的积极性。鉴于此,高标准农田建设究竟能否以及如何促进智慧农业发展仍有待探讨。

本文的边际贡献在于:一是在宏观统计数据较为缺乏的条件下,采用具有代表性的微观追踪调查数据(覆盖10个省份50个县304个行政村),刻画高标准农田建设与智慧农业技术采纳情况,揭示了高标准农田建设对智慧农业发展的赋能效应,可以进一步丰富已有研究;二是基于农作物种植结构调整、农地资源配置、农业规模经营三条路径,打开了高标准农田建设影响智慧农业技术采纳的机制黑箱;三是实证检验了高标准农田建设对地理位置邻近的其他村庄的智慧农业技术采纳的空间溢出效应,为区域智慧农业协同发展提供了理论参考。本文的研究结论丰富了智慧农业发展的理论框架,可以为构建强农惠农富农目标导向下高标准农田建设和智慧农业协同发展的政策支持体系提供思路。

二、文献综述

早期研究主要采用省级或市级数据探讨高标准农田建设对农业要素投入、耕地资源利用和农业生产效益的影响。基于省级面板数据的研究表明,高标准农田建设不仅通过降低农业经营风险、提升经营效益、推动农业技术进步等渠道促进农地流转和农业规模经营^[6],而且通过促进农业机械化、土地流转以及耕地复种提升区域粮食综合生产能力^[7],还通过土地流转与农业机械化,推动农业的横向与纵向分工,加速农村劳动力从农业部门向非农部门转移^[8]。相关研究还证实,高标准农田建设促进耕地复种的主要路径在于农业生产效率提升、农业种植结构调整以及农业经营规模扩大^[9]。基于地级市数据的研究表明,高标准农田建设对部分农业要素

①1亩≈666.67平方米。

投入具有替代效应,降低了农业劳动力要素和化肥要素的投入^[2]。此外,孙学涛和张丽娟实证检验了高标准农田建设对区域智慧农业发展的影响效果,并识别了农业产业结构和农业机械化的路径作用^[10]。

随着微观调查的推进,越来越多的研究采用农户或地块数据评估高标准农田建设的经济影响。这些影响主要体现在四个方面。一是对农地流转和农业规模经营的影响。例如,陈江华和洪炜杰采用江西省农户调查数据的研究表明,高标准农田建设促进了农地转入但抑制了农地转出^[11];赵宇和孙学涛基于山东省村庄调查数据的研究发现,高标准农田建设通过提升机械化水平、降低劳动强度,促进新型农业经营主体扩大农地经营规模^[12];王术坤和林文声进一步研究发现,高标准农田建设通过提升耕地质量、节省农业生产成本和提高农地交易价值等路径促进农地流转市场化转型^[3]。二是对农户种植结构调整及种粮收益的影响。例如,王术坤等基于中国乡村振兴综合调查地块数据的研究发现,高标准农田建设通过改善灌溉条件、增加农地租入规模和提高机械化水平进而促进农作物种植结构调整^[13];张应良和龚燕玲基于10个省份农户调查数据的研究表明,高标准农田建设可提升三大粮食作物(水稻、小麦、玉米)的亩均净利润^[14];王镜淳等进一步指出,高标准农田建设促进规模农户增收的主要路径在于土地转入和自购机械^[15]。三是对农业社会化服务的影响。例如,孙学涛基于村庄调查数据的研究发现,高标准农田建设能够明显提高农业产中和产后服务水平^[16];龚燕玲等基于农户调查数据的研究证实,高标准农田建设政策实施和规模增加能够促进规模农户的服务外包决策^[17]。四是对农户生态种植行为的影响。例如,孙学涛和庞静泊基于全国农村固定观察点数据的研究表明,高标准农田建设明显促进农户实施生态耕种行为,减少化肥和农药使用量^[18]。

综上,已有研究分别从宏观和微观层面探讨了高标准农田建设的经济效应,视角主要聚焦于高标准农田建设对农地流转、农业规模经营、耕地资源利用、农业生产效益等方面的影响。少量研究证实了高标准农田建设对农业机械化技术扩散的影响以及对区域智慧农业发展的影响,但关于高标准农田建设对以物联网、人工智能和大数据等为代表的智慧农业技术采纳与扩散的影响及其微观作用机制的探讨明显不足。

三、理论分析与研究假设

(一) 高标准农田建设对智慧农业技术采纳的影响

智慧农业发展受到区域农业产业结构、资源配置水平、农地规模经营程度等多重因素的影响^[19-20],而高标准农田建设可重塑区域农业生产经营方式与资源配置决策。随着高标准农田建设和智慧农业试点的推进,越来越多的地区将推广应用智慧农业技术作为高标准农田建设的重要内容。总体上,以绝对规模和相对规模表征的高标准农田建设预期可通过种植结构调整效应、耕地资源优化配置效应、农地经营方式转型效应等机制影响村庄智慧农业技术的采纳。

依据创新扩散理论,技术(相对优势、复杂性、可试验性等)特征以及外部环境是构成新技术扩散的关键影响因素^[21]。理论上,高标准农田建设会影响智慧农业技术扩散的关键属性。例如,高标准农田建设所带来的土地平整、地块边界厘清与道路硬化条件改善,有助于强化智慧农业技术的比较优势,保障农机装载的全球导航定位系统(GPS)或北斗导航系统精准作业,并为植保无人机的安全起降提供必要的场所支持;高标准农田建设所带来的电力、网络覆盖等配套设施的改善,有助于降低智慧农业技术操作的复杂性和应用的不确定性,保障农业物联网设备及相关数据采集平台的可持续运作。此外,高标准农田集中连片区域往往容易成为政府或企业开展无人机植保、农业物联网、农机GPS导航等智慧农业技术应用试验的示范点,相关技术应用也因作业效率提升和生产效益改善而在区域内产生示范带动效应。

从理性经济人角度看,村庄内各类农业经营主体关于新技术采纳决策是综合考虑成本、收益与风险等多重因素的理性选择结果,智慧农业技术使用带来的综合效用在较大程度上影响村庄的采纳决策。由于智

慧农业技术采纳的初始投入成本相对较高、农业投资回收周期较长且市场不确定性较高,一些农业经营主体难以在短期内实现成本收益平衡。现阶段,人工智能、大数据、区块链等智慧农业技术在村庄层面的应用与扩散较为滞后,这在一定程度上受到农业生产经营脆弱性较高以及比较效益偏低等因素的影响^[22]。理论上,高标准农田建设可通过土地平整、排灌设施更新、地力提升等系列工程措施的实施系统性地改善区域农业生产条件,加快提升农业规模化水平与抗风险能力,持续拓展农业降本增效空间,进而促进智慧农业技术在农业产前、产中与产后各环节的引进与推广。进一步地,各类智慧农业技术应用有助于在全产业链环节降低农业生产成本、提高农业生产比较效益、增强农业产业链韧性、增加农民经营性收入^[23-24],进而改善村庄采纳智慧农业技术的综合效用。

