

# 智慧农业与企业绿色生产行为： 来自全国代表性农业企业的微观证据

张延龙<sup>1</sup>, 王明哲<sup>2</sup>, 汤佳<sup>3</sup>

(1. 中国社会科学院农村发展研究所, 北京 100732;

2. 清华大学公共管理学院, 北京 100084; 3. 中国人民大学人口与健康学院, 北京 100872)

**摘要:**以物联网、大数据、智能设备等新一代信息技术为核心的智慧农业革命,正逐步超越以农户隐性知识为主导的传统农业,对全球农业产生了深远影响。这一变革为我国实现农业高质量发展与绿色发展战略提供了坚实基础,并为引领全球农业发展趋势创造了有利条件。基于2021—2023年全国53 617家代表性农业企业的监测数据,实证检验智慧农业对企业绿色生产行为的影响及其溢出效应。研究发现,智慧农业显著促进了农业企业的绿色生产行为,具体表现为已建设智慧农业的农业企业更倾向于实施绿色生产,且拥有更大规模的绿色生产面积和更高的绿色生产占比。此外,智慧农业对农业企业绿色生产行为的影响存在溢出效应,即推动了未建设智慧农业的农业企业实施绿色生产。进一步的研究发现,通过质量体系认证以及位于中西部地区的农业企业在建设智慧农业后更可能实施绿色生产。研究结果不仅为智慧农业在推动农业绿色生产方面的积极作用提供了经验证据,还为智慧农业的推广建设提供了重要启示。

**关键词:**农业绿色发展; 智慧农业; 绿色农业; 农业企业; 溢出效应

中图分类号:F326 文献标识码:A 文章编号:1005-0566(2025)07-0157-12

## Smart agriculture and green production behavior of enterprises: micro evidence from national representative agricultural enterprises

ZHANG Yanlong<sup>1</sup>, WANG Mingzhe<sup>2</sup>, TANG Jia<sup>3</sup>

(1. Rural Development Institute, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;

2. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. School of Population and Health, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

**Abstract:** The smart agriculture revolution, driven by next-generation information technologies such as the Internet of Things, big data, and smart devices, is progressively surpassing traditional agriculture, which has long been dominated by farmers' tacit knowledge. This transformation profoundly reshapes global agriculture, laying a solid foundation for China's pursuit of high-quality and green development, and creating favorable conditions to lead global agricultural trends. Based on monitoring data from 53,617 representative agricultural enterprises nationwide from 2021 to 2023, this study empirically examines the impact of smart agriculture on firms' green production behavior and its spillover effects. The findings reveal that smart agriculture significantly promotes green production among agricultural enterprises.

收稿日期:2025-04-15 修回日期:2025-07-08

基金项目:中国社会科学院国情调研重大项目;2025年中国社会科学院创新工程项目。

作者简介:张延龙(1984—),男,吉林延边人,博士,中国社会科学院农村发展研究所副研究员,研究方向为农业产业化、农业经济管理。通信作者:王明哲。

Specifically, firms that have adopted smart agriculture are more inclined to implement green production practices, command a larger scale of green production, and allocate a higher proportion of their operations to it. Moreover, the study identifies a spillover effect, whereby the adoption of smart agriculture also encourages non-adopting firms to engage in green production. Further analysis indicates that enterprises with quality system certifications and those located in China's central and western regions are more likely to enhance their green production following the adoption of smart agriculture. This study not only provides robust empirical evidence on the positive role of smart agriculture in advancing green agricultural production but also offers critical insights for its broader promotion and implementation.

**Key words:** agricultural green development; smart agriculture; green agriculture; agribusiness; spillover effect

传统农业以农户的隐性知识为基础,其管理模式及生产力的提升体现在农户组织化程度上,如中国自改革开放以来推行的家庭联产承包责任制<sup>[1]</sup>。然而,随着信息技术的飞速发展,传统农业的技术变迁出现了明显的“变轨”。农户的隐性知识开始通过各种信息设备逐步转化为显性知识,这一过程导致了人与农业生产之间的依存关系逐渐减弱,农业生产方式由人与物的互动转向物与物的互动,进而形成了新的管理模式和农业发展方向<sup>[2]</sup>。智慧农业是一种将传统农业与新一代信息科学技术相结合的智能管控系统,其生产模式被视为农业生产的高级阶段<sup>[3]</sup>。通过精细化控制,智慧农业实现了对光照、水、土地、农资等农业生产要素的有效管理,从而精确调控农作物生长环境和生长过程,提高了产品品质和生产效率<sup>[4]</sup>。

近年来,国家积极推动新一代信息技术在农业农村领域应用,智慧农业已在国内得到广泛推广。从 2022 年开始,农业农村部每年公布智慧农业建设典型案例,涵盖智慧种植、智慧畜牧、智慧渔业、智能农机、智慧园区、综合服务等多个行业和领域。不仅传统的种植和养殖企业,如温氏集团、中粮集团、大北农等积极投身智慧农业建设,而且腾讯、阿里巴巴、京东集团和百度等互联网公司也布局建设农业数字化和智慧化平台。为大力发展智慧农业,2024 年 10 月农业农村部相继发布《农业农村部关于大力发展智慧农业的指导意见》《全国智慧农业行动计划(2024—2028 年)》,皆在全方位提升智慧农业应用水平,加力推进智慧农业技术创新和先行先试。同时,根据课题组实地

调研的观察结果,智慧农业通过物联网、大数据、智能设备等现代信息技术,能够提高资源利用效率、减少化学农药使用、促进农业废弃物资源化利用以及保障农产品质量与安全,有效促进了农业的绿色生产,充分表明智慧农业在推动农业绿色发展方面的巨大潜力<sup>①</sup>。

农业绿色发展是推动农业高质量发展的关键路径,也是全面推进乡村振兴战略和建设农业强国的必然要求。2021 年 2 月,中共中央、国务院印发了《全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》,明确强调了农业绿色发展的重要性。同年 8 月,为贯彻落实党中央、国务院推进农业绿色发展决策部署,《“十四五”全国农业绿色发展规划》制定出台,规划设定了至 2025 年全面推进绿色农业发展、至 2035 年农业绿色发展取得显著成效的目标。2022—2024 年,连续三年的中央一号文件均将农业绿色发展列为重点议题,旨在解决该领域面临的突出问题。同时,中国共产党第二十次全国代表大会上,习近平总书记强调了高质量发展是全面建设社会主义现代化国家的首要任务,并特别指出要推动绿色发展,加快生产方式绿色转型。进入新的发展阶段,2024 年 7 月召开的党的二十届三中全会进一步提出,需协同推进降碳、减污、扩绿、增长,发展绿色低碳产业,完善绿色消费激励机制,促进绿色低碳循环发展经济体系的建设。

