

数智鸿沟对农户绿色生产转型的影响研究

罗千峰¹, 赵奇锋², 张冷然³

- (1. 中国社会科学院农村发展研究所, 北京 100732;
2. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 北京 100732;
3. 中央民族大学管理学院, 北京 100081)

摘要: 基于中国乡村振兴综合调查数据, 实证分析数智鸿沟对农户绿色生产转型的影响。研究发现, 数智鸿沟阻碍了农户绿色全要素生产率的提升, 从而抑制其绿色生产转型。通过排除自选择偏误、互为因果和样本选择偏差等导致的内生性干扰, 并进行稳健性检验, 上述结论依然成立。异质性分析表明, 数智使用鸿沟对农户绿色生产转型的负面影响最为显著, 且数智鸿沟的抑制效应在小规模经营、缺乏培训和低收入农户群体中更为突出。进一步研究发现, 数智鸿沟主要通过阻碍农户技术采纳、削弱人力资本积累、限制信息获取和制约土地管理水平等渠道抑制农户绿色生产转型。

关键词: 数智化; 数智鸿沟; 绿色生产转型; 绿色全要素生产率

中图分类号: F323. 22; F49 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0566(2025)07-0074-12

Impact of the digital-intelligence divide on farmers' green production transition

LUO Qianfeng¹, ZHAO Qifeng², ZHANG Lingran³

- (1. Rural Development Institute, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;
2. Institute of Quantitative & Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;
3. School of Management, Minzu University of China, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on data from the CRRS, this study empirically analyzes the impact of the digital divide on the green production transformation of farmers. The research finds that the digital divide hinders the improvement of farmers' green total factor productivity, thereby inhibiting their transition to green production. After excluding endogeneity disturbances caused by self-selection bias, reverse causality, and sample selection bias, and through robustness checks, the above conclusions remain valid. Heterogeneity analysis reveals that the negative impact of the digital usage divide on farmers' green production transformation is the most significant, and the inhibitory effect of the digital divide is more pronounced among small-scale operators, those lacking training, and low-income farmer groups. Mechanism analysis shows that the digital divide mainly suppresses farmers' green production transformation by impeding technology adoption, weakening human capital accumulation, restricting access to information, and limiting the level of land management.

Key words: digital intelligence; digital-intelligence divide; green production transition; green total factor productivity

收稿日期: 2025-05-13 修回日期: 2025-07-11

基金项目: 国家社会科学基金青年项目“数字技术赋能农村中低收入群体增收的机制与路径研究”(23CJY055)。

作者简介: 罗千峰(1990—), 男, 河南信阳人, 中国社会科学院农村发展研究所助理研究员, 博士, 研究方向为农村产业经济、数字经济。通信作者: 张冷然。

中国式现代化强调人与自然和谐共生,推进农业绿色发展是实现高质量发展的关键环节。近年来,农业绿色转型成效显著,全国秸秆综合利用率稳定在 88% 以上,畜禽粪污综合利用率达到 79.4%^①,三大粮食作物化肥利用率为 42.6%^②,优质绿色农产品供应能力持续增强^[1]。然而,农业绿色发展仍面临严峻挑战。一方面,农业面源污染治理任务艰巨,化学投入品过量使用导致的土壤板结、水体污染等生态环境问题依然突出,严重威胁农业生态系统健康和农产品安全^[2]。另一方面,长期以来农业发展以增产为导向,高投入生产模式带来的环境风险日益凸显,推高农业领域温室气体排放水平^[3],农业减排降碳任务十分紧迫。实现农业可持续发展的关键在于构建绿色生产体系,通过创新技术应用和精细化管理,最大限度减少生产过程中的环境负外部性,同时提升资源配置效率,形成经济效益与生态效益相统一的发展格局^[4]。在传统发展模式遭遇瓶颈的背景下,迫切需要寻求农业绿色转型的新路径和新动能。

步入新时代,数智化技术正以前所未有的速度和规模重构经济社会发展范式。中国数字经济规模从 2014 年的 16.2 万亿元增长至 2023 年的约 56.1 万亿元,在 GDP 中的占比攀升至 44% 左右^③。然而,区域经济发展不均衡、数字基础设施建设不协调以及居民数字素养差异等多重因素叠加,致使城乡、区域及不同社会群体间的数字鸿沟持续扩大,制约数智技术的包容性发展,使得部分农户难以享受数字红利^[5-7]。数字鸿沟困境不仅反映传统生产要素配置模式与现代智慧农业技术体系的适配障碍,而且折射出技术经济范式变迁和新旧动能转换过程中的结构性矛盾和发展不平衡问题。

针对上述问题,已有研究发现数字鸿沟的扩

大不利于实现社会公平正义,导致建立在数字经济基础上的利益分配不均等,产生弱者越弱、强者越强的马太效应,违背共享发展理念^[8-10]。数字鸿沟可能导致新型社会分层,其影响既包括经济机会获取的差异化,也涉及社会资源配置的不均衡性,进而演化为更为复杂的数字不平等问题^[11-12]。宏观层面,数字鸿沟加剧区域发展不平衡,扩大城乡之间和地区之间的收入差距,并且数字素养鸿沟对地区间收入差距的影响效应要比数字基础设施鸿沟的影响更为显著^[13]。产业层面,在不同产业数字化转型进程中,基础设施建设水平、数字技能水平、数据安全能力共同导致产业在算力分布、人才配置、要素利用等方面的数字鸿沟,制约产业协同发展和整体竞争力提升,使经济发展呈现不均衡态势^[14]。微观层面,数字鸿沟制约个体资源获取能力,增加信息技术获取的难度和成本,通过限制低收入个体创业和农村居民非农就业提高收入不平等程度,对低教育水平、低技能劳动者等弱势群体的负向影响更为明显^[15-16]。政策层面,为应对数字鸿沟带来的挑战,学者提出加大对欠发达地区支持力度^[17]、培育具有创新技术活力的市场^[18]、建立面向弱势群体的数字技能培训体系^[19]以及完善数字人才培养机制^[20]等系统性政策措施,以期缩小区域、产业和个体间的数字发展差距,最终构建开放、公平、包容的数字经济生态体系。已有研究多关注数字鸿沟一般性的经济影响,对其在农业绿色生产转型进程中的作用及具体机制探讨相对不足。本文从农业绿色发展视角出发,深入考察数智鸿沟对农户绿色生产转型的影响,以期为缩小数智鸿沟、推进农业绿色发展提供实证依据和政策参考。