基于上述分析,本文提出假设1:高标准农田建设促进智慧农业技术采纳。

(二) 高标准农田建设对智慧农业技术采纳的影响机制

高标准农田建设可通过种植结构调整影响智慧农业技术采纳。高标准农田建设注重完善农田基础设施与改善农业生产条件,以增强农田防灾抗灾减灾能力和粮食综合生产能力。基于农户层面调查数据的研究指出,高标准农田建设相关工程措施的实施推动了村庄土地流转,并通过农地规模经营和服务规模经营,强化农民种粮行为^[17];高标准农田建设还增强了农民对农地经营的收益预期和长期投资倾向,减少生产损失^[25],稳定农民种粮积极性,提升种粮的综合收益,进而在政策引导下提高粮食作物种植比例。基于地块层面调查数据的研究发现,高标准农田建设使得三大粮食作物种植比例提高7.97%^[13]。理论上,高标准农田建设极大地提升了农田作业条件对于粮食作物的适配性,引导农户将更多农地用于粮食作物种植。相较于经济作物,粮食作物种植的标准化程度相对较高、智慧农业技术的需求潜力较大,可降低智慧农业设备与技术投资所面临的资产专用性风险。总体上,村庄粮食作物种植比重越高,打药、施肥、耕地等农事活动开展频率越高且农业社会化服务需求越为普遍,越能激发村庄尤其是规模经营主体发育较好的村庄对无人机植保、农机智能导航系统、农业物联网等适用于大田作物种植的数字技术采纳需求。

基于上述分析,本文提出假设2:高标准农田建设通过种植结构调整促进智慧农业技术采纳。

高标准农田建设可通过耕地资源优化配置影响智慧农业技术采纳。高标准农田建设工程的重要措施包括集中连片开展田块整治、土壤改良、配套设施建设等方面。这些工程的实施有助于破解耕地碎片化、耕地质量下降、配套设施不佳等问题,不断提高耕地质量,增强农民对农地投资的积极性^[9],进而减少耕地撂荒现象、推动耕地资源重组与配置优化^[26-27]。进一步地,高标准农田建设所带来的土地资源高效利用是促进智慧农业技术扩散的重要基础。理论上,包括撂荒地在内的耕地资源的开发利用有助于扩大村庄实际耕地面积、提高农民对农地的禀赋效应、强化村庄关于农业投资的预期,而种植规模的增加能够在一定程度上分摊单位产出中智慧农业设备采购和技术服务购买的成本,进而促进农业无人机、物联网、农机智能导航等智慧农业技术的使用与扩散。此外,实际耕地面积的增加可使村庄面临劳动力短缺的挑战,而智慧农业技术的采纳能够对劳动力要素投入产生一定的替代作用。

基于上述分析,本文提出假设3:高标准农田建设通过耕地资源优化配置促进智慧农业技术采纳。

高标准农田建设可通过农地规模经营影响智慧农业技术采纳。高标准农田建设项目的实施有助于提升区域耕地的整体质量,改善农业生产条件,增强农业抵御各类自然灾害的能力。在一定程度上,高标准农田建设可以降低农业产前、产中与产后各环节的生产成本,提高农业产出效率,调动更多农民转入土地和开展农地规模经营的积极性^[2]。进一步地,农地规模经营水平的提升可在降低单位面积技术采纳成本、提高技术采纳经济性(产生规模经济效应)的同时,吸引更多强农惠农富农政策支持、增加村庄的农业经营性收入,为引入智慧农业技术提供必要的经济条件支撑。此外,农地规模经营比例的提升使得村庄农业经营风

险增加,而环境监测、数据分析、智能控制等方面的数字技术使用,能够增强村庄农业生产经营活动的弹性,降低规模经营过程中的不确定性。与此同时,农业规模化经营效率和效益的提升不断催生农民对减少劳动力等要素投入、强化农业生产过程监管的新需求,进而提升其对物联网、智能农机装备、大数据等数字技术的采纳积极性。

基于上述分析,本文提出假设4:高标准农田建设通过农地规模经营促进智慧农业技术采纳。

(三) 高标准农田建设对智慧农业技术采纳的空间溢出效应

空间扩散理论指出,技术扩散体现为在均质空间上技术由中心向腹地以同心圆的形式展开,具有明显的近邻效应。鉴于高标准农田建设工程存在一定的区域示范性,且数字技术具有较强的空间渗透性和开放性等特征^[28],探究村庄高标准农田建设对智慧农业技术采纳的影响还需充分考虑两者在空间层面的关联性。理论上,高标准农田建设可通过示范带动以及技术、人才等要素跨区域扩散等路径对地理距离邻近的其他村庄及农户智慧农业技术采纳产生空间溢出效应。一方面,高标准农田建设项目实施可引导财政资金、金融资本和社会资本的投资方向,促进农村劳动力、农业技术等要素跨区域流动,打破信息孤岛,增进区域间要素共享与资源合作。另一方面,村庄高标准农田建设带来的农田基础设施改善、农业新技术新装备适用性增强、农业综合生产能力提升以及农民种植收益提高,均可对周边村庄产生示范带动效应。鉴于同一区域内,农业产业类型、技术需求、生产条件、市场环境等具有较高的相似性,高标准农田建设可通过模仿学习、资源互补与合作等路径促进智慧农业技术在同一区域内不同村庄间扩散或跨区域扩散,并影响地理位置邻近的其他村庄及农户的农地经营理念和要素配置方式,进而影响其智慧农业技术采纳决策。

基于上述分析,本文提出假设5:高标准农田建设对村庄智慧农业技术采纳的影响存在空间溢出效应。

四、研究设计

(一) 样本选取与数据来源

本文所使用的数据来源于中国社会科学院农村发展研究所发起的中国乡村振兴综合调查(CRRS)。该调查抽样原则如下:首先,项目组综合考量区域经济发展水平、地理位置、农业农村发展等因素,选取黑龙江、山东、河南、安徽、浙江、广东、四川、贵州、宁夏、陕西10个省份进行抽样;其次,在各样本省份依据县域人均地区生产总值(GDP)采用等距随机抽样方法抽取5个县;再次,采用相同的抽样方法,在各样本县根据乡镇和村庄经济发展水平随机抽取3个样本乡(镇)和2个样本村;最后,根据村委会提供的花名册等距随机抽取14个样本户。2020年基期调查样本覆盖10个省50个县(市、区)156个乡镇(镇)304个行政村共3833个农户。2022年追踪调查在省、县(市、区)以及村层面抽样方法不变的情况下,实现村级追访率100%,户层面的追访率79.39%;2024年追踪调查在原有基础上增加4个省28个县,新增的县、乡镇和村庄的抽样方法与基期一致。CRRS2022和CRRS2024数据库采集了样本村庄的高标准农田建设与智慧农业技术采纳方面的详细信息,且具有全国代表性,为本文研究提供了重要的数据支撑。为便于比较,本文仅保留两期调查中均存在的村庄样本,剔除关键信息缺失后为294个。

(二) 模型设定

为检验高标准农田建设对智慧农业技术采纳的直接影响,本文设定如下基准回归模型:

$$SmartAgri_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 HSFC_{it} + \mathbf{X}_{it}'\boldsymbol{\beta} + \lambda_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $SmartAgri_{it}$ 表示第*i*个村庄第*t*年的智慧农业技术采纳情况,包括无人机植保、农机GPS导航、传

传感器与第三方平台获取遥感信息的使用情况; $t=1$ 或 2 ,分别表示2022年和2024年。 $HSFC_{it}$ 表示第 i 个村庄第 t 年的高标准农田建设情况,包括高标准农田面积和高标准农田面积占比; X'_{it} 为控制变量向量, λ_i 为县域固定效应^①, γ_t 为时间(年份)固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。 α_0 表示常数项, α_1 为本文关注的回归系数,表示高标准农田建设对智慧农业技术采纳的影响。

为检验高标准农田建设对智慧农业技术采纳的具体机制,本文设定如下机制检验模型:

$$M_{it} = \delta_0 + \delta_1 HSFC_{it} + X'_{it}\beta + \lambda_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, M_{it} 为机制变量,包括村庄农作物种植结构、村庄耕地撂荒面积占比与村庄农地规模经营。其他变量含义同模型(1)。