随着农业领域智慧农业与绿色发展的不断融合推进,相关研究逐步增多。现有文献对智慧农业的绿色发展内涵展开了广泛探讨,普遍认为智

① 2019—2024 年,中国农业产业化龙头企业课题组先后实地调研了河南、四川、贵州、福建、浙江、甘肃、北京、海南等地,共走访了 200 多家建设智慧农业的农业产业化龙头企业。

智慧农业不仅是农业信息化的高级阶段,更是实现农业绿色转型的重要技术支撑<sup>[5-6]</sup>。在绿色发展理念引领下,智慧农业通过集成物联网、遥感、大数据与人工智能等前沿技术,推动农业生产方式从传统资源密集型向高效、低碳、环保方向转型<sup>[7]</sup>。从作用机制看,智慧农业在促进绿色农业发展中呈现多维度协同效应。其一,通过对土壤湿度、气象条件、作物生长状态等要素的实时监测和分析,智慧农业能够实现农药与化肥的精准投放,践行“量需而施”原则,有效控制农业面源污染,降低对生态环境的负面影响<sup>[8]</sup>;其二,智慧农业强化了农业生产全过程的数字化管理,依托自动化与机械化技术协同,在耕作、播种、施肥、收割等环节实现智能设备替代人工操作,不仅提升了生产效能,还增强了对突发性环境风险的预警与响应能力<sup>[7,9]</sup>;其三,智慧农业通过构建数字化供应链体系,推动绿色农产品追溯系统和质量认证机制的建立,提升了农产品的市场透明度与消费者信任度,进一步拓展了绿色农业的市场空间<sup>[10]</sup>。然而,当前研究也揭示出一系列亟待解决的问题,如农业生产组织分散、规模效应不足,信息化基础设施薄弱,专业人才短缺以及制度支持体系不完善等<sup>[11-12]</sup>。尽管相关理论分析不断丰富,但现有研究主要集中于宏观层面的政策讨论与概念框架构建,缺乏基于微观数据的实证分析以直接检验智慧农业对农业企业绿色生产行为的促进作用。同时,现有研究对智慧农业的溢出效应关注不足,且未深入探讨智慧农业在不同类型农业企业中的差异化效果。

鉴于此,本文基于2021—2023年全国53 617家代表性农业企业的监测数据,实证检验智慧农业对企业绿色生产行为的影响及其溢出效应。本文的边际贡献主要体现在以下3个方面。一是,虽然已有研究系统性地分析了智慧农业对农业绿色生产的影响路径,但缺乏经验证据支撑。本研究首次通过大样本企业数据提供了智慧农业推动农业绿色生产的实证依据,填补了智慧农业与农业绿色生产关系实证研究的空白,并深化了对农业绿色生产行为转变机制的理解。二是,揭示了智

慧农业在区域范围内对农业企业绿色生产行为的显著溢出效应。这一发现不仅强调了智慧农业在促进农业绿色发展中的直接作用,还凸显了其社会乘数效应,即智慧农业的推广可通过技术扩散、示范效应等途径间接带动周边企业绿色生产行为的提升。三是,智慧农业作为现代农业发展的前沿趋势,为农业生产提供了全新的管理模式和经营策略,并揭示了其在推动农业绿色生产方面的独特优势,及在不同类型农业企业中的差异化效果,为构建符合中国国情的农业经营管理理论体系提供了科学依据与实践参考。

### 一、理论分析与研究假说

在当前推动农业绿色发展的背景下,农业企业开展绿色生产已成为农业高质量发展的关键路径<sup>[13]</sup>。绿色生产是指企业在农业生产过程中,通过优化投入结构、改进工艺流程和提升管理效率,实现资源节约、污染防控与生态保护的三重目标,最终达成经济效益、生态效益与社会效益的有机统一<sup>[2,14]</sup>。具体而言,农业企业的绿色生产涵盖多个维度,其核心边界主要包括减少农业面源污染,诸如化肥、农药、粪污等对土壤与水体的污染,提高土地、水资源和能源等要素的利用效率,以及推进农业废弃物资源化利用等。绿色生产的实现不仅依赖于企业在技术层面采用节能环保设备与精准投入手段,还要求其在制度层面增强对生产标准与绿色认证的响应能力<sup>[15]</sup>。因此,相较于传统农业生产模式,绿色生产更加强调生产全过程的环境友好性与生态兼容性,这也与新发展理念下农业高质量发展的要求相契合<sup>[16]</sup>。

随着智慧农业应用逐渐普及和应用场景持续拓展,其为农业企业开展绿色生产提供了关键支撑<sup>[5-6,11-12]</sup>。在资源投入方面,智慧农业显著提升了投入要素的精细化管理水平,有助于降低绿色生产的边际成本。借助物联网、传感系统、人工智能及大数据分析等前沿技术,农业企业能够实现对作物与环境的全过程监测,精准调整农药、化肥等化学品的使用,减少资源浪费,提高水、肥、土等要素的综合利用效率<sup>[5]</sup>。尽管智慧农业初期可能伴随固定资产投资与设备成本上升,但从长期

看,随着技术逐步成熟与规模效应的显现,企业单位生产成本将持续下降。技术普及与生产经验积累将进一步降低企业在技术采纳、流程管理与操作执行等方面的单位成本<sup>[14]</sup>。同时,生产规模的扩大将分摊固定成本,进一步强化企业的成本控制。

此外,智慧农业在标准化管理和品控方面也展现出助力绿色生产的潜力。通过智能化、全产业链化的流程控制,企业可实现大规模生产的稳定运行,并有效应对绿色生产过程中可能出现的产量波动风险<sup>[17]</sup>。依托大数据分析 with 物联网技术,农业企业可以整合农田、气象、市场等多源数据,构建关键参数模型,进行趋势预测与智能决策,增强对环境变化与市场不确定性的应对能力<sup>[9]</sup>。更重要的是,智慧农业的应用提升了绿色农产品在市场端的认可度。通过建立数字化质量追溯系统,实现了绿色农产品从生产到销售全过程的信息可视化与可验证,增强了消费者对绿色产品的信任<sup>[10]</sup>。信息透明化降低了消费者的识别成本,缓解了信息不对称问题,使绿色农产品在市场上的定价机制更加合理,与其生产成本和生态价值更为匹配<sup>[18]</sup>。基于上述理论分析,本文提出如下研究假说。

假说 1:智慧农业将促进农业企业开展绿色生产。

智慧农业的发展还可能通过同伴效应与技术溢出效应促进绿色生产行为的扩散。应用智慧农业的企业通过成功实践绿色生产并实现经济收益的典型案列,能够增强其他企业采用绿色生产方式实现经济成功的意识与信心,进而激发其模仿与学习动机。例如,智慧农业企业通过展示绿色农产品的市场竞争力与经济效益,可为周边企业提供可复制的经验路径,降低其转型成本与风险<sup>[19]</sup>。除同伴效应外,智慧农业还带来了技术溢出的外部效应。在智慧农业推广建设的过程中,具备资源丰富、区位便利和资金雄厚等优势的农业企业往往能率先完成信息化升级,并通过以下路径产生外部效应:其一,随着智慧农业企业生产效率的提升,绿色农产品的市场供给增加,区域绿