相比已有研究,本文的边际贡献主要体现在以下几方面。第一,响应国家战略需求,拓展“数字鸿沟”到“数智鸿沟”的研究视角。本文将传统“数

① 资料来源:农业农村部官网,加快推进农业废弃物资源化利用, http://www.jhs.moa.gov.cn/lzfz/202501/t20250117_6469257.htm。

② 资料来源:农业农村部官网,三大粮食作物化肥利用率稳步提升, https://www.moa.gov.cn:10443/xw/zwdt/202501/t20250114_6469150.htm。

③ 资料来源:中央网络安全和信息化委员会办公室网站,推动中国经济加“数”跑, https://www.cac.gov.cn/2024-03/12/c_1711914435806252.htm。

字鸿沟”概念延伸至“数智鸿沟”,深化对数智经济时代发展不平衡问题的理解,丰富数智化发展与农户绿色生产转型交叉领域的研究。第二,构建农户绿色生产转型的综合评价体系。将经济收益、碳汇效应、面源污染控制以及碳排放水平等关键要素整合至绿色生产转型研究框架中,形成更加科学完整的微观个体绿色生产转型行为测度体系。第三,从技术采纳、人力资本、信息资源和土地管理 4 个维度切入,深入剖析数智鸿沟引致农户绿色生产转型困境的作用路径,回应数智鸿沟如何制约农户绿色发展的关键问题,为完善绿色低碳发展机制提供微观机理解释。第四,依托具有全国代表性的中国乡村振兴综合调查数据,运用大样本农户随机抽样调查信息,不仅为实证研究提供了坚实的数据基础,而且增强了研究结论的政策参考价值和指导意义。

一、理论分析与研究假设

(一)数智鸿沟对农户绿色转型的影响

数智化是数字化与智能化的融合,是二者升级与再配置的过程^[21]。数智化技术的持续迭代融合,为农业生产效率提升、产出增长和绿色可持续发展开辟新路径^[22-23]。然而,数智鸿沟正成为制约农户生产模式创新和绿色转型的关键因素,数智化进程中的基础设施布局失衡、数智素养差异显著、技术使用不均等问题,导致传统农户群体难以有效接入和参与数智经济发展,从而面临系统性的技术要素获取及应用障碍^[24]。农村居民数智素养水平相对较低,在一定程度上限制了其运用数智技术开展绿色生产的能力。同时,教育年限短、专业培训缺失等现实约束,使农户在数智技术发展中日益边缘化^[25],难以获取现代农业知识与技术支持。此外,数智鸿沟加剧信息不对称,抬高农户交易成本,阻碍物联网、人工智能等现代信息技术在传统农业生产中的深度应用,使生产效率增长和环境效益提升的空间受限。数智鸿沟本质上反映农户在数智化转型过程中的机会差异,特别是对缺乏技术接入能力和数智素养的群体而言,其所面临的多维工具与技术排斥,可能对绿色转型产生显著抑制效应。基于上述分析,本文提

出如下研究假设。

假设 H1:数智鸿沟抑制农户绿色生产转型。

(二)数智鸿沟影响农户绿色生产转型的机制

1. 技术采纳

数智鸿沟通过制约农户的绿色技术采纳行为,进而影响农户绿色生产转型。第一,数智鸿沟限制农户接触绿色技术的机会。在数智化时代,绿色农业技术的推广与普及高度依赖数智化渠道。数智鸿沟阻碍农户通过现代化渠道获取节能减排、清洁生产工艺和环保设备等技术信息,降低其对绿色技术的认知水平,不利于实现绿色生产转型。第二,数智鸿沟提高绿色技术的学习和采纳门槛。现代农业绿色技术与数智技术深度融合,其技术复杂性和专业性已远超传统农业范畴。农户难以准确理解和熟练运用这些数智化绿色技术,导致技术学习和应用成本上升,采纳意愿下降,部分技术很难得到大范围推广应用^[26]。第三,数智鸿沟弱化技术交流网络。数智鸿沟降低农户通过数智化平台和社会网络分享绿色技术使用经验的可能性,弱化技术采纳的学习效应和溢出效应^[7]。据此,本文提出以下研究假设。

假设 H2:数智鸿沟通过阻碍绿色技术采纳,从而抑制农户绿色生产转型。

2. 人力资本

数智鸿沟通过影响农户人力资本积累,进而影响农户绿色生产转型。一方面,数智鸿沟制约农户知识积累。根据有限理性理论,以知识约束为主要内容的认知局限应引入社会个体的行为决策方程,知识积累与认知能力不足将增加决策成本^[27],从而降低农户绿色生产转型的积极性。数智鸿沟限制农户通过数智渠道获取绿色生产知识,制约其绿色发展知识的多元化积累。另一方面,数智鸿沟制约农户综合素养提升。数智鸿沟阻碍农户对先进教育资源的利用,使其难以掌握绿色农业技术规范,也无法充分认识绿色技术带来的增产增收价值。知识积累和综合素养的双重制约,最终影响其绿色生产转型进程。基于上述分析,本文提出以下研究假设。