为检验高标准农田建设与村庄特征影响智慧农业技术采纳的交互效应,本文设定如下模型:

$$SmartAgri_{it} = \theta_0 + \theta_1 HSFC_{it} + \theta_2 InterVar_{it} + \theta_3 HSFC_{it} \times InterVar_{it} + X'_{it}\beta + \lambda_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中, $InterVar_{it}$ 为交互变量,包括是否位于城市郊区村、村庄特色农产品、村庄集体资产与村庄政务服务平台使用。其他变量含义同模型(1)。

鉴于同县域内不同村庄之间既彼此独立又高度关联,以村域尺度探讨高标准农田建设的空间溢出效应契合现阶段高标准农田建设实际。因空间自滞后模型(SLX)包含的外生交互效应强调特定单位的被解释变量取决于其他单位的独立的解释变量,这与本文关注的研究问题具有一致性。本文设定如下空间计量模型:

$$SmartAgri_{it} = \mu_0 + \mu_1 HSFC_{it} + \mu_2 W \times HSFC_{it} + X'_{it}\beta + \lambda_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中, W 表示空间权重矩阵; $W \times HSFC_{it}$ 表示村庄高标准农田建设的空间滞后项;系数 μ_2 表示空间溢出效应。其他变量含义同模型(1)。为避免使用单一空间权重矩阵所存在的估计偏差,本文拟综合采用经济距离矩阵、反距离矩阵和经济地理嵌套矩阵进行空间溢出效应的估计。

(三) 变量说明

1. 被解释变量

村庄智慧农业技术采纳($SmartAgri$)。本文从无人机植保($SmartAgri_UAV$)、农机GPS导航($SmartAgri_GPSNav$)、农业传感器($SmartAgri_Sensor$)、第三方平台遥感信息服务($SmartAgri_RSInfo$)四个方面设计指标,以测度村庄智慧农业技术采纳。具体而言,若村庄在农业生产过程中存在使用无人机植保、农机GPS导航、农业传感器或使用第三方平台获取遥感信息等方面行为中的任意一种,则该样本村被识别为采用了智慧农业技术,即村庄智慧农业技术采纳变量赋值为1,否则赋值为0。

2. 核心解释变量

村庄高标准农田建设($HSFC$)。本文从村庄高标准农田面积($HSFC_Area$)和高标准农田面积占村庄耕地面积的比例($HSFC_Ratio$)两个方面测度村庄高标准农田建设情况,分别以本村累计建成高标准农田面积(万亩)、本村累计建成高标准农田面积占本村耕地总面积的比例进行衡量。

^① 本文拟在基准回归模型中控制县域固定效应而非村庄固定效应,主要考虑如下:鉴于两期数据中二值因变量智慧农业技术采纳取值未发生变化的样本村庄比例达73.47%,若使用村级固定效应将自动删除所有因变量在两期内未发生变化的样本,样本信息量损失过大,会导致估计结果方差较大、统计功效较低;而采用县域固定效应能够有效吸收所有不随时间变化的县域层面的混杂因素,并充分利用全部观测值,进而提高回归估计的有效性。此外,鉴于智慧农业技术的推广往往依托以县域为单元的示范试点,控制县域固定效应恰好捕捉了这种区域性共同背景,更有助于识别县域内不同村庄间因自身特征差异而导致的技术采纳差异。在工具变量回归模型中,鉴于工具变量为省级尺度的数据,拟在回归中控制省份固定效应。

3. 机制变量

村庄农作物种植结构 (*PlantStru*)、村庄耕地撂荒率 (*LandAban*) 和村庄农地规模经营 (*ScaleOpera*)^① 分别以村庄粮食作物播种面积占比、撂荒耕地占比、经营耕地规模为 50 亩及以上 (*ScaleOpera1*) 或 100 亩及以上 (*ScaleOpera2*) 农户所经营耕地面积占比进行衡量。

4. 交互变量

为揭示村庄高标准农田建设对智慧农业技术采纳影响的区域与群体差异,本文选取是否位于城市郊区村 (*SuburVill*)、村庄特色农产品 (*SpecAgriProd*)、村庄集体资产 (*CollectAsset*) 和村庄政务服务平台使用 (*GovSerPlat*) 四个变量进行交互影响分析,分别以是否为城市郊区村、村庄有无地理标志产品或绿色农产品或有机农产品标识、村庄包括经营性和非经营性资产等在内的集体资产总额 (万元)、村庄有无使用互联网政务服务平台进行衡量。

5. 控制变量

本文综合考虑了影响村庄智慧农业技术采纳的多重因素,尽可能控制了一些关键变量。具体包括:村庄户主平均年龄 (*AvgAge*)、村庄户主平均受教育年限 (*AvgEdu*)、村庄有灌溉条件耕地占比 (*IrriFland*)、村庄外出务工劳动力占比 (*Migrantlab*)、村庄人均可支配收入 (*AvgIncome*)、村庄返乡人才数量 (*ReturnedTal*)、村庄农业社会化服务组织 (*AgriSocialServ*)、村庄农业保险参保率 (*AgriInsur*)、村庄与乡镇距离 (*VillTownDist*)、数字乡村试点 (*DigVillPilot*)、村庄平均海拔 (*AvgAltitude*)。其中,村庄农业社会化服务组织变量以本村是否有命名为中心、站或点的农业生产服务场所衡量,数字乡村试点以本村所在县是否为数字乡村试点县衡量。此外,控制变量中连续变量的单位如下:村庄人均可支配收入 (万元)、村庄返乡人才数量 (人)、村庄与乡镇距离 (公里)、村庄平均海拔 (千米)。

(四) 变量描述性统计

表 1 报告了本文变量的描述性统计结果。在智慧农业技术采纳方面,结果显示,2022—2024 年样本村中采纳智慧农业技术的比例从 46.94% 增加至 63.27%,且样本村采用无人机植保、农机 GPS 导航、农业传感器和使用第三方平台获取遥感信息的比例均有不同程度的增加,平均采纳比例分别为 51.53%、35.03%、6.29% 和 7.48%。因场景适用性、使用成本与能力门槛等方面存在差异,不同智慧农业技术的使用比例不同。在高标准农田建设方面,2022—2024 年全样本村建设高标准农田面积平均为 549 亩,高标准农田面积占比平均为 12.49%。可知,当前中国高标准农田建设虽取得明显进展,但整体上的村庄覆盖率仍然不高。

统计结果还显示,2022—2024 年,全样本村粮食作物播种面积占比平均为 69.38%。全样本村耕地撂荒面积占比平均为 1.45%。若分别以经营面积 50 亩及以上、100 亩及以上作为规模经营的界定标准,全样本村农地规模经营面积占比平均分别为 22.10%、15.46%。相较于未建设高标准农田的村庄,建有高标准农田的村庄总体上有更高的粮食作物播种面积占比、更低的撂荒面积占比和更高的农地规模经营面积占比。此外,17.86% 的样本村为城市郊区村,近 1/3 的村庄有特色农产品,样本村庄集体资产均值为 906.10 万元,超过一半的村庄使用了互联网政务服务平台。

^① 依据《第三次全国农业普查主要数据公报 (第一号)》关于规模农业经营户的界定标准,本文分别采用农地经营规模 50 亩以上、100 亩以上作为规模经营临界值的确定依据。