色农产品市场规模扩大,形成规模经济效益;其二,率先采用智慧农业的企业通过资本、劳动力、技术及管理经验的外溢,带动周边企业绿色生产能力的提升<sup>[20]</sup>。例如,智慧农业基于数据驱动的生产决策模式为农业企业提供了精准的生产管理方案<sup>[5]</sup>。这种模式不仅为智慧农业企业提高了生产效率,还为智慧农业企业提供了可借鉴的绿色生产经验,助其优化生产策略并逐步向绿色生产转型。随着区域内智慧农业企业数量的增加,其同伴效应与技术溢出效应将进一步显现,对其他农业企业的绿色生产行为产生更深远的影响。基于以上分析,本文提出如下假说。

假说 2:智慧农业对农业企业绿色生产行为的影响具有溢出效应,且溢出效应随建设智慧农业的企业数量的增加而增强。

## 二、研究设计

### (一)数据来源

本文采用的全国代表性农业企业数据来源于 2021—2023 年农业农村部全国农业产业化龙头企业监测数据(以下简称“监测数据”)。该监测数据由农业农村部乡村产业发展司负责实施,统计了全国农业龙头企业上一年度的生产经营情况。监测数据涵盖了全国 173 570 家市级及以上农业产业化龙头企业,遍及全国 31 省(自治区、直辖市)和新疆生产建设兵团,355 个地级行政区以及 2 863 个县级行政区,具有高覆盖、大样本的特征。鉴于本文被解释变量涉及企业生产基地建设情况,而相关问题仅针对国家级和省级农业产业化龙头企业开展调查,因此在样本筛选过程中,本文最终选取了 53 617 家国家级与省级农业产业化龙头企业作为研究样本进行分析。

### (二)变量选取

#### 1. 解释变量:企业是否建设智慧农业

为反映农业企业智慧农业建设的情况,本文直接采用监测调查中的具体问题“企业是否运用智慧农业管理方式开展生产活动?”的回答作为衡量标准。变量构建方面,若企业已采用智慧农业方式开展生产活动,则变量赋值为 1;否则赋值为 0。此外,考虑到这一变量的二元化设定存在一定

的局限性,无法全面体现智慧农业的多维特征,并且企业是否建设智慧农业的回答可能存在一定的主观性,因此在稳健性检验部分,本文进一步采用了多维综合指标来重新评估智慧农业建设的情况。

### 2. 被解释变量:绿色生产行为

本文选取企业绿色食品与有机农产品原料基地建设情况作为衡量绿色生产行为的量化指标,具体涵盖以下3个维度:企业是否创建了绿色食品、有机农产品原料基地;企业创建绿色食品、有机农产品原料基地面积;企业创建绿色食品、有机农产品原料基地比例。这一选择基于以下两点考量。一方面,从政策导向来看,绿色食品和有机农产品是遵循可持续发展原则生产的农产品。根据《绿色食品标志管理办法》和《有机食品认证管理办法》,这些产品在生产过程中不使用或仅使用安全性较高的化肥和农药,有助于减少农业面源污染和农业温室气体排放。此外,创建绿色食品、有机农产品原料基地需要遵守一系列严格的环保规范和有机农业标准。另一方面,现有研究普遍认同绿色食品和有机农产品符合农业绿色生产的理念和标准。在环保与可持续发展理论框架下,绿色食品和有机农产品得到了广泛认可<sup>[21]</sup>。

### 3. 控制变量

为缓解遗漏变量偏差对模型估计结果的影响,本文参考已有文献,选取了一系列企业层面的可观测变量作为回归模型的控制变量<sup>[22]</sup>。具体而言,这些控制变量包括以下几个方面:一是企业规模相关变量,包括收入规模、资产规模、固定资产规模和从业人员数,分别用企业的营业收入、总资产、固定资产净值和员工数量来衡量。此外,本文还纳入了企业生产基地规模变量,以企业生产基地总面积来衡量。农产品生产基地通常采用先进技术装备、科学生产方法及集约化管理模式,为绿色农产品生产提供技术与管理支持。同时,规模化生产基地需统一农资供应与病虫害防治体系,这可能促使企业采用智慧农业。若未将生产基地规模纳入控制变量,可能因遗漏关键变量而导致回归结果高估绿色生产行为的影响效应。

为了避免异常值对回归结果的干扰,本文对所有连续型指标进行了对数处理,并分别对第1百分位和第99百分位上的样本数据进行了缩尾处理。主要变量说明和描述性统计结果参见表1。

表1 主要变量说明和描述性统计

变量名称	变量符号	变量定义	均值	标准差
企业是否建设智慧农业	Smart	若该企业开展了智慧农业建设则取值为1,反之为0	0.145	0.353
企业是否开展绿色生产	Allow	若该企业创建了绿色食品、有机农产品原料基地则取值为1,反之为0	0.343	0.475
企业绿色生产面积	Area	企业创建绿色食品、有机农产品原料基地的面积(千亩)	2.106	6.957
企业绿色生产比例	Ratio	企业创建绿色食品、有机农产品原料基地的面积占生产基地总面积的比例(%)	8.688	16.65
收入规模	Income	企业营业收入的自然对数	9.156	1.356
资产规模	Size	企业总资产的自然对数	9.358	1.178
固定资产净值	Fix	企业固定资产净值的自然对数	8.205	1.192
从业人员数	Worker	企业员工数量的自然对数	4.949	1.200
营业收入净利润率	Nopr	企业净利润占营业收入的比重	0.066	0.134
负债率	Debt	企业总负债占总资产的比重	0.362	0.240
生产基地规模	Scale	企业生产基地总面积的自然对数	6.327	4.216

### (三) 计量模型设定

为实证检验智慧农业对企业绿色生产行为的影响及其溢出效应,本文采用固定效应回归模型进行分析。此方法的核心优势在于能够显著降低因忽视这些不随时间变化的异质性因素所导致的遗漏变量偏差,从而增强估计结果的精确度和可靠性。

#### 1. 直接效应

为检验智慧农业建设对农业企业绿色生产行为的影响,本文设定回归模型为:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_1 Smart_{it} + \beta_2 X_{it} + \lambda_j + \delta_k + \eta_l + \tau_t + \varepsilon_{ijklt} \quad (1)$$

式(1)中,下标*i*、*j*、*k*、*l*、*t*分别表示企业个体、企业所属行业、企业所有制类型、企业所属的城市(包括地级市和直辖市)以及年份。被解释变量 $Y_{it}$ 包括 $Allow_{it}$ 、 $Area_{it}$ 、 $Ratio_{it}$ 3个子变量,分别表示*i*企业在*t*年是否开展绿色生产、绿色生产面积以及