假设 H3:数智鸿沟通过削弱农户人力资本

积累,从而抑制其绿色生产转型。

3. 信息获取

数智鸿沟通过影响信息获取途径,从而制约农户绿色生产转型。数智技术作为信息网络的核心载体,其在农业农村领域的深入应用重塑经济社会的时空机制,实现数据信息的高效流通和交互,推动市场交易从传统熟人社会向“非人际交易”转型,显著拓宽乡村交易的时空范畴^[28-29]。然而,数智鸿沟压缩农户信息获取的时空边界,降低农户信息获取效率和质量。数智基础设施的不完善限制农户快速获取市场价格和供需信息的渠道,提高信息获取的时间成本,降低信息获取效率。同时,智能终端使用和技能水平的局限性,限制了农户获取外部市场信息的空间半径,影响信息获取的完整性和全面性,进而降低农户信息获取的质量。时空边界的压缩抬高农户获取农业信息的交易成本,使农户陷入信息滞后和信息不对称的困境。基于此,本文提出以下研究假设。

假设 H4:数智鸿沟通过限制农户信息获取,从而抑制其绿色生产转型。

4. 土地管理

数智鸿沟通过影响农户土地管理水平,从而抑制农户绿色生产转型。首先,数智鸿沟制约农户对土地的科学投入。遥感技术等数智化手段为农业数据的采集、挖掘和分析提供有力支撑,使农业生产者能够实时获取土壤状况等关键数据,精准把握作物病虫害发展趋势和生长规律,为生产决策提供可靠依据,进而提升农业产业竞争力和可持续发展能力^[30]。然而,数智鸿沟导致农户难以准确掌握土壤养分、有机质含量和微生物活性等重要信息,不利于构建经济效益与生态效益兼顾的轮作策略。其次,数智鸿沟不利于优化土地资源管理。数智化技术有助于农户根据土壤类型和作物生长条件优化品种选择和轮作方式,提升农业产量和收益,同时精准实施病虫害防治,优化作物种植管理,推动农业废弃物循环利用^[31]。数智鸿沟阻碍农户对精准施肥、智能灌溉、土壤改良等现代智慧农业技术的应用,制约土地管理水平的提升和农业绿色发展。基于上述分析,本文提

出以下研究假设。

假设 H5:数智鸿沟通过制约土地管理水平,从而抑制农户绿色生产转型。

二、研究设计

(一)数据来源

本文数据源自 2022 年中国乡村振兴综合调查(CRRS)。该调查是一项以乡村振兴为主题的实地调研,涵盖农业生产经营、乡村发展状况、农民生活水平、社会福祉保障、技术采纳行为、收入结构变化、环境保护行为等多个维度,能够捕捉数字乡村建设加速推进和绿色农业发展深入实施背景下农户行为的最新变化,为深入研究数智鸿沟对农户绿色生产转型的影响机制提供可靠的数据支撑和实证基础。该调查采用严格的多阶段随机分层抽样设计,充分体现数据的科学性和全国代表性。经过数据缺失值和异常值处理,最终形成 1 376 个有效农户样本。

(二)变量定义与描述

1. 因变量

农户绿色转型是本文因变量,采用绿色全要素生产率指标进行度量。本文构建一个包含要素投入、经济效益、碳汇、面源污染及碳排放等多维指标的评价体系,通过全要素生产率视角客观评估农户绿色转型程度。

第一,效率测度模型构建。本文基于超效率松弛测度模型(Super-SBM)构建复合生产函数,测度农业绿色全要素生产率(*GreenTFP*)。计算方法为:

$$GreenTFP = \min \frac{\alpha - \pi_m \sum_{a=1}^z \frac{\gamma_a^- \delta_a^-}{x_{ai}}}{\mu + \pi_n \sum_{b=1}^g \frac{\gamma_b^+ \delta_b^+}{p_{bi}} + \pi_q \sum_{c=1}^h \frac{\gamma_c^{q-} \delta_c^{q-}}{q_{ci}}} \quad (1)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{k=1}^l \xi_k x_{ak} + \delta_a^- - \alpha x_{ai} = 0, a = 1, 2, \dots, z & (2) \\ \sum_{k=1}^l \xi_k p_{bk} - \delta_b^+ - \mu p_{bi} = 0, b = 1, 2, \dots, g & (3) \\ \sum_{k=1}^l \xi_k q_{ck} + \delta_c^{q-} - \mu q_{ci} = 0, c = 1, 2, \dots, h & (4) \\ \xi_k \geq 0; \delta_a^- \geq 0; \delta_b^+ \geq 0; \delta_c^{q-} \geq 0 & (5) \end{cases}$$

上述模型中,*GreenTFP* 代表测算所得绿色全

要素生产率最优水平; a 为投入指标; z 为投入变量数量; b 为期望产出指标; g 反映其数量规模; c 为非期望产出指标; h 表示其数量; α 、 μ 分别表示径向和非径向条件下的效率数值; π_m 是综合径向变化幅度和非径向松弛向量的加权系数; x_{ai} 是农户 i 的投入向量; γ_a^- 为投入指标的加权系数; δ_a^- 是表示非径向条件下投入变量 a 的松弛量; π_n 为综合反映径向松弛变量变化幅度及非径向松弛向量的调节参数; γ_b^+ 、 γ_c^- 分别为期望产出、非期望产出指标的加权系数; (δ_b^+, δ_c^-) 表示期望产出与非期望产出间的松弛量; π_q 为同时体现径向变化幅度及非径向松弛向量的调节因子; q_{ci} 为第 i 个农户的非期望产出水平; ξ_k 为第 k 个投入变量的相对权重; (x_{ak}, p_{bk}) 为决策单元 k 的投入产出向量。当 $0 \leq GFTP < 1$ 时,说明该决策单元存在要素配置不当的效率损失,具备优化的空间;当 $GFTP = 1$ 时,表明达到了充分的效率。

第二,评价指标体系设计。构建评估框架时,着重考虑产出效益、生态环保及资源利用等多维度要素。基于方芳等^[32]的研究及 CRRS 数据指标,设计包含 6 项投入要素与 2 项产出维度的测评指标(见表 1)。