表 1 描述性统计结果

变量类型	变量	两年平均(样本量 588)		2022年(样本量 294)		2024年(样本量 294)	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
被解释变量	<i>SmartAgri</i>	0.551 0	0.497 8	0.469 4	0.499 9	0.632 7	0.482 9
	<i>SmartAgri_UAV</i>	0.515 3	0.500 2	0.455 8	0.498 9	0.574 8	0.495 2
	<i>SmartAgri_GPSNav</i>	0.350 3	0.477 5	0.316 3	0.465 8	0.384 4	0.487 3
	<i>SmartAgri_Sensor</i>	0.062 9	0.243 0	0.034 0	0.181 6	0.091 8	0.289 3
	<i>SmartAgri_RSInfo</i>	0.074 8	0.263 3	0.040 2	0.198 2	0.108 8	0.312 0
解释变量	<i>HSFC_Area</i>	0.054 9	0.121 4	0.059 9	0.130 2	0.049 8	0.112 0
	<i>HSFC_Ratio</i>	0.124 9	0.248 3	0.123 2	0.247 9	0.126 6	0.249 1
机制变量	<i>PlantStru</i>	0.693 8	0.422 8	0.654 0	0.400 5	0.733 5	0.441 0
	<i>LandAban</i>	0.014 5	0.047 7	0.015 7	0.052 4	0.013 3	0.042 5
	<i>ScaleOpera1</i>	0.221 0	0.294 9	0.213 4	0.309 7	0.228 7	0.279 6
	<i>ScaleOpera2</i>	0.154 6	0.233 5	0.149 6	0.242 7	0.159 7	0.224 2
交互变量	<i>SuburVill</i>	0.178 6	0.383 4	0.183 7	0.387 9	0.174 1	0.379 8
	<i>SpecAgriProd</i>	0.302 7	0.459 8	0.302 7	0.460 2	0.302 7	0.460 2
	<i>CollectAsset</i>	0.906 1	0.998 9	0.852 9	0.955 2	0.959 3	1.039 6
	<i>GovSerPlat</i>	0.527 2	0.499 7	0.561 2	0.497 1	0.493 2	0.500 8
控制变量	<i>AvgAge</i>	58.915 6	5.381 1	57.970 4	4.861 0	60.001 8	5.358 4
	<i>AvgEdu</i>	8.080 8	1.424 8	8.083 4	1.385 2	8.078 7	1.465 6
	<i>IrriFland</i>	0.609 2	0.418 1	0.599 9	0.421 6	0.618 5	0.415 2
	<i>Migrantlab</i>	0.365 9	0.250 9	0.380 9	0.253 7	0.350 9	0.247 5
	<i>AvgIncome</i>	1.817 9	0.983 7	1.633 3	0.865 1	2.004 3	1.058 9
	<i>ReturnedTal</i>	7.363 9	25.583 2	4.142 9	23.524 4	10.585 0	27.148 0
	<i>AgriSocialServ</i>	0.183 7	0.387 5	0.238 1	0.426 6	0.129 3	0.336 1
	<i>AgriInsur</i>	0.317 7	0.304 0	0.325 8	0.304 5	0.309 6	0.303 8
	<i>VillTownDist</i>	5.922 7	5.784 2	5.921 7	5.785 5	5.923 7	5.792 8
	<i>DigVillPilot</i>	0.081 6	0.274 0	0.081 6	0.274 3	0.081 6	0.274 3
	<i>AvgAltitude</i>	0.490 8	0.606 7	0.490 8	0.607 2	0.490 8	0.607 2

五、实证结果与分析

(一) 基准回归结果

1. 总体影响估计

表2汇报了高标准农田建设影响智慧农业技术采纳的基准回归结果。由列(1)和列(2)的估计结果可知,在未控制县域固定效应和时间固定效应的情况下,村庄高标准农田面积与村庄高标准农田面积占比对智慧农业技术采纳影响的回归系数均在1%统计水平下显著为正。由列(3)和列(4)的估计结果可知,控制县域固定效应和时间固定效应后,上述研究结论仍然成立。进一步计算可知,村庄高标准农田面积对智慧农业技术采纳影响的边际效应为0.5541,村庄高标准农田面积占比对智慧农业技术采纳影响的边际效应为0.2200,即村庄高标准农田面积每增加1000亩,村庄采纳智慧农业技术的概率增加5.54%;村庄高标准农田面积占比每增加0.10个百分点,村庄采纳智慧农业技术的概率提升2.20%。因此,假设1得到证实。无论是从绝对规模还是从相对规模看,农田基础设施的现代化可为智慧农业技术推广应用和农业数字化提档升级产生拉动作用。具体而言,村庄高标准农田建设所带来的耕地集中连片、排灌设施改善和土壤肥力提升等,在一定程度上减少了智慧农业技术采纳的外部条件约束,降低了初始投入成本,增强了农业韧性,进而提升相关技术采纳的综合效益;同时,高标准农田往往承载较高的产出和收益预期,激励经营主体采纳智慧农业技术以进一步提升生产效率、资源利用率和规模经营效益,进而强化农田的专用性资产投资。该结论为在高标准农田集中连片区域推进智慧农业技术应用试点提供了实证支撑。此外,尽管高标准农田建设实践中存在以县域为单元全域推进和部分乡镇重点推进等不同建设模式,以及财政、金融、社会资本等不同建设资金来源,但总体上,高标准农田建设表现出明显的智慧农业技术采纳促进效应。

控制变量方面,由列(1)和列(2)的估计结果可知,在未控制县域固定效应和时间固定效应的情况下,村庄外出务工劳动力占比、村庄与乡镇距离、村庄平均海拔的回归系数至少在10%水平下显著为负,而村庄有灌溉条件耕地占比、村庄返乡人才数量、村庄农业保险参保率的回归系数至少在5%水平下显著为正。进一步,由列(3)和列(4)的估计结果可知,控制县域固定效应和时间固定效应后,村庄有灌溉条件耕地占比、村庄外出务工劳动力占比、村庄平均海拔的回归系数不再显著,而村庄返乡人才数量、村庄农业保险参保率、数字乡村试点的回归系数至少在10%水平下显著为正,村庄与乡镇距离的回归系数在5%水平下显著为负。因此,返乡人才较多、农业保险参保率较高、与乡镇距离较近且处于数字乡村试点县的村庄的智慧农业技术采纳概率总体上更高。

表2 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>HSFC_Area</i>	4.7749*** (1.0172)		3.8752*** (1.4486)	
<i>HSFC_Ratio</i>		1.4669*** (0.4154)		1.5420*** (0.5537)
<i>AvgAge</i>	0.0300 (0.0188)	0.0295 (0.0187)	0.0074 (0.0374)	0.0100 (0.0375)

表2(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>AvgEdu</i>	0.022 5 (0.075 7)	0.009 2 (0.075 0)	0.033 2 (0.148 5)	0.022 1 (0.148 2)
<i>Irrifland</i>	0.513 6** (0.242 3)	0.494 5*** (0.240 5)	0.391 6 (0.405 0)	0.372 1 (0.399 8)
<i>Migrantlab</i>	-0.723 3* (0.379 6)	-0.658 1* (0.374 1)	-0.710 6 (0.528 7)	-0.669 0 (0.525 4)
<i>AvgIncome</i>	0.010 5 (0.098 7)	0.004 3 (0.099 2)	0.048 3 (0.199 4)	0.074 8 (0.207 6)
<i>ReturnedTal</i>	0.012 4** (0.005 3)	0.012 7** (0.005 3)	0.015 4* (0.008 0)	0.015 1** (0.007 7)
<i>AgriSocialServ</i>	0.079 8 (0.241 1)	0.073 0 (0.238 9)	0.216 4 (0.343 7)	0.183 3 (0.350 6)
<i>AgriInsur</i>	2.513 4*** (0.358 0)	2.672 2*** (0.356 1)	1.370 9* (0.742 7)	1.426 6* (0.773 9)
<i>VillTownDist</i>	-0.043 3** (0.017 0)	-0.041 1** (0.016 7)	-0.065 6** (0.028 7)	-0.063 9** (0.028 1)
<i>DigVillPilot</i>	0.325 9 (0.362 4)	0.366 0 (0.356 0)	4.729 1*** (1.034 1)	5.248 9*** (1.048 3)
<i>AvgAltitude</i>	-0.571 3*** (0.190 6)	-0.441 4** (0.180 3)	-1.499 3 (0.966 1)	-1.415 6 (0.992 4)
常数项	-2.391 4 (1.507 7)	-2.310 7 (1.489 0)	-3.269 1 (2.947 2)	-3.355 6 (2.961 4)
县域固定效应	未控制	未控制	控制	控制
时间固定效应	未控制	未控制	控制	控制
Wald χ^2	126.000 0***	111.730 0***	256.930 0***	257.620 0***
Pseudo R^2	0.155 7	0.138 1	0.356 7	0.357 7
样本量	588	588	522	522