企业绿色生产比例;核心解释变量  $Smart_{it}$  表示  $i$  企业在  $t$  年是否建设智慧农业;  $X_{it}$  表示本文选取的一系列控制变量。此外,考虑到行业层面可能因技术壁垒、企业所有制类型层面可能因制度特征、城市层面可能因支持政策不同而存在技术采纳和绿色生产行为的差异、时间层面影响所有企业的共同冲击,本文还控制了行业固定效应  $\lambda_j$ 、所有制类型固定效应  $\delta_k$ 、城市固定效应  $\eta_l$  和时间固定效应  $\tau_t$ ;  $\varepsilon_{ijkl}$  为随机误差项。回归分析采用聚类到企业层面的稳健标准误。

### 2. 溢出效应

为检验智慧农业对农业企业绿色生产行为的溢出效应,本文参考吴育辉等<sup>[23]</sup>的做法,设定回归模型为:

$$\bar{Y}_{ict,Smart=0} = \alpha_0 + \beta_1 Spill_{ict} + \beta_2 X_{it} + \lambda_j + \delta_k + \eta_l + \tau_t + \varepsilon_{ijkl} \quad (2)$$

式(2)中,下标  $i, j, k, l, c, t$  分别表示个体企业、企业所属业态门类、企业所有制类型、企业所属的城市(包括地级市和直辖市)、企业所属的县域以及年份,被解释变量  $\bar{Y}_{ict,Smart=0}$  包括  $Allow\_ave_{ict}$ 、 $Area\_ave_{ict}$ 、 $Ratio\_ave_{ict}$  3 个子变量,分别表示企业  $i$  所在  $c$  县在  $t$  年开展绿色生产企业的比例、平均绿色生产面积以及平均绿色生产比例。为避免已建设智慧农业的农业企业对估计结果产生影响,本文仅选取了未建设智慧农业的农业企业,即  $Smart = 0$  的企业作为研究样本。核心解释变量  $Spill_{ict}$  表示农业企业  $i$  所在  $c$  县是否有农业企业开展智慧农业建设,  $Spill_{ict}$  被设定为两种形式:当地仅有一家农业企业采用智慧农业 ( $Spill = 1$ ),以及当地有多家农业企业采用智慧农业 ( $Spill \geq 2$ ),若满足条件则  $Spill_{ict}$  取值为 1,反之则为 0。

此外,旨在估计溢出效应的具体大小,本文进一步设定回归模型为:

$$\bar{Y}_{ict,Smart=0} = \alpha_0 + \beta_1 Sum_{ict} + \beta_2 X_{it} + \lambda_j + \delta_k + \eta_l + \tau_t + \varepsilon_{ijkl} \quad (3)$$

式(3)相较于式(2)的差异主要体现在核心解释变量的构建上,核心解释变量  $Sum_{ict}$  表示企业  $i$  所在  $c$  县在  $t$  年已建设智慧农业的企业数量总数。

在此情境下,系数  $\beta_1$  的变动可以解释为  $c$  县内每新增或减少 1 家已建设智慧农业的企业,将对当地其他农业企业实施绿色生产产生的影响。

## 三、实证结果与分析

在回归分析之前,本文对所有解释变量进行了多重共线性检验,采用方差膨胀因子(VIF)作为评估工具。检验结果显示,所有变量的 VIF 值均保持在 3 以下的低水平,且模型的整体 VIF 值仅为 1.7,远低于通常认为的多重共线性警戒线 10。这表明本文的回归模型,不存在严重的多重共线性问题,从而确保了分析结果的可靠性。

### (一) 基准回归结果

表 2 回归结果显示,在列(1)~列(6)中,核心解释变量  $Smart$  的系数均在 1% 的水平上显著为正,这表明智慧农业对农业企业开展绿色生产具有显著的促进作用。具体而言,列(2)中  $Smart$  的系数为 0.133,表明已建设智慧农业的企业开展绿色生产的概率较未建设企业高出 13.3%。基于样本中 45 819 家未建设智慧农业的农业企业数据,若这部分企业全部建设智慧农业,预计将增加约 6 094 家农业企业生产绿色农产品;列(4)中  $Smart$  的系数为 0.871,表明已建设智慧农业的企业绿色

表 2 智慧农业建设对企业绿色生产行为的估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Allow		Area		Ratio	
Smart	0.190 *** (0.008)	0.133 *** (0.006)	1.230 *** (0.136)	0.871 *** (0.121)	3.558 *** (0.269)	2.690 *** (0.251)
Income	—	-0.007 *** (0.002)	—	0.420 *** (0.041)	—	-0.488 *** (0.095)
Size	—	-0.043 *** (0.003)	—	0.254 *** (0.055)	—	-0.969 *** (0.127)
Fix	—	0.013 *** (0.003)	—	-0.014 (0.041)	—	0.230 ** (0.099)
Worker	—	0.011 *** (0.002)	—	-0.208 *** (0.040)	—	0.035 (0.091)
Nopr	—	0.058 *** (0.015)	—	-0.400 ** (0.195)	—	1.746 *** (0.559)
Debt	—	-0.026 *** (0.009)	—	0.265 * (0.140)	—	0.177 (0.351)
Scale	—	0.047 *** (0.000)	—	0.558 *** (0.012)	—	1.209 *** (0.020)
Constant	0.315 *** (0.003)	0.334 *** (0.021)	1.928 *** (0.045)	-6.698 *** (0.437)	8.171 *** (0.103)	11.949 *** (0.801)
行业固定效应	否	是	否	是	否	是
所有制类型固定效应	否	是	否	是	否	是
城市固定效应	否	是	否	是	否	是
时间固定效应	否	是	否	是	否	是
N	53 617	53 416	53 573	53 416	53 571	53 416
adj. R <sup>2</sup>	0.020	0.310	0.004	0.192	0.006	0.163

注:括号内为聚类到企业层面的标准误。\*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1%。行业固定效应为对企业所属业态门类的控制,所有制类型固定效应为对企业所有制类别的控制,城市固定效应为对企业所属城市的控制,时间固定效应为对年份的控制。下同。

基地经营面积较未建设企业多出 871 亩。以样本企业绿色基地面积的均值计算,智慧农业的应用使企业绿色基地面积增加约 41.36%,该结果具有显著的经济意义;列(6)中 *Smart* 的系数 2.690,意味着已建设智慧农业的企业绿色基地建设比例相比未建设企业将增加 2.69 个百分点。综上所述,本文发现智慧农业显著促进了农业企业的绿色生产行为,并扩大了绿色农产品的生产规模。因此,假说 1 得到验证。

### (二) 内生性处理

为解决潜在内生性问题,本文采用了两阶段最小二乘法(2SLS)进行估计。具体做法上,参考黄群慧等<sup>[24]</sup>、赵涛等<sup>[25]</sup>的做法,选取 1984 年各地级市的邮局数量与数据观测年份的全国农业机械总动力的交互项作为工具变量(*Instrumental Variable*)。该工具变量具有充分的合理性。一方面,智慧农业的发展依赖于互联网技术,而当地历史上的电信基础设施,能够从技术水平和使用习惯等方面影响后续阶段互联网技术的应用,因此满足相关性条件。另一方面,1984 年邮局数量作为历史性变量,原则上不应直接影响当前农业企业的绿色生产情况,满足工具变量的外生性假设。此外,由于邮局数量本身为时间不变指标,本文将其与具有时间变化特征的农业机械总动力交乘,以更充分反映当期农业技术水平对智慧农业的支持力度。在操作层面,为避免量纲差异引起误差,相关变量均进行了对数转换处理。