表 1 农户绿色转型评价指标体系

类别	主要维度	具体项目	度量说明
投入指标	土地	土地投入	经营面积(亩)
	劳动	劳动力投入	人力投入总工时(工日)
	资本	化肥使用	施肥总量(千克)
		农药投入	施药总费用(万元)
	能源	电力使用	用电支出(万元)
	水资源	农业用水	灌溉面积(亩)
	其他投入	其他成本	杂项支出费用(万元)
产出指标	期望产出	碳汇	碳汇总量(吨)
		农业总收入	年收入额(万元)
	非期望产出	碳排放	碳排放总量(吨)
		面源污染	污染排放量(立方米)

投入层面选择土地、劳动力、资本等基本生产要素。同时,将水资源、能源等要素纳入测算体系,运用实际灌溉面积反映水资源使用状况,以电力支出代表能源投入水平。另外,将其他成本支出作为补充投入变量,融入整体测算体系。产出测算方面,兼顾预期产出与非预期产出两个维度。期望产出包括经济效益和生态效应贡献,分别用农业总收入、

农业碳汇量衡量。非期望产出则考虑生产活动的环境影响,参考张梅等^[33]的研究,采用温室气体排放量和面源污染排放量进行测度。

第三,碳汇测算。根据农作物固碳机理,农作物通过光合作用与有机质转化实现碳吸收,参考张俊飏等^[34]提出的农业碳汇测算方法,采用生物产量法进行测算,测算公式为:

$$CrbSeque = \sum_s^d CrbSeque_s = \sum_s^d Crb_s \times Output_s \times (1 - v) / Econom_s \quad (6)$$

式(6)中, $CrbSeque$ 表征碳汇总量; $CrbSeque_s$ 为第 s 类作物碳汇量; Crb_s 反映第 s 类作物光合作用所吸收的碳含量; d 为种植品种数量; $Output_s$ 指代作物产量; v 为含水率; $Econom_s$ 为作物经济系数。通过解构作物有机物合成过程,建立经济产量与吸收的碳含量的映射关系,相关参数设定参照伍国勇等^[35]的研究。基于不同作物的固碳效率,结合农户生产结构数据,可计算出农户农业生产的碳汇水平。

第四,碳排放测算。构建包含生产系统排放与作物排放的综合性评估体系,从而全面量化农户农业生产系统的碳排放情况。

首先,生产过程碳排放。针对农业生产过程涉及的耕地、施肥、灌溉等诱发温室气体排放的活动,参照田云等^[36]的计算方法,设定如下农地利用过程碳排放计量方程:

$$CrbEmis = \sum_w CrbEmis_w = \sum_w Amount_w \times Emitter_w \quad (7)$$

式(7)中, $CrbEmis$ 表征碳排放的总量, $CrbEmis_w$ 为第 w 类排放源的排放量, $Amount_w$ 反映碳排放源的数量规模, $Emitter_w$ 为相应的碳排放系数。

其次,农作物碳排放量。作物生长代谢过程呈现碳双向流动特征,即植物既通过光合作用固定二氧化碳,又会产生甲烷等温室气体,因此需统筹考虑生育期特征、品种属性及碳固定与释放机制。由于自然条件和栽培模式存在差异,相同品种作物的碳排放强度表现出明显区别。借鉴闵继胜等^[37]的研究成果,构建如下农作物碳排放测算

公式:

$$CrbEmis_e = \sum Factor_e \times Acreage_f \quad (8)$$

式(8)中, $CrbEmis_e$ 表示农作物种植碳排放总量; $Factor_e$ 为碳排放系数; $Acreage_f$ 为作物种植面积。

第五,面源污染测度。农业面源污染容易受到水文因素影响,具有空间异质性,其扩散过程受降水、径流、灌溉等多重环境因素作用,难以被实现精准量化。在参考秦天等^[38]研究的基础上,结合CRRS数据指标,重点关注化肥施用与农业废弃物处置两大污染源对水土系统的影响。参照《排放源统计调查产排污核算方法和系数手册》以及相关成果,建立如下农业面源污染排放量计算公式:

$$SourceEmis = \sum_i Indicator_i \times Intensity_i \times (1 - Recycle_i) \times FactorEmis_i \quad (9)$$

式(9)中, $SourceEmis$ 表征农户面源污染排放量; $Indicator_i$ 为指标数; $Intensity_i$ 为产污强度系数; $Recycle_i$ 表征资源利用系数; $FactorEmis_i$ 为污染排放系数。本文着重关注总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮(NH₃-N)与化学需氧量(COD)4类关键指标,其量化标准参照《地表水环境质量标准》Ⅲ类水体要求,按照TN为1 mg/L、TP为0.2 mg/L、NH₃-N为1 mg/L、COD为20 mg/L的标准进行换算,由此计算得出面源污染综合污染排放水平。

2. 核心解释变量

数智化鸿沟是本文核心解释变量。参考经济

合作与发展组织(OECD)以及相关文献对“数字鸿沟”的定义,将不同社会经济水平的国家、地区、家庭或个体在接触数智化技术的机会和使用数智化技术等方面的差距界定为数智鸿沟^[39]。农户数智化进程需要全局性、系统化支撑,单一环节或技术的缺失都可能影响整体发展效果。同时,数智化水平提升依赖基础服务支持和应用主体的操作技能^[40]。已有相关文献大多基于单一指标或者基于地区层面数据进行测度,难以全面反映和准确测度农户层面的数智鸿沟水平。借鉴毛宇飞等^[41]以及黄阳华等^[42]的研究,从数智接入、数智技能和数智使用3个方面构建农户数智化转型指标体系(见表2)。