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平下显著，括号中数值为稳健标准误。后表同。因控制县域固定效应后，存在6个样本县的33个样本村在两期二元被解释变量取值方面没有观测到有效变异，导致该部分样本被自动删除，样本量为522个。

2. 分领域影响估计

为明确村庄高标准农田建设对不同类型智慧农业技术采纳的差异化影响，本文进一步开展分领域分析。估计结果如表3所示。列(1)、列(3)和列(7)的估计结果显示，村庄高标准农田面积对村庄使用无人机植保、使用农机GPS导航和使用第三方平台遥感信息影响的回归系数分别在1%、1%和10%水平下显著为正。列(2)、列(4)和列(8)的估计结果显示，村庄高标准农田面积占比对村庄使用无人机植保、使用农机GPS导航及使用第三方平台获取遥感信息影响的回归系数分别在5%、1%和10%水平下显著为正。与此同时，列(5)和列(6)的估计结果显示，村庄高标准农田面积及高标准农田面积占比对村庄内农户使用农业传感器影响的回归系数不显著。上述结果表明，村庄高标准农田建设所带来的农田生产经营条件改善和规模化水平提升主要释放了农业机械化和信息化发展的潜力，特别是催生了农民对无人机植保、农机GPS导航以及第三

方平台遥感信息服务的需求。这些技术的应用具有便捷高效、灵活性强、作业覆盖面广等典型特征,能够适应规模化经营的需要。总体上,高标准农田建设促进了多元智慧农业技术采纳,且对不同智慧农业技术采纳的影响存在由技术本身属性与技术使用情境共同形塑的明显差异。

就分领域的影响差异看,高标准农田面积对村庄采纳无人机植保的促进作用大于对使用农机 GPS 导航及第三方平台获取遥感信息的影响,高标准农田面积占比对村庄采纳农机 GPS 导航的促进作用大于对使用无人机植保及第三方平台获取遥感信息的影响,但对村庄使用农业传感器的影响均不明显。可能的解释为:无人机植保采纳决策的核心逻辑在于规模经济驱动,村庄高标准农田面积越大、潜在作业规模越大,往往单位面积作业成本越低、投资回报的确定性越高;但高标准农田面积占比高,并不意味着作业绝对面积大,可能依然难以形成规模经济。农机 GPS 导航采纳的核心逻辑在于作业质量驱动,高标准农田面积占比越高,往往意味着村庄耕地集中连片程度高、农田基础设施较好,为农机 GPS 导航功能的发挥提供了条件。第三方平台遥感信息使用的核心逻辑在于信息决策驱动,高标准农田面积越大越可能增加遥感信息价值,但两者并非完全正相关;高标准农田占比高的村庄开展精细化管理可催生遥感信息服务需求,但该需求可被本地知识与经验部分替代。此外,农业传感器的使用具有地域专属性,主要用于精准灌溉、精准施肥与作物生长环境调控。在当前户均农地经营规模偏低、传感器购置和维护成本较高以及农业智能决策系统的使用率较低的情况下,高标准农田建设对农业传感器推广应用的作用有限。

表 3 分领域回归结果

变量	SmartAgri_UAV		SmartAgri_GPSNav		SmartAgri_Sensor		SmartAgri_RSInfo	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
HSFC_Area	4.188 3*** (1.399 8)		2.836 3*** (1.054 0)		-0.498 4 (1.621 7)		2.949 7* (1.710 3)	
HSFC_Ratio		1.446 6** (0.673 3)		1.901 6*** (0.528 0)		-1.282 2 (1.076 5)		1.499 6* (0.774 1)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-2.212 5 (3.336 4)	-2.682 7 (3.299 2)	-1.462 9 (1.054 3)	-1.457 6 (2.495 8)	-0.894 9 (4.003 2)	-1.155 7 (3.971 7)	-5.559 3 (4.038 9)	-6.443 7 (3.886 7)
县域固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Wald χ^2	205.060 0***	201.550 0***	160.770 0***	167.540 0***	48.370 0*	50.110 0**	46.570 0*	46.380 0*
Pseudo R^2	0.312 6	0.307 3	0.235 8	0.245 7	0.218 5	0.226 3	0.182 2	0.165 2
样本量	522	522	522	522	522	522	522	522

(二) 内生性分析

考虑到前述估计中村庄高标准农田面积和高标准农田面积占比可能为内生变量,导致模型估计存在偏误,本文采用工具变量回归进行进一步估计。鉴于工具变量的“绝对排他性”要求较为苛刻,且历史层面的工具变量具有近似外生的优势^[29],本文拟以历史年份村庄所在省份的灌溉机电井占比^①作为村庄高标准农田面积及其占比的工具变量。从相关性看,对于历史上机电井占比较高的省份,农业发展高度依赖地下水灌溉,这些地区的村庄更有动力开展高标准农田建设,且更倾向于将机电井升级、配套设施完善和智能化改

① 村庄所在省份的灌溉机电井占比(灌溉机电井数占所有机电井数的比例)数据来源于 2008 年和 2010 年的《中国水利统计年鉴》。

造作为建设的重要内容;而对于历史上机电井占比低的省份,灌溉主要依赖河流、水库等地表水,这些地区的村庄建设高标准农田的动力相对较弱。此外,国家及地方政府在分配高标准农田建设指标和资金时,往往将历史上机电井占比高的地区视为水资源压力较大的地区而给予一定的项目和资金倾斜。从排他性看,历史上省域机电井占比分布情况主要由特定省份地下水资源、土壤渗透性、气候干旱程度等自然条件和历史时期国家水利政策等因素共同决定,反映区域灌溉基础设施条件;即便当期作物种植类型(如高附加值型、需水型)可能与智慧农业技术采纳相关,但作为长期形成、预先决定的地区特征,历史灌溉面积影响村庄智慧农业技术采纳的渠道主要在于塑造农业基础设施条件与灌溉习惯。因而,相对于当期高标准农田建设,历史时期村庄所在省份灌溉机电井占比具有近似外生性。此外,为尽可能捕捉同时影响灌溉机电井占比和智慧农业技术采纳的因素,本文还控制了村庄有灌溉条件耕地占比、村庄人均可支配收入、村庄平均海拔等因素。

表4汇报了工具变量回归估计结果。由列(1)和列(2)的回归结果可知,杜宾-吴-豪斯曼检验(简称DWH检验)均拒绝村庄高标准农田建设为外生变量的原假设。一阶段F值均大于经验值10,表明不存在弱工具变量问题。估计结果显示,村庄高标准农田面积和高标准农田面积占比对智慧农业技术采纳影响的回归系数均在1%水平下显著为正。总体上,工具变量回归结果再次证实了村庄高标准农田建设所具有的智慧农业技术采纳促进效应。