表 3 汇报了 2SLS 估计结果。列(1)为第一阶段回归结果,*Instrumental Variable* 的估计值显著为正,验证了满足相关性要求。同时,*F* 统计量超过 10 这一经验值,因此可以排除“弱工具变量”问题<sup>[26]</sup>。列(2)~列(4)汇报了第二阶段回归的估计结果,核心解释变量 *Smart* 的估计系数均在 1% 的水平上显著为正。从系数变动情况来看,2SLS 估计结果与基准回归估计结果的系数相近,也为工具变量符合外生性假设提供支持<sup>[27]</sup>。此外,为

工具变量符合外生性假设提供支持,本文参考 Acemoglu 等<sup>[28]</sup>的做法,在回归模型中加入了相关的控制变量,从而排除潜在的影响渠道<sup>②</sup>。综上所述,采用工具变量回归后,智慧农业对农业企业绿色生产的正向影响依然显著。

表 3 工具变量(2SLS)估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	第一阶段	第二阶段		
	<i>Smart</i>	<i>Allow</i>	<i>Area</i>	<i>Ratio</i>
<i>Smart</i>	—	0.133 *** (0.007)	0.836 *** (0.141)	2.518 *** (0.285)
<i>Instrumental Variable</i>	0.005 *** (0.002)	—	—	—
<i>Constant</i>	-0.458 *** (0.081)	0.328 *** (0.025)	-6.840 *** (0.511)	12.132 *** (0.939)
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
所有制类型固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
<i>N</i>	39 012	39 012	39 012	39 012
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.078	0.307	0.182	0.153
弱工具变量检验: C-D Wald F 统计量	42.23	—	—	—

### (三) 稳健性检验

#### 1. 替换变量测度方式

本文引入“是否获得两品一标认证(*Symbol*)”和“是否获得质量体系认证(*Standard*)”指标,以更全面地反映其在生产过程中的绿色生产行为。“两品一标”认证情况指的是农业企业是否获得绿色食品、有机农产品和地理标志农产品认证,这些认证要求农产品生产过程中禁止或限量使用化学合成品;质量体系认证则指的是农业企业是否通过 ISO 9000、HACCP、GAP、GMP 等质量体系认证,这要求企业实施可持续发展的生产措施,以确保食品安全和食品质量。表 4 的列(1)和列(2)分别报告了以农业企业两品一标认证情况和质量体系认证情况作为被解释变量的估计结果,结果显示智慧农业建设显著促进了企业在生产、加工与运营环节的绿色转型。

考虑到企业智慧农业建设决策可能存在主观

② 具体而言,本研究在分析中考虑了精细化管理以及企业创新的影响渠道,分别通过控制企业是否设立专门质检机构、企业获得的专利数量这两个变量进行检验。结果显示,2SLS 估计结果依然稳健,表明上述控制变量所代表的渠道对核心结论未产生显著影响。限于篇幅,相关结果未在正文中呈现。

偏差,且二元变量无法充分反映其多维特征,本文进一步采用多维客观指标重新测度智慧农业建设。具体来说,本文选取了与智慧农业建设密切相关的几个指标:企业技术人员数量、科技研发投入、引进的技术和装备的金额。本文采用两种方法重新构建指标:一是利用因子分析方法对上述

多个指标进行降维,生成新的综合指标 (*Smart\_com*);二是利用上述指标对企业是否建设智慧农业进行回归,得到其拟合值 (*Smart\_fit*)。表 4 的列(3)~列(8)结果显示,无论采用何种测度方式,智慧农业建设均显著促进了企业绿色生产行为,进一步验证了基准结果的稳健性。

表 4 稳健性检验:替换变量测度方式

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	替换被解释变量			替换解释变量				
	<i>Symbol</i>	<i>Standard</i>	<i>Allow</i>	<i>Area</i>	<i>Ratio</i>	<i>Allow</i>	<i>Area</i>	<i>Ratio</i>
<i>Smart</i>	0.174 *** (0.008)	0.066 *** (0.008)	—	—	—	—	—	—
<i>Smart_com</i>	—	—	0.026 *** (0.002)	0.072 * (0.038)	0.248 *** (0.082)	—	—	—
<i>Smart_fit</i>	—	—	—	—	—	0.649 *** (0.049)	1.631 ** (0.823)	7.120 *** (1.844)
<i>Constant</i>	0.325 *** (0.028)	-0.317 *** (0.025)	0.435 *** (0.024)	-6.550 *** (0.448)	12.536 *** (0.888)	0.341 *** (0.022)	-6.818 *** (0.434)	11.711 *** (0.802)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
所有制类型固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	53 416	53 416	53 412	53 412	53 412	53 412	53 412	53 412
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.164	0.271	0.303	0.191	0.160	0.304	0.191	0.160

注:同表 2。

### 2. 增加控制变量

考虑到县域层面随行业变化的因素可能同样对企业的绿色生产行为产生作用,本文进一步增加控制变量。一方面,农业产业的发展难以在全国或全省范围内实现资源的优化配置,但县域层面能够根据当地自然资源的具体情况,进行有条件的选择和资源配置;另一方面,农业产业对自然资源要素有着较高的依赖性,且不同行业间的技术壁垒和要素禀赋依赖程度存在差异,这些差异可能导致县域内不同行业间存在某些不可观测的因素。鉴于此,本文在式(1)基础上额外控制了县域—行业的交互固定效应。表 5 的列(1)~列(3)报告了在纳入县域—行业固定效应后的回归结果,结果显示本文结论依然稳健。

### 3. 调整标准误

鉴于同一城市内不同企业个体间可能存在未观测到的相关性因素,即组内个体的误差项可能相互关联。同时,回归模型的误差项可能因地方性政策在每个城市的同一行业间的关联而导致误差项独立同分布的假设无效<sup>[29]</sup>,鉴于此本文将标

准误分别聚类在城市和城市—行业层面进行重新估计,表 5 的列(4)~列(6)汇报了估计结果。结果表明,在调整聚类层级后本文结论仍然保持不变。

表 5 稳健性检验:增加控制变量和调整标准误

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	增加控制变量			调整标准误		
	<i>Allow</i>	<i>Area</i>	<i>Ratio</i>	<i>Allow</i>	<i>Area</i>	<i>Ratio</i>
<i>Smart</i>	0.128 *** (0.008)	0.801 *** (0.145)	2.624 *** (0.306)	0.133 [0.007] ***	0.871 [0.120] ***	2.690 [0.272] ***
<i>Constant</i>	0.267 *** (0.027)	-7.513 *** (0.531)	9.985 *** (1.008)	0.334 [0.021] ***	-6.698 [0.460] ***	11.949 [0.808] ***
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业固定效应	否	否	否	是	是	是
县域—行业固定效应	是	是	是	否	否	否
所有制类型固定效应	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是
<i>N</i>	43 967	43 967	43 967	43 967	43 967	43 967
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.472	0.391	0.352	0.472	0.391	0.352