具体来说,数智接入维度主要考察农户获取数智化服务的能力。随着基础设施逐步完善和网络服务进入优化升级阶段,网络服务质量及其对产业支撑能力得到迅速提升,基础接入差距虽在缩小,但多元化设备协同和服务升级方面的差异仍然显著。数智技能维度关注农户对数智技术的功能适应和实操能力,不仅涉及基础数智工具的使用技能,还涉及数智设备操作、数据分析应用以及新技术学习适应能力等综合素养。数智技能直接影响数智技术在农业生产中的有效应用。数智使用维度关注农户将数智技术融入农业生产的程度,及其对提升农业产出、降低潜在的环境风险和改善综合福祉的实际效果。在指标权重确定过程中,首先对各项指标进行标准化处理以消除量纲

表2 农户数智化转型指标体系

一级维度	二级维度	具体指标
数智接入	电脑设备	拥有平板或者台式电脑(0-1指示变量)
	移动设备	您家有几部4G/5G手机
	家庭网络	您家里网络条件如何(1=没有网络;2=较差,经常断网;3=可以,偶尔断网;4=非常好)
	网络增值	购买APP增值服务(0-1指示变量)
数智技能	功能适应	是否能够快速适应手机新软件和新功能(1=不能;2=较难;3=一般;4=基本能够;5=完全可以)
	操作技能	使用智能手机功能的难度(1=较困难,基本只用来接打电话;2=有些困难;3=不存在困难)
	信息导航	如果没有子女或亲朋帮助,能否通过手机或网络获取所需信息(1=很困难;2=较困难;3=一般;4=较容易;5=很容易)
	社交技能	是否具备社交基本技能(0-1指示变量)
	安全技能	能否判断通过手机或网络获取信息的准确性(1=不能;2=较难;3=一般;4=基本能够;5=完全可以)
数智使用	生产领域	农业生产过程中数智化技术使用程度(从耕地到收获运输过程中数智技术使用数量)
	金融领域	您家购买种苗、化肥、饲料等农资产品是否首选网络支付(0-1指示变量)
	销售领域	您家庭是否有经营的产品通过网络交易(0-1指示变量)
	生活领域	您平均每天通过网络开展日常生活活动时长
	教育领域	您日均通过手机进行学习教育的时长是否排名使用时长前三位(0-1指示变量)

差异,继而参考王定祥等^[43]的研究,采用 CRITIC 法确定权重系数,最终计算得到农户数智化水平。为验证测度结果的可靠性,分别采用熵值法和独立性权重法进行重新计算以进行稳健性检验。

鉴于地区之间数智化发展水平差距较为显著,参考杨碧云等^[9]的研究,以农户所在省份的其他农户个体作为参照,利用该省域内最高数智化水平与个体数智化水平的差距,所得到的数值除以该地区数智发展水平最大差距,从而得到农户数智鸿沟指数 ($IntellGap_i$)。该指数数值越大,表明农户的数智鸿沟程度越深,其计算公式为:

$$IntellGap_i = \frac{\max(IntellLevel) - IntellLevel_i}{\max(IntellLevel) - \min(IntellLevel)} \quad (10)$$

表 3 变量描述性统计

变量名称	变量含义	均值	标准差	最小值	最大值
<i>GreenTFP</i>	绿色全要素生产率	0.112	0.140	0.001	0.893
<i>IntellGap</i>	数智鸿沟指数	0.539	0.193	0.000	1.000
<i>BaseGap</i>	数智接入鸿沟指数	0.535	0.173	0.000	1.000
<i>SkillGap</i>	数智技能鸿沟指数	0.376	0.239	0.000	1.000
<i>UseGap</i>	数智使用鸿沟指数	0.787	0.186	0.000	1.000
<i>Gender</i>	男 = 1; 女 = 0	0.954	0.209	0.000	1.000
<i>Age</i>	年龄	55.414	9.705	25.000	88.000
<i>Employment</i>	全职务农 = 1; 非全职务农 = 0	0.602	0.490	0.000	1.000
<i>Cadre</i>	村干部 = 1; 不是 = 0	0.175	0.380	0.000	1.000
<i>FamilySize</i>	农户家庭总人口数量	4.308	1.768	1.000	12.000
<i>Children</i>	家庭 15 岁及以下少年人口数量	0.719	0.943	0.000	6.000
<i>Elderly</i>	家庭 60 岁以上老龄人口数量	0.670	0.843	0.000	3.000
<i>Education</i>	未上学及学前教育 = 1; 小学 = 2; 初中 = 3; 高中 = 4; 中专 = 5; 职高技校 = 6; 大学专科 = 7; 大学本科 = 8; 研究生 = 9	4.956	2.186	0.000	9.000
<i>Land</i>	家庭耕地数量(亩),取自然对数	2.420	1.146	0.000	7.048
<i>Plot</i>	耕地地块数量	7.053	7.413	0.000	70.000
<i>Organization</i>	加入合作社 = 1; 没加入 = 0	0.228	0.420	0.000	1.000
<i>Farm</i>	家庭农场 = 1; 不是 = 0	0.075	0.263	0.000	1.000
<i>Location</i>	村委会距离乡镇政府距离(公里)	6.689	7.668	0.000	57.000
<i>Digital</i>	村庄掌握至少 2 种数字技能人数的比例	0.555	0.168	0.083	0.929
<i>Distance</i>	村庄到各自省会的球面距离,取自然对数	5.094	0.662	2.058	6.284
<i>Technology</i>	农户是否采纳秸秆还田绿色生产技术	0.548	0.498	0.000	1.000
<i>Cognition</i>	农户绿色认知程度	1.698	1.028	0.000	4.000
<i>Information</i>	农户对网络和专业软件获取信息的必要性程度	3.193	1.153	1.000	5.000
<i>LandQuality</i>	农户是否有进行土地轮作	0.233	0.423	0.000	1.000

(三)实证方法

为探究数智鸿沟对农户绿色生产行为的影响,建立如下基准计量模型。

$$GreenTFP_i = \alpha + \beta IntellGAP_i + \sum_r \lambda_r X_i + DisFE + \varepsilon_i \quad (11)$$