分领域看,列(3)—列(4)的回归结果显示,DWH检验未拒绝核心解释变量为外生变量的原假设,表明相应方程应采用基准回归估计结果进行解释,即村庄高标准农田面积和高标准农田面积占比均对村庄使用无人机植保产生明显的正向影响。列(5)—列(8)的回归结果显示,DWH检验均拒绝核心解释变量为外生变量的原假设,村庄高标准农田面积和高标准农田面积占比对村庄使用农机GPS导航以及使用第三方平台获取遥感信息影响的回归系数均在1%水平下显著为正。

表4 内生性分析回归结果

变量	SmartAgri		SmartAgri_UAV		SmartAgri_GPSNav		SmartAgri_RSInfo	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
HSFC_Area	9.285 8*** (1.961 4)		7.413 8** (3.233 8)		9.575 9*** (1.701 4)		9.744 8*** (1.951 7)	
HSFC_Ratio		3.634 6*** (0.715 4)		2.489 3* (1.365 5)		4.371 1*** (0.398 3)		4.215 4*** (0.617 8)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	-0.585 3 (0.476 4)	-1.456 5 (1.039 6)	-1.279 4 (1.251 2)	-1.821 3 (1.428 8)	0.613 5 (1.104 5)	0.310 1 (0.780 4)	0.151 9 (1.155 8)	-1.289 3 (1.475 7)
省份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
第一阶段F值	30.300 0	10.010 0	30.300 0	10.010 0	30.300 0	10.010 0	30.300 0	10.010 0
Wald χ^2	220.990 0***	912.250 0***	510.990 0***	461.050 0***	344.950 0***	473.420 0***	688.710 0***	183.370 0***
DWH 检验	10.110 0***	4.380 0***	1.060 0	0.790 0	183.830 0***	40.480 0***	6.430 0**	3.430 0*
样本量	588	588	588	588	588	588	588	588

注:工具变量估计与前述基准回归估计在样本量方面存在一定差异,主要是因为从控制县域固定效应到控制省域固定效应,由于“组”的边界扩大,原来在被解释变量取值方面没有观测到有效变异而被自动删除的两期66个观测值,因能在更宽的组内提供变异信息而被保留。

(三) 稳健性检验^①

本文从两方面进行稳健性检验。一是更换核心解释变量的测度。以当年新增建成高标准农田面积和新增高标准农田面积占比分别替代存量视角下的村庄高标准农田面积和高标准农田面积占比重新进行回归估计。二是更换因变量的测度。本文对村庄是否使用无人机植保、是否使用农机 GPS 导航、是否使用农业传感器、是否使用第三方平台获取遥感信息 4 个题项采用因子分析法,构造“村级智慧农业技术采纳度”变量作为被解释变量再次进行回归估计。结果显示,村庄高标准农田建设对智慧农业技术采纳仍然具有明显促进作用。这表明前述核心研究结论稳健。

(四) 机制检验

为揭示高标准农田建设对村庄智慧农业技术采纳的影响路径,本文进一步从作物种植结构调整、耕地资源配置和农业经营方式转型三个方面进行实证检验。回归结果如表 5 所示。

列(1)的估计结果显示,村庄高标准农田建设面积对粮食作物种植面积占比影响的回归系数在 5%水平下显著为正。列(2)以村庄高标准农田面积占比为核心解释变量的估计结果再次证实了这一研究结论。这表明,尽管一些地区存在粮食作物和经济作物轮作或套种的种植模式,但在粮食安全目标和耕地用途严格管制背景下,村庄高标准农田建设项目的推进提升了粮食作物种植比例,抑制农地非粮化倾向。假设 2 得到证实。总体上,高标准农田建设所带来的农业生产效率提升和增产增收预期,在较大程度上稳定了农民种粮积极性、激发了农民农地投资意愿,推动更多农民在大田作物种植中积极采用无人机植保、农机 GPS 导航、第三方平台遥感信息服务等智能农业设备与技术。

表 5 机制检验回归结果

变量	PlantStru		LandAban		ScaleOpera1		ScaleOpera2	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
HSFC_Area	0.303 5** (0.134 6)		-0.301 9** (0.109 0)		0.499 1*** (0.151 8)		0.484 7*** (0.154 1)	
HSFC_Ratio		0.113 1* (0.065 2)		-0.130 9** (0.044 7)		0.149 7** (0.073 4)		0.139 6* (0.074 7)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
常数项	0.933 3*** (0.254 8)	0.938 4*** (0.255 6)	-0.157 1 (0.135 6)	-0.167 4 (0.135 3)	-0.038 2 (0.292 9)	-0.040 9 (0.292 3)	0.040 7 (0.295 1)	0.027 4 (0.296 4)
县域固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
LR χ^2	107.280 0***	105.220 0***	75.770 0***	76.160 0***	29.130 0***	32.560 0***	41.070 0***	24.670 0***
Pseudo R ²	0.142 2	0.139 5	0.330 4	0.332 1	0.041 3	0.046 1	0.040 6	0.032 3
样本量	588	588	588	588	588	588	588	588

注:均采用 Tobit 模型进行回归估计。

列(3)的估计结果显示,村庄高标准农田建设面积对耕地撂荒面积影响的回归系数在 5%水平下显著为负。列(4)以村庄高标准农田面积占比为核心解释变量的估计结果再次证实这一研究结论。这表明,高标

^① 限于篇幅,省略具体回归结果,备案。

准农田建设通过集中连片开展地块整治、土壤改良、配套设施建设等措施,改善了耕地碎片化、土壤质量下降、设施不配套等问题,提升了农地质量和农地价值,有效减少了土地撂荒。因此,假设3得到证实。总体上,村庄高标准农田建设通过优化耕地资源开发利用、减少耕地撂荒,提升农地资源禀赋效应,进而促进无人机植保等智慧农业技术采纳。

列(5)和列(7)的估计结果显示,无论是以农地经营规模50亩还是100亩作为规模经营的识别标准,村庄高标准农田建设面积对农地规模经营影响的回归系数均在1%水平下显著为正。列(6)和列(8)以村庄高标准农田面积占比为核心解释变量的估计结果再次证实这一研究结论。这表明,高标准农田建设通过提高水土资源利用效率和土地产出率、带动农业机械化提档升级,进而推动农地规模经营主体成长。随着村庄农地规模经营的比例提高,村庄新型农业经营主体对采用智慧农业技术、实现降本增效的需求日益增长。因此,假设4得到证实。总体上,高标准农田建设所带来的农业生产条件改善有效促进了农地规模经营,进而为智慧农业技术应用与推广创造了有利条件。

(五) 交互影响分析

表6汇报了高标准农田面积与村庄特征变量的交互影响的回归结果。

列(1)的估计结果显示,村庄高标准农田面积与村庄位于城市郊区交互项的回归系数在10%水平下显著为正。通常情况下,相较于远郊区的村庄,位于城市郊区的村庄信息通达度较好、经济发展水平较高且以经济附加值较高的农作物种植为主,高标准农田建设更有助于推动该类村庄采纳智慧农业技术。