注:列(1)~列(3)括号内展示了聚类到企业层面的标准误;列(4)~列(6)括号内展示了聚类到城市层面的标准误;方括号内展示了城市和行业层面双向聚类稳健标准误。

### 4. 更换估计方法

本文进一步采用倾向得分匹配法进行稳健性检验,该方法通过对比已实施智慧农业的农业企业与一组具有相似特征但未实施智慧农业的农业企业来

进行分析。在具体实施中,本文采用了 1:3 近邻匹配策略,并基于基准回归中选取的一系列控制变量作为匹配变量。匹配后企业特征的标准偏差的绝对值均降低至 10% 以下,这表明匹配结果取得了良好的效果<sup>[26]</sup>。由表 6 可知,反映企业绿色生产行为的 3 个变量的 ATT 数值均显著为正,这表明智慧农业建设的确能促进农业企业开展绿色生产。

表 6 稳健性检验:更换估计方法

	处理组	对照组	ATT	改变/%	t 值
Allow	0.504	0.355	0.149***	41.9	17.82
Area	3.159	2.689	0.470***	17.5	3.40
Ratio	11.721	8.895	2.826***	31.7	9.59

注:匹配变量包括收入规模、资产规模、固定资产净值、从业人员数、营业收入净利润率、负债率、基地规模。

### 5. 安慰剂检验

为避免企业绿色生产行为是由企业其他经营决策或某些不可观察因素所导致的,本文参考张延龙等<sup>[29]</sup>的做法,通过构造虚假的处理组进行安慰剂检验。具体而言,从估计样本中随机抽取部分企业作为处理组,将其视为已建设智慧农业企业,而其他企业则作为对照组。同时,将上述做法重复 500 次,以避免随机抽样的偶然结果影响。由图 1 可知,在 500 次抽样中,所有随机抽样回归估计的系数值远小于基准估计结果,且绝大部分的结果都分布在 0 附近,这表明企业绿色生产的转变来源于建设智慧农业而不是其他因素。

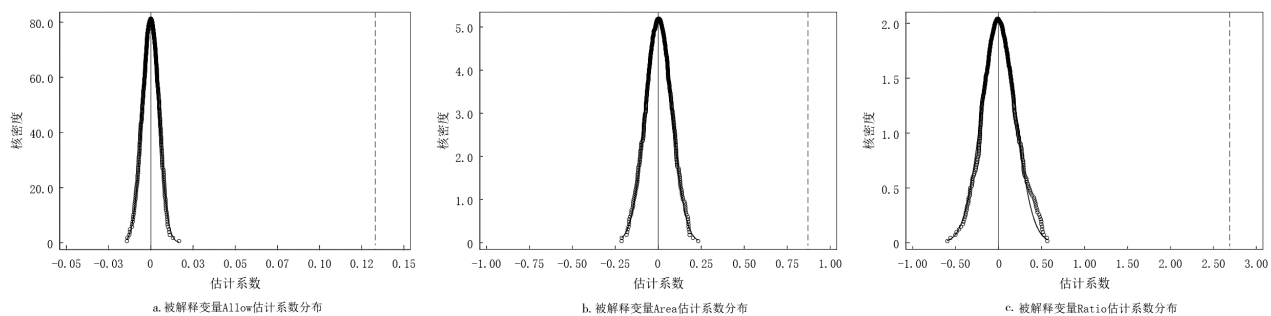


图 1 安慰剂检验

注:圆点表示单次随机抽样的估计系数结果,实线代表系数值为 0,虚线是基准估计的系数结果。

## 四、拓展分析

### (一) 溢出效应

探讨智慧农业的溢出效应,对于全面评估其对农业企业绿色生产行为的总效应及理解其对其他主体的外部影响具有重要意义。表 7 报告了智慧农业对农业企业绿色生产行为溢出效应的估计结果。列(1)的估计结果表明,核心解释变量的系数在 1% 的水平上显著为正,这意味着智慧农业对农业企业绿色生产行为的影响具有溢出效应,即智慧农业能够促进该地区未建设智慧农业的农业企业开展绿色生产。具体而言,面板 A 的系数 0.023 意味着,相较于没有农业企业建设智慧农业的县域,有一家农业企业已建设智慧农业的县域内,农业企业平均开展绿色生产的概率提升 2.3%;面板 B 的系数 0.131 表明,这些县域的农业企业平均绿色生产面积增加了 131 亩,若以平均县域内未建设智慧农业的农业企业数量(10.3 家)计算,溢出效应的总规模接近

1 349.3 亩,是基准回归估计直接效应的 1.549 倍;面板 C 中的系数值为 0.497,绿色生产面积比例平均增加了 0.497 个百分点。列(2)的结果显示,当县域内有多家农业企业已建设智慧农业时,核心解释变量的系数同样在 1% 的水平上显著为正,且系数值高于列(1),表明智慧农业企业的数量增多会增强对其他农业企业绿色生产行为的溢出效应。

进一步地,本文探究了县域内已建设智慧农业的农业企业数量增加是否会导致溢出效应增强。列(3)的结果显示,核心解释变量 Sum 的系数均在 1% 的水平上显著为正,表明随着当地已建设智慧农业的农业企业数量增加,对其他农业企业绿色生产行为的溢出效应也增大。考虑到智慧农业对其他农业企业的影响可能不会立即显现,而是需要一定时间才能逐步发挥作用。具体来说,智慧农业的发展涉及技术采纳、生产流程优化以及市场适应等多个环节,农业企业在学习、模仿和

调整自身生产方式的过程中往往存在一定的时间滞后。因此,列(4)进一步纳入了核心解释变量 *Sum* 的一阶滞后项,以检验智慧农业对其他农业企业绿色生产行为的滞后效应。结果表明,考虑滞后影响后智慧农业的溢出效应依然显著,对其他农业企业的绿色生产行为仍具有正向促进作用。这一结果也从侧面支持了智慧农业在促进区域农业绿色转型方面的长期作用。综上所述,假说 2 得以验证。