式(11)中,因变量采用绿色全要素生产率指标 $GreenTFP_i$; 关键解释变量 $IntellGAP_i$ 表征农户数智鸿沟指数; 系数 β 测度了数智鸿沟对绿色生产的影响效应; X 代表一系列控制变量,并将地区固

3. 控制变量

本文在选择控制变量时既立足理论基础,将关键影响因素纳入模型,又权衡数据质量与可获得性,以保障实证结果的稳健性。参考现有文献,分别从个体、家庭和社区 3 个维度构建控制变量体系。个体层面变量涵盖户主性别、年龄、就业情况、干部身份; 家庭层面变量包括家庭人口规模、少年人口数量、老龄人口数量、成员受教育程度、土地规模、地块数量、组织化情况、家庭农场等情况; 地区层面变量涵盖村庄地理位置、数字禀赋等指标。各变量的描述性统计分析结果如表 3 所示。

定效应 $DisFE$ 、随机扰动项 ε 纳入模型。实证策略上,先采用 OLS 方法获得基准估计。考虑到可能存在的选择性偏误,进一步结合倾向得分匹配法(PSM)、工具变量法(2SLS)等方法处理潜在的内生性问题,以确保模型估计的稳健性。

三、实证分析与结果

(一)基准回归结果

表 4 报告了数智鸿沟对农户绿色全要素生产率的基准回归结果。实证分析表明,数智鸿沟显著抑

制农户绿色全要素生产率提升,该结论在引入不同层面控制变量下均保持稳健。模型(4)的估计结果显示,数智鸿沟指数每增加一个标准差(0.193),农户绿色全要素生产率下降8.83个百分点,这一效应在统计和经济层面均具有显著性,验证了研究假设H1。一方面,数智鸿沟限制农户对现代化农业设备和技术的有效利用,影响绿色节能减排技术的推广应用。技术应用上的局限能够降低精准化肥及农药施用效率和农业废弃物处理水平,导致资源配置效率低下,从而影响农业绿色全要素生产率的提升。另一方面,数智鸿沟制约农户对市场动态和政策导向的响应能力,不仅影响科技信息传播效果,弱化环境规制约束力,也限制农户对绿色发展理念的认知和接受度,不利于农户绿色生产转型。

表4 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>IntellGap</i>	-0.064 *** (0.019)	-0.071 *** (0.021)	-0.065 *** (0.021)	-0.064 *** (0.020)
<i>Gender</i>	—	0.027 * (0.015)	0.016 (0.015)	0.014 (0.015)
<i>Age</i>	—	0.000 (0.000)	0.001 ** (0.000)	0.001 * (0.000)
<i>Employment</i>	—	0.003 (0.008)	-0.008 (0.008)	-0.008 (0.008)
<i>Cadre</i>	—	0.008 (0.010)	0.005 (0.010)	0.006 (0.010)
<i>FamilySize</i>	—	—	0.000 (0.003)	0.000 (0.003)
<i>Children</i>	—	—	-0.002 (0.005)	-0.002 (0.005)
<i>Elderly</i>	—	—	-0.006 (0.005)	-0.006 (0.005)
<i>Education</i>	—	—	0.000 (0.002)	0.000 (0.002)
<i>Land</i>	—	—	0.022 *** (0.005)	0.021 *** (0.005)
<i>Plot</i>	—	—	0.001 ** (0.001)	0.001 ** (0.001)
<i>Organization</i>	—	—	-0.013 (0.008)	-0.013 (0.008)
<i>Farm</i>	—	—	-0.007 (0.014)	-0.007 (0.014)
<i>Location</i>	—	—	—	0.002 *** (0.001)
<i>Digital</i>	—	—	—	0.006 (0.022)
地区固定效应	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.096	0.099	0.132	0.142
观测值	1 376	1 376	1 376	1 376

注:***、**、*分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.1$ 时有统计学意义;括号内为稳健标准误。下同。

(二)内生性问题处理

鉴于计量模型可能存在内生性干扰,首先采用倾向得分匹配(PSM)方法减少样本自选择偏差。以农户数智鸿沟指数的中位数为标准,将样

本划分为数智鸿沟较大组(处理组)与较小组(对照组)。然后,构建Logit模型估算倾向得分,纳入个体特征、家庭特征及社区特征等关键协变量,确保匹配的准确性。为验证结果稳健性,采用半径匹配、核匹配等五种方法进行对比分析。平衡性检验显示匹配后各协变量的标准化偏差均显著降低至10%以下,表明处理组和对照组的特征差异显著减小,匹配效果良好。表5的匹配结果表明,平均处理效应(ATT)的估计值均显著为负,说明高数智鸿沟农户的绿色全要素生产率显著低于对照组,数智鸿沟显著抑制农户的绿色生产转型进程,并且该结论在半径匹配等多种匹配方法下均保持稳健,证实了研究假设H1。

表5 PSM估计结果

平均处理效应	半径匹配	局部线性回归匹配	核匹配	马氏匹配	样条匹配
ATT	-0.015 * (0.009)	-0.018 * (0.010)	-0.018 ** (0.008)	-0.022 *** (0.008)	-0.018 ** (0.009)
ATU	-0.021 *** (0.008)	-0.020 * (0.011)	-0.019 ** (0.008)	-0.017 ** (0.008)	-0.020 ** (0.009)
ATE	-0.018 ** (0.007)	-0.019 ** (0.009)	-0.019 *** (0.007)	-0.020 *** (0.007)	-0.019 ** (0.008)