表6 交互影响分析回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>HSFC_Area</i>	3.149 4** (1.455 7)	3.041 1** (1.421 6)	7.041 4*** (2.052 5)	1.593 8 (2.198 1)
<i>SuburVill</i>	0.431 5 (0.440 0)			
<i>HSFC_Area</i> × <i>SuburVill</i>	14.655 1* (7.738 2)			
<i>SpecAgriProd</i>		0.447 2 (0.309 8)		
<i>HSFC_Area</i> × <i>SpecAgriProd</i>		4.569 3** (2.227 7)		
<i>CollectAsset</i>			0.101 3 (0.216 2)	
<i>HSFC_Area</i> × <i>CollectAsset</i>			8.507 8*** (2.935 1)	
<i>GovSerPlat</i>				0.288 9 (0.253 0)
<i>HSFC_Area</i> × <i>GovSerPlat</i>				4.643 3* (2.612 9)
控制变量	控制	控制	控制	控制
常数项	-3.491 0 (2.994 8)	-3.180 8 (2.892 2)	-3.546 6 (3.042 1)	-3.384 1 (2.939 3)

表6(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
县域固定效应	控制	控制	控制	控制
时间固定效应	控制	控制	控制	控制
Wald χ^2	257.960 0***	263.520 0***	269.100 0***	262.900 0***
Pseudo R^2	0.359 4	0.365 9	0.373 6	0.365 0
样本量	522	522	522	522

列(2)的估计结果显示,村庄高标准农田面积与村庄特色农产品交互项的回归系数在5%水平下显著为正。这表明,对于农业产业发展基础较好、农业产业特色较鲜明的村庄,高标准农田建设更有助于激发这些村庄农民的农地投资意愿,通过引入无人机植保、农机GPS导航、第三方平台遥感信息服务等多样化智慧农业技术改造农业生产全过程。

列(3)的估计结果显示,村庄高标准农田面积与村庄集体资产交互项的回归系数在1%水平下显著为正。这表明,村庄集体经济发展会强化高标准农田建设对智慧农业技术采纳的促进效应。因智慧农业技术应用前期投入较大且需要网络、道路等配套基础设施建设的支撑,拥有集体资产较多的村庄通常具有较强的村级组织能力、风险承担能力,且能够以村集体购买社会化服务、村集体出资建设综合农事服务中心提供技术服务等形式为智慧农业技术在村庄的推广应用提供直接资金支持或配套条件保障,因而,这些村庄的高标准农田建设更可能促进智慧农业技术的引入。

列(4)的估计结果显示,村庄高标准农田面积与村庄政务服务平台使用交互项的回归系数在10%水平下显著为正。这表明,村庄使用“互联网+政务服务”平台,会强化高标准农田建设对智慧农业技术采纳的促进效应。村庄在党群教育、村务管理、便民服务等诸多领域使用“互联网+政务服务”平台可培养村民的数字化意识与思维、提高其数字素养与技能,加速数字技术应用从基层治理领域向农业生产领域渗透,进而强化高标准农田建设对相关技术采纳的促进作用。

(六)空间溢出效应

表7汇报了村庄高标准农田建设对智慧农业技术采纳的空间溢出效应检验结果。结果显示,在采用经济距离矩阵、反距离矩阵、经济地理距离嵌套矩阵为空间权重矩阵的回归中,村庄高标准农田建设空间滞后项的回归系数分别在1%、5%和5%水平下显著为正,假设5得到证实。这表明,随着全国各地加快推进高标准农田建设进程,高标准农田建设所带来的增产增效作用得以在更广泛的地域范围内显现。村庄高标准农田建设不仅促进本村智慧农业技术采纳,而且通过示范带动以及劳动力、技术、资金等要素跨区域流动等,促进地理位置邻近村庄积极拥抱智慧农业技术。当然,随着高标准农田建设与智慧农业发展相关支持政策的协同力度不断加大,上述溢出效应可能在更高尺度的地域范围产生。这进一步凸显了加快构建高标准农田建设与智慧农业发展的区域协同机制的重要性和迫切性。

表7 空间溢出效应检验的回归结果

变量	经济距离矩阵	反距离矩阵	经济地理嵌套矩阵
<i>HSFC_Area</i>	0.721 1*** (0.131 9)	0.737 6*** (0.127 7)	0.722 6*** (0.128 3)

表7(续)

变量	经济距离矩阵	反距离矩阵	经济地理嵌套矩阵
$W \times HSFC_Area$	0.5503*** (0.1504)	2.2809** (1.1188)	2.6183** (1.0387)
控制变量	控制	控制	控制
样本量	588	588	588

注:莫兰指数检验结果表明,村庄高标准农田建设和智慧农业技术采纳的莫兰指数均为正,且P值均小于0.01,表明村庄高标准农田建设和智慧农业技术采纳均具有正的空间自相关性。限于篇幅,详细估计结果未予汇报。

六、结论与建议

本文采用中国乡村振兴综合调查数据,实证检验了高标准农田建设对智慧农业技术采纳的影响效应、作用机制及空间溢出效应。研究表明,村庄层面智慧农业技术采纳水平整体偏低,且现阶段,村庄采纳的智慧农业技术主要包括无人机植保、农机智能导航系统和第三方平台遥感信息服务以及农业传感器,比例分别为51.53%、35.03%、7.48%和6.29%;高标准农田建设促进了村庄关于农业无人机植保、农机智能导航系统、第三方平台遥感信息服务等智慧农业技术的采纳,且上述影响因技术属性和使用情境不同而存在明显差异。高标准农田建设可通过农作物种植结构调整、耕地资源优化配置和农业经营方式转型促进智慧农业技术采纳。此外,高标准农田建设的智慧农业技术扩散效应存在区域和群体异质性,即更能促进位于城市郊区、有特色农产品、集体资产存量较高以及使用政务服务平台的村庄采用各类智慧农业技术;高标准农田建设对地理位置邻近的其他村庄的智慧农业技术采纳存在正向的空间溢出效应,体现了高标准农田建设的智慧农业技术跨区域扩散作用。

基于以上结论,本文提出如下政策建议:

一是加快完善高标准农田建设的实施机制,充分发挥投资激励效应。加强耕地用途监管、撂荒地综合整治,持续提升农地经营的规模化程度,有序扩大高标准农田建设规模。改进高标准农田建、管、护一体化机制,加强项目资金管理和建设全过程监管,着力提升高标准农田项目建设质量。瞄准地方产业发展需求,在不增加地方隐性债务的基础上,综合运用财政贴息等多重政策工具,引入更多社会资本主体参与高标准农田共建共管,加快建设项目提档升级。

二是持续创新智慧农业技术应用场景,加快农业全产业链数字化。完善以作业规模为基础的奖补政策支持体系,因地制宜推广无人机、智能导航、物联网等智慧农业技术应用,同时,加快拓展第三方信息服务平台、区块链、低空等前沿数字技术的应用场景。着力补齐农业产前、产中与产后各环节数字技术渗透的短板,并加快改造农业加工、销售、服务等全产业链环节,不断提升农业产业链整体效能。

三是协同推进高标准农田建设和智慧农业发展,凝聚多重政策合力。统筹用好高标准农田建设与智慧农业发展相关的支持政策,并加强与设施农业发展、农业产业融合发展、财政金融支农等政策的协同,形成多重政策合力。优先在农业产业特色突出、集体经济发展较好的村庄以及集中连片、设施条件较好的高标准农田布局5G基站、农业传感器、卫星遥感监测等设施,将智慧农业技术适配性作为高标准农田建设项目验收的重要指标之一。统筹中央预算内投资、重大信息平台升级改造、重大科技项目等资金渠道,在支持高标准农田智慧化改造的同时,大力推进智慧农业关键技术的创新性应用。

四是探索优化高标准农田建设与智慧农业发展的区域协同机制。从资金、技术、人才等方面加大对地理区位条件较差、农业特色产业缺乏、集体经济发展较滞后、数字化环境支撑较弱村庄发展智慧农业的支