表 7 智慧农业建设的溢出效应

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Spill</i> = 1	<i>Spill</i> ≥ 2	全样本	滞后效应
面板 A:智慧农业建设对农业企业是否开展绿色生产的影响				
	<i>Allow_ave</i>	<i>Allow_ave</i>	<i>Allow_ave</i>	<i>Allow_ave</i>
<i>Spill</i>	0.023 *** (0.003)	0.061 *** (0.003)	—	—
<i>Sum</i>	—	—	0.010 *** (0.001)	—
<i>L. Sum</i>	—	—	—	0.009 *** (0.001)
<i>Constant</i>	0.392 *** (0.014)	0.363 *** (0.013)	0.389 *** (0.011)	0.380 *** (0.015)
<i>N</i>	29 152	33 912	45 644	24 976
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.342	0.357	0.335	0.355
面板 B:智慧农业建设对农业企业绿色生产面积的影响				
	<i>Area_ave</i>	<i>Area_ave</i>	<i>Area_ave</i>	<i>Area_ave</i>
<i>Spill</i>	0.131 *** (0.045)	0.488 *** (0.049)	—	—
<i>Sum</i>	—	—	0.091 *** (0.009)	—
<i>L. Sum</i>	—	—	—	0.096 *** (0.012)
<i>Constant</i>	1.100 *** (0.249)	0.495 ** (0.224)	0.821 *** (0.187)	0.858 *** (0.254)
<i>N</i>	29 152	33 912	45 644	24 976
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.310	0.348	0.317	0.346
面板 C:智慧农业建设对农业企业绿色生产比例的影响				
	<i>Ratio_ave</i>	<i>Ratio_ave</i>	<i>Ratio_ave</i>	<i>Ratio_ave</i>
<i>Spill</i>	0.497 *** (0.110)	0.907 *** (0.110)	—	—
<i>Sum</i>	—	—	0.159 *** (0.020)	—
<i>L. Sum</i>	—	—	—	0.111 *** (0.026)
<i>Constant</i>	11.045 *** (0.518)	10.169 *** (0.453)	10.738 *** (0.389)	10.035 *** (0.507)
<i>N</i>	29 152	33 912	45 644	24 976
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.253	0.261	0.241	0.267
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
所有制类型 固定效应	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是

## (二)异质性分析

### 1. 企业质量体系认证的异质性

企业质量体系认证状态反映了其管理水平、技术实力和市场地位,这些因素在决定企业如何引入、采用和整合智慧农业技术以促进绿色生产方面发挥着关键作用。同时,从消费者视角出发,质量体系认证还与企业的市场地位和声誉密切相关。这意味着,已获质量体系认证的农业企业在市场中推出的绿色农产品可能具备更强的竞争力,进而激励这些企业在智慧农业建设后扩大绿色生产的规模。为了检验企业质量体系认证的异质性效应,本文参考了张延龙等<sup>[29]</sup>的做法,引入了虚拟变量企业质量体系认证与核心解释变量 *Smart* 的交互项。表 8 面板 A 的结果表明,通过质量体系认证的农业企业建设智慧农业将更大程度地促进企业开展绿色生产,且组间差异在 1% 的显著性水平上得到验证。这意味着对于通过质量体系认证的农业企业来说,建设智慧农业将更加有利于企业绿色生产转型。

### 2. 企业所处区域的异质性

企业区位的不同体现了在资源禀赋、市场环境、基础设施以及政策支持方面的差异性,此外农业产业化龙头企业的认定标准也会因地域而有所区别,这些因素可能会对智慧农业的效果产生影响。表 8 面板 B 的结果表明,区域分类虚拟变量与核心解释变量 *Smart* 的交互项均在 1% 的水平上显著为正,这表明在任何地区,智慧农业均能有效推动农业企业增加绿色生产行为。进一步对比系数数值,可以发现智慧农业对农业企业绿色生产行为的影响程度存在地区性差异,且组间差异在 1% 的显著性水平上得到验证。具体而言,在中部地区和西部地区,智慧农业对农业企业绿色生产行为的促进作用尤为显著,而在东部地区,这一积极影响相对较小。对此可能的解释是,从农业生产的基础条件来看,中西部地区的农业生产方式相对传统,机械化、数字化程度较低,因此智慧农业的引入对这些地区的农业企业带来的边际效应更为明显<sup>[30-31]</sup>。相比之下,东部地区的农业企业在现代化生产方面起步较早,智慧农业的应用可能

更多地是对已有生产体系的优化,而非根本性的变革,因此其影响相对较小。同时,东部地区由于土地资源较为紧张,农业企业的扩张和技术改造可能面临更多的约束,从而限制了智慧农业进一步提升绿色生产行为的空间<sup>[32]</sup>。综上所述,智慧农业对不同地区农业企业的绿色生产行为均产生了显著的推动作用,且在中西部地区这种推动作用更为明显。

表 8 异质性分析

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>Allow</i>	<i>Area</i>	<i>Ratio</i>
面板 A: 质量体系认证			
未获得质量体系认证 × <i>Smart</i>	0.091 *** (0.010)	0.073 (0.127)	1.724 *** (0.379)
获得质量体系认证 × <i>Smart</i>	0.156 *** (0.008)	1.310 *** (0.165)	3.223 *** (0.308)
<i>Constant</i>	0.345 *** (0.021)	-6.495 *** (0.435)	12.196 *** (0.804)
<i>N</i>	53 416	53 416	53 416
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.310	0.193	0.163
组间差异检验 <i>F</i> 值	29.095 ***	39.623 ***	10.435 ***
面板 B: 企业所处区域			
东部 × <i>Smart</i>	0.125 *** (0.011)	0.533 *** (0.182)	2.229 *** (0.390)
中部 × <i>Smart</i>	0.142 *** (0.011)	1.136 *** (0.233)	2.584 *** (0.426)
西部 × <i>Smart</i>	0.131 *** (0.011)	0.974 *** (0.207)	3.328 *** (0.465)
<i>Constant</i>	0.333 *** (0.021)	-6.708 *** (0.437)	11.964 *** (0.801)
<i>N</i>	53416	53416	53416
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.310	0.193	0.163
组间差异检验 <i>F</i> 值	140.924 ***	17.979 ***	38.695 ***
控制变量	是	是	是
行业固定效应	是	是	是
所有制类型固定效应	是	是	是
城市固定效应	是	是	是
时间固定效应	是	是	是

## 五、结论与政策建议

### (一) 结论

本文利用 2021—2023 年全国 53 617 家有代表性的农业企业数据,对智慧农业如何影响农业企业的绿色生产行为及其溢出效应进行了实证检验。研究结果显示,智慧农业显著促进了农业企业绿色生产行为的实施,已建设智慧农业的农业企业更倾向于开展绿色生产。此外,智慧农业还具有显著的溢出效应,能够激励同一地区内未建设智慧农业的农业企业也开展绿色生产。以绿色

生产面积为例,智慧农业的溢出效应是其直接效应的 1.549 倍。异质性分析结果表明,获得质量体系认证以及位于中西部地区的农业企业建设智慧农业,将更有利于其绿色生产行为的转变。

### (二) 政策建议

第一,积极推动智慧农业建设,并充分释放其溢出效应。借助互联网、移动互联网、云计算和物联网技术,发展智慧农业有助于彻底革新传统农业,推动现代农业的高效持续发展。特别是,智慧农业不仅能直接促进农业企业开展绿色生产,还能够促进地区内未建设智慧农业的农业企业开展绿色生产。因此,政府应加快构建完善的智慧农业政策支持体系,如建立智慧农业专项信贷政策和贷款机制,鼓励金融机构向农业企业提供专项融资支持,以解决智慧农业建设初期投入和运营过程中的资金需求,降低企业经营风险。同时,应拓宽智慧农业技术的传播渠道,减少采纳智慧农业技术的信息障碍,提高智慧农业技术的可得性。

第二,因企制宜、因地制宜推广智慧农业在绿色农业领域的应用。智慧农业对绿色生产的促进作用会因区域差异而有所不同,因此需要有针对性的推广策略。对于技术基础较弱的西部地区,政府应更加侧重于提供支持和激励措施,帮助消除发展智慧农业的障碍。可以考虑建立地区合作机制,促进东部地区的技术供应商和服务商与西部地区的农业企业建立合作关系,通过技术转移和知识共享促进西部地区智慧农业的发展。

第三,推动智慧农业建设的过程中同步发展质量体系认证。优质农产品的官方认证能够降低绿色产品的市场辨别成本,进而消除由信息不对称导致的市场扭曲,使市场在价格和需求上能够更好地与绿色农产品相匹配。可以尝试借助二维码等技术,建立全程可追溯、互联共享的质量体系认证信息平台,使消费者能够方便快捷地查询相关信息,从而对农产品生产过程和质量安全情况有清晰了解。

### 参考文献:

- [1]刘守英. 农村土地制度改革:从家庭联产承包责任制到三权分置[J]. 经济研究, 2022, 57(2): 18-26.
- [2]罗锡文, 廖娟, 臧英, 等. 我国农业生产的发展方向:从机械化到智慧化[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1):

46-54.

[3]赵春江. 智慧农业发展现状及战略目标研究[J]. 智慧农业, 2019, 1(1): 1-7.

[4]牟少岩, 丁慧媛, 郑满生, 等. 智慧农业革命影响及对策研究[J]. 农业经济问题, 2022(9): 111-117.

[5]牟晓燕, 吴自涛. 绿色发展理念视角下智慧农业发展的基本目标、关键问题实现路径[J]. 科学管理研究, 2021, 39(4): 131-136.

[6]史絮. “双碳”目标下智慧农业绿色发展问题研究[J]. 农业经济, 2024(9): 23-25.

[7]WALTER A, FINGER R, HUBER R, et al. Smart farming is key to developing sustainable agriculture [J]. Proceedings of the national academy of sciences, 2017, 114(24): 6148-6150.

[8]罗千峰, 赵奇锋, 胡雯. 智慧农业的增效机制与包容性发展路径[J]. 中国流通经济, 2023, 37(9): 3-10.

[9]刘长全. 关于智慧农业的理论思考: 发展模式、潜在问题与推进策略[J]. 经济纵横, 2023(8): 63-70.

[10]FRIHA O, FERRAG M A, SHU L, et al. Internet of things for the future of smart agriculture: a comprehensive survey of emerging technologies [J]. IEEE/CAA journal of automatica sinica, 2021, 8(4): 718-752.

[11]殷浩栋, 霍鹏, 肖荣美, 等. 智慧农业发展的底层逻辑、现实约束与突破路径[J]. 改革, 2021(11): 95-103.

[12]段树谨. 绿色发展背景下我国智慧农业发展问题及实现路径[J]. 农业经济, 2022(5): 3-5.

[13]谭秋成. 作为一种生产方式的绿色农业[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(9): 44-51.

[14]阮俊虎, 刘天军, 冯晓春, 等. 数字农业运营管理: 关键问题、理论方法与示范工程[J]. 管理世界, 2020, 36(8): 222-233.

[15]SHEN J, ZHU Q, JIAO X, et al. Agriculture green development: a model for China and the world [J]. Frontiers of agricultural science and engineering, 2020, 7(1): 5-13.

[16]张延龙, 汤佳, 王海峰, 等. 农产品加工业高质量发展: 理论框架、现状特征与路径选择[J]. 中国农村经济, 2024(7): 55-74.

[17]BRAVO-MONROY L, POTTS S G, TZANOPOULOS J. Drivers influencing farmer decisions for adopting organic or conventional coffee management practices [J]. Food policy, 2016, 58: 49-61.

[18]李鑫, 徐琼, 王核成. 企业数字化转型与绿色技术创新[J]. 统计研究, 2023, 40(9): 107-119.

[19]陈卫洪, 王莹. 数字化赋能新型农业经营体系构建研

究: “智农通”的实践与启示[J]. 农业经济问题, 2022(9): 86-99.

[20]李晓静, 陈哲, 夏显力. 参与电商对农户绿色生产意识的空间溢出效应: 基于两区制空间杜宾模型分析[J]. 农业技术经济, 2021(7): 49-64.

[21]HORLINGS L G, MARSDEN T K. Towards the real green revolution? exploring the conceptual dimensions of a new ecological modernisation of agriculture that could “feed the world” [J]. Global environmental change, 2011, 21(2): 441-452.

[22]张延龙, 王明哲, 廖永松. 入驻农业产业园能提高企业经营绩效吗?: 基于全国 59384 家农业产业化龙头企业的微观证据[J]. 中国农村经济, 2022(4): 126-144.

[23]吴育辉, 田亚男, 陈韞妍, 等. 绿色债券发行的溢出效应、作用机理及绩效研究[J]. 管理世界, 2022, 38(6): 176-193.

[24]黄群慧, 余泳泽, 张松林. 互联网发展与制造业生产率提升: 内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济, 2019(8): 5-23.

[25]赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展: 来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.

[26]王明哲, 周迪, 黄炜. 扶贫先扶志: 脱贫家庭内生动力对返贫风险的影响[J]. 世界经济文汇, 2022(5): 1-18.

[27]GRIESER W D, HADLOCK C J. Panel-data estimation in finance: testable assumptions and parameter (in) consistency [J]. Journal of financial and quantitative analysis, 2019, 54(1): 1-29.

[28]ACEMOGLU D, JOHNSON S, ROBINSON J A. The colonial origins of comparative development: an empirical investigation [J]. American economic review, 2001, 91(5): 1369-1401.

[29]张延龙, 王明哲, 曾珂雅, 等. 新冠疫情冲击下税收优惠政策实施能刺激农业企业投资吗: 基于全国代表性农业企业的实证分析 [J]. 中国农村经济, 2023(4): 143-163.

[30]吕明, 黄宜, 陈蕊. 中国绿色农业区域差异性分析 [J]. 农村经济, 2022(12): 78-87.

[31]漆雁斌, 韩绍葵, 邓鑫. 中国绿色农业发展: 生产水平测度、空间差异及收敛性分析 [J]. 农业技术经济, 2020(4): 51-65.

[32]张亚娜. 我国西部地区农业经济发展与生态产业重构 [J]. 农业经济, 2018(10): 67-69.

(本文责编: 默 黎)