第二,工具变量法。参考张勋等^[44]的研究,将农户所在地到省会城市的距离(*Distance*)作为数智鸿沟的工具变量。地理距离与数智鸿沟之间存在显著内在关联,满足相关性要求。距离省会城市越远的地区,其信息基础设施建设往往相对滞后,该地区农户获取技术的成本较高,接触新型信息技术的机会也相应减少。上述因素导致远离省会城市地区的农户数智化水平相对偏低,进而加剧数智鸿沟程度,满足工具变量相关性条件。其次,满足外生性要求。到省会的地理距离作为一个由自然和历史因素决定的外生变量,不会对农户的绿色生产转型决策产生直接影响,符合工具变量排他性要求。

表6报告工具变量回归的检验和估计结果。工具变量有效性检验显示,Kleibergen-Paap rk LM统计量为19.533,显著拒绝不可识别假设;Cragg-Donald Wald F统计量显著超过Stock-Yogo10%水平下的临界值,表明工具变量识别力较强,不存在弱工具变量问题。在控制农户个体特征、家庭禀赋和社区等因素后,二阶段最小二乘法的估计结果依然支持数智鸿沟显著抑制农户绿色生产转型

的基本结论。为确保结果的可靠性,进一步采用限制性最大似然估计 (LIML) 方法进行分析。LIML 估计结果与 2SLS 保持一致,进一步佐证数智鸿沟制约农户绿色生产转型的核心结论。

表 6 工具变量估计结果

变量	(1)	(2)
	<i>IntellGap</i>	<i>GreenTFP</i>
	—阶段	二阶段
<i>IntellGap</i>	—	-0.617 *** (0.218)
<i>Distance</i>	0.032 *** (0.007)	—
控制变量	控制	控制
地区固定效应	控制	控制
F 统计量	30.910 ***	—
Kleibergen-Paap rk LM 统计量	19.533 (0.000)	—
Cragg-Donald Wald F 统计量	19.804	—
<i>R</i> ²	0.319	—
观测值	1 376	1 376

第三, Heckman 两步法。鉴于数智技术学习能力是影响数智鸿沟形成的关键因素,参考王小华等^[45]的研究,选取农户是否能够快速适应手机新软件和新功能 (*NewFunction*) 作为选择方程的识别变量,并将农户所在地到省会城市的距离作为外生变量纳入回归模型。根据表 7 实证结果,逆米尔斯比率 (IMR) 在第二阶段回归中显著异于零,证实了样本选择性偏差的存在,说明运用 Heckman 模型进行修正是必要的。同时,在第二阶段回归模型中,数智鸿沟在 1% 水平上显著,表明在控制选择性偏差后,数智鸿沟对农户绿色生产转型的抑制效应仍然显著,进一步证实了前文结论的可靠性。

表 7 Heckman 两步法估计结果

变量	<i>NewFunction</i>	<i>GreenTFP</i>
	选择模型	回归模型
<i>IntellGap</i>	—	-0.060 *** (0.021)
<i>Distance</i>	-0.135 ** (0.059)	—
<i>IMR</i>	—	-0.120 * (0.062)
控制变量	是	是
地区固定效应	是	是
<i>Pseudo R</i> ² / <i>R</i> ²	0.075	0.145
观测值	1 376	1 376

(三) 稳健性检验

尽管本文已采用多种方法处理内生性问题,但仍可能存在未观测因素影响实证结果。为进一步验证研究结论的可靠性,采用替换核心变量的

方式开展稳健性检验。首先,替换因变量检验结果稳健性。为避免基准模型中综合指标构建可能带来的测度偏误,采用以下替代指标:一是将农药包装回收、耕地休耕、节水灌溉等任一措施作为农户是否采取绿色转型行为 (*GreenTrans*) 的判断标准,对模型进行重新估计;二是基于农户采用上述绿色转型行为的数量 (*GreenLevel*) 重新定义绿色转型水平。其次,替换自变量检验结果稳健性,分别采用熵值法权重 (*EntropyGap*) 和独立性权重 (*IndepenGap*) 重新构建数智鸿沟指数。表 8 回归结果表明,采用不同替代指标后,数智鸿沟对农户绿色生产转型的负向影响均保持显著,进一步验证本文核心结论的可靠性。

表 8 稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>GreenTrans</i>	<i>GreenLevel</i>	<i>GreenTFP</i>	<i>GreenTFP</i>
<i>IntellGap</i>	-0.676 *** (0.220)	-0.287 *** (0.090)	—	—
<i>EntropyGap</i>	—	—	-0.050 ** (0.022)	—
<i>IndepenGap</i>	—	—	—	-0.062 *** (0.024)
控制变量	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是
<i>Pseudo R</i> ² / <i>R</i> ²	0.074	0.097	0.140	0.141
观测值	1 376	1 376	1 376	1 376

(三) 异质性分析

鉴于数智鸿沟具有多维属性和复杂影响机制,本文从两个层面进行异质性分析。一是基于不同维度数智鸿沟的异质性分析。考虑到数智鸿沟的多维特征,分别考察数智接入鸿沟 (*BaseGap*)、数智技能鸿沟 (*SkillGap*) 和数智使用鸿沟 (*UseGap*) 对农户绿色转型的异质性影响。根据表 9,不同维度数智鸿沟均对农户绿色生产转型产生显著的负向影响,其中数智使用鸿沟的负面影响程度最高。

表 9 基于不同维度数智鸿沟的异质性分析结果

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>GreenTFP</i>	<i>GreenTFP</i>	<i>GreenTFP</i>
<i>BaseGap</i>	-0.048 ** (0.023)	—	—
<i>SkillGap</i>	—	-0.026 * (0.016)	—
<i>UseGap</i>	—	—	-0.063 *** (0.020)
控制变量	是	是	是
地区固定效应	是	是	是
<i>R</i> ²	0.139	0.139	0.143
观测值	1 376	1 376	1 376

二是基于农户个体特征的异质性分析。首先,经营规模是农户生产经营的基础特征,也是影响其资源禀赋配置和创新能力应用的关键因素。以农户所在村庄经营耕地面积均值为标准,将样本划分为大规模经营和小规模经营两组,探究数智鸿沟的异质性影响。表 10 表明,数智鸿沟对小规模经营农户的绿色全要素生产率存在显著负向影响,而对大规模经营农户的影响并不显著。其次,职业技能培训是提升农户人力资本的重要途径,能够显著影响农户对新技术的认知和应用能力。将样本划分为接受过职业技能培训和未接受

职业技能培训两组,探究数智鸿沟的异质性影响。研究发现,数智鸿沟对农户绿色转型的抑制效应在未接受职业技能培训群体中显著,而在接受培训群体中则不显著。最后,考虑到不同收入水平可能导致农户数智鸿沟对绿色生产转型产生差异化影响,依据农户样本收入中位数将农户划分为高收入组和低收入组,进行异质性分析。同时,鉴于存款对农户生产的重要性,基于 CRRS 数据,进一步以年末银行存款 10 万元为界进行分析验证。表 10 结果显示,数智鸿沟对低收入农户的绿色转型存在显著负向影响,而对高收入农户的影响并不显著。

表 10 基于个体特征的异质性分析结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	经营规模		职业技能培训		收入水平		存款水平	
	小规模	大规模	未培训	已培训	低收入	高收入	低存款	高存款
<i>IntellGap</i>	-0.095 *** (0.024)	0.000 (0.037)	-0.072 *** (0.025)	-0.051 (0.036)	-0.054 ** (0.023)	-0.062 (0.044)	-0.067 *** (0.020)	0.005 (0.068)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.109	0.227	0.140	0.208	0.112	0.277	0.165	0.249
观测值	855	521	890	486	1040	336	1141	235

四、机制分析

前文实证结果表明,数智鸿沟对农户绿色转型具有显著的抑制作用。根据上文理论分析,本文进一步从技术采纳、人力资本、信息获取和土地管理 4 个视角展开分析,探讨数智鸿沟抑制农户绿色生产转型的可能解释。

(一)阻碍技术采纳

数智鸿沟不利于农户绿色技术采纳,通过抑制绿色技术采纳降低农户绿色全要素生产率,从而抑制农户绿色生产转型。本文引入农户是否采纳秸秆还田这一典型的绿色农业技术作为机制变量,验证数智鸿沟对农户绿色生产转型的影响机制,估计结果见表 11 中 A 栏。列(1)、列(2)显示,数智鸿沟系数显著为负。在此基础上,采用考虑内生性之后的 IV-Probit 模型进行估计,结果保持一致,说明数智鸿沟制约农户绿色技术采纳,印证研究假设 H2。

(二)削弱人力资本积累

数智鸿沟不利于促进农户人力资本积累,通过抑制农户人力资本水平从而制约农户绿色生产转型。绿色认知是人力资本的重要内容,选取农户对秸秆处理价值和农药危害等认知程度作为机制变量。表 11 中 B 栏报告了数智鸿沟对农户人

力资本的影响,数智鸿沟系数显著为负。说明数智鸿沟对农户人力资本具有负面影响,印证了研究假设 H3。

(三)限制信息获取

在数智化时代,信息获取已成为农户实现绿色转型的关键要素。为验证信息获取这一重要机

表 11 影响机制分析结果

Panel A:技术采纳			
变量	(1)	(2)	(3)
	Probit	Probit	IV-Probit
<i>IntellGap</i>	-1.520 *** (0.225)	-0.658 *** (0.245)	-5.534 *** (0.520)
Panel B:人力资本			
变量	(1)	(2)	(3)
	OLS	OLS	IV
<i>IntellGap</i>	-1.003 *** (0.155)	-0.863 *** (0.165)	-4.082 ** (1.643)
Panel C:信息获取			
变量	(1)	(2)	(3)
	OLS	OLS	IV
<i>IntellGap</i>	-2.529 *** (0.170)	-2.854 *** (0.178)	-5.867 *** (1.547)
Panel D:土地管理			
变量	(1)	(2)	(3)
	Probit	Probit	IV-Probit
<i>IntellGap</i>	-0.929 *** (0.217)	-0.576 ** (0.256)	-2.962 * (1.651)

制,选取农户对网络和专业软件获取信息的必要性程度作为机制变量,考察数智鸿沟对农户信息获取的影响。表 11 中 C 栏报告了数智鸿沟对农户信息获取的影响。结果显示,无论是否考虑内生性,数智鸿沟系数均显著为负,说明数智鸿沟不利于农户信息获取,印证了研究假设 H4。

(四) 制约土地管理水平

提升土地管理水平是实现绿色农业的有效路径,农户对土地可持续利用的认知和实践直接关系到耕地质量的维护和管理水平提升。选取农户是否实施作物轮作作为机制变量,考察数智鸿沟对农户土地可持续利用和土地管理水平提升的影响。表 11 中 D 栏结果显示,数智鸿沟系数显著为负,表明数智鸿沟对农户土地可持续利用行为具有显著的负面影响,最终引致农业绿色全要素生产率损失,印证了研究假设 H5。

五、结论与启示

发展不平衡制约中国式现代化进程,农业领域的数智鸿沟问题尤为突出,不仅影响微观层面农户生产的科学决策、效率提升和绿色转型,而且不利于宏观层面的农业绿色发展和绿色经济增长,加剧区域发展失衡和环境问题。本文基于 2022 年中国乡村振兴综合调查数据,构建农户层面的数智鸿沟指数和绿色生产转型指数,从微观视角系统考察数智鸿沟对农户绿色转型的影响及其内在机制。研究发现,数智鸿沟显著降低绿色全要素生产率,从而抑制农户绿色生产转型进程。数智鸿沟对农户绿色转型的抑制效应呈现异质性特征,数智使用鸿沟对绿色转型的负面影响最大,并且数智鸿沟的抑制效应在小规模、未培训和低收入农户群体中表现更为突出。数智鸿沟主要通过阻碍农户技术采纳、削弱人