持,增强智慧农业发展的包容性。同时,在更大地域范围内统筹推进高标准农田建设和智慧农业发展规划,加强总体设计和跨区域协作,推进区域协同发展。

参考文献:

- [1] 黄季焜,苏岚岚,王悦. 数字技术促进农业农村发展:机遇、挑战和推进思路[J]. 中国农村经济,2024(1):21-40.
- [2] 孙学涛,张丽娟,王振华. 高标准农田建设对农业生产的影响——基于农业要素弹性与农业全要素生产率的视角[J]. 中国农村观察,2023(4):89-108.
- [3] 王术坤,林文声. 高标准农田建设的农地流转市场转型效应[J]. 中国农村经济,2023(12):23-43.
- [4] 韩杨. 中国耕地保护利用政策演进、愿景目标与实现路径[J]. 管理世界,2022,38(11):121-131.
- [5] 姚志,高鸣. 以新发展理念推进高标准农田建设的目标、问题与路径[J]. 中州学刊,2024(9):55-63.
- [6] 钱龙,刘聪,郑淋议,等. 高标准农田建设如何影响农地流转[J]. 中国土地科学,2023,37(2):62-70.
- [7] 陈莉莉,彭继权. 中国高标准农田建设政策对粮食生产能力的影响及其机制[J]. 资源科学,2024,46(1):145-159.
- [8] 吴月丰,何可,朱润. 从自营到分工:高标准农田建设对农村劳动力质量的影响[J]. 宏观质量研究,2025,13(2):27-41.
- [9] 彭继权,童建,李家陶,等. 粮食安全背景下高标准农田建设的耕地复种效应研究[J]. 中国土地科学,2024,38(12):29-40.
- [10] 孙学涛,张丽娟. 高标准农田建设对智慧农业的影响研究[J]. 现代经济探讨,2025(3):111-122.
- [11] 陈江华,洪炜杰. 高标准农田建设促进了农地流转吗? [J]. 中南财经政法大学学报,2022(4):108-117.
- [12] 赵宇,孙学涛. 高标准农田建设是否有助于推进新型职业农民培育:来自村庄的证据[J]. 农村经济,2022(4):135-144.
- [13] 王术坤,林文声,杨国蕾. 高标准农田建设的种植结构调整效应[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2024,24(3):125-136.
- [14] 张应良,龚燕玲. 高标准农田建设参与对农民种粮收益的影响——基于农业新质生产力的中介作用[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2024,24(3):110-124.
- [15] 王镜淳,杨鑫,穆月英. 高标准农田建设何以促进农户增收——基于不同经营规模农户要素重配置的经验证据[J]. 农业技术经济,2025(9):109-123.
- [16] 孙学涛. 高标准农田建设对农业社会化服务的影响[J]. 中南财经政法大学学报,2023(3):150-160.
- [17] 龚燕玲,张应良,刘晗. 高标准农田建设对农户种粮行为的影响——基于规模经济和服务外包的视角[J]. 经济与管理研究,2025,46(9):74-92.
- [18] 孙学涛,庞静泊. 高标准农田建设对绿色农业的影响研究——基于农户生态耕种行为的视角[J]. 经济与管理研究,2026,47(2):104-120.
- [19] 殷浩栋,霍鹏,汪三贵. 农业农村数字化转型:现实表征、影响机理与推进策略[J]. 改革,2020(12):48-56.
- [20] 曾亿武,李丽莉,郭红东. 从传统农业到数字农业:演进逻辑与实现路径[J]. 经济学家,2024(8):119-128.
- [21] ROGERS E M. Diffusion of innovations[M]. New York: The Free Press, 1983.
- [22] 苏岚岚,彭艳玲,周红利. 共同富裕背景下农户数字经济参与的收入效应及作用机制[J]. 中国农村经济,2024(8):145-165.
- [23] 马翠萍,刘文霞,方燕. 数字技术赋能农户增收的理论机制与实证检验:基于 CRRS 2022 农户调查数据[J]. 中国软科学,2024(7):69-78.
- [24] 郭晓鸣,温国强,郑荏元. 高标准农田建设的理论解构与现实考察[J]. 中国农村经济,2025(7):42-62.
- [25] HAO S, WANG G G, YANG Y T, et al. Promoting grain production through high-standard farmland construction: evidence in China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2024, 23(1): 324-335.
- [26] LI R S, ZHOU W F, GUO S L, et al. The impact of high-standard farmland construction on farmland abandonment by farm households: evidence from rural China[J]. Applied Economics, 2026, 58(12): 2246-2262.
- [27] 王镜淳,杨鑫,穆月英. 高标准农田建设与耕地撂荒:治理逻辑及其证据[J]. 中国土地科学,2025,39(6):57-67.
- [28] 柳毅,赵轩,毛峰. 数字经济驱动共同富裕的发展动力与空间溢出效应研究——基于长三角面板数据和空间杜宾模型[J]. 中国软科学,2023(4):98-108.
- [29] 柏培文,喻理. 数字经济发展与企业价格加成:理论机制与经验事实[J]. 中国工业经济,2021(11):59-77.

Can High-Standard Farmland Construction Facilitate the Adoption of Smart Agriculture Technologies?

SU Lanlan¹, WANG Kailong², YU Yanli²

(1. Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732;

2. Ningxia University, Yinchuan 750021)

Abstract: How to promote the diffusion of smart agricultural technologies through high-standard farmland construction (HSFC) and effectively combine the two types of policies is of great significance for accelerating the cultivation of new quality productive forces in agriculture. Using data from the China Rural Revitalization Survey (CRRS), this paper empirically examines the impact of village-level HSFC on the adoption of smart agriculture technologies.

Statistics show that more than half of the sample villages have adopted smart agricultural technologies, which mainly include unmanned aerial vehicles (UAVs) for plant protection, intelligent agricultural machinery navigation systems, remote sensing information services from third-party platforms, and agricultural sensors, accounting for 51.53%, 35.03%, 7.48%, and 6.29%, respectively. Empirical analysis indicates that the HSFC, characterized by the area and proportion of village-level HSFC, can promote the adoption of smart agricultural technologies. This conclusion still holds after addressing endogeneity issues and conducting a series of robustness checks.

Mechanism analysis indicates that the adjustments of crop planting structure, reductions in abandoned arable land, and increases in farmland scale management are the channels through which HSFC affects the diffusion of smart agricultural technologies. This suggests that the impact of village-level HSFC on the diffusion of smart agricultural technologies reflects a multifaceted logic: reducing asset specificity risks, enhancing the farmland endowment effect, and facilitating the realization of economies of scale in farmland. The heterogeneity test suggests that for villages located in urban suburbs and those with agricultural characteristic industries, a high stock of collective assets, or access to government service platforms, the positive impact is more pronounced. Therefore, the village-level HSFC may widen the gap in the adoption of smart agricultural technologies among different villages.

This paper also finds that the village-level HSFC has a positive spatial spillover effect on the adoption of smart agricultural technologies in nearby villages, indicating that the HSFC effectively promotes the cross-regional diffusion of these technologies. This spillover effect is mainly achieved through channels such as technical demonstration, information transmission, resource sharing, and social learning, thereby accelerating the broader dissemination and adoption of smart agricultural technologies.

Based on the above findings, several policy measures should be taken to promote the high-quality development of smart agriculture through the HSFC, including accelerating the improvement of HSFC planning, innovating the application scenarios for smart agricultural technologies, coordinating the implementation of multiple policies, and optimizing inter-regional coordinated development mechanisms.

Keywords: high-standard farmland; smart agriculture; digital technology; new quality productive forces; technology adoption

编校:宛恬伊;张笑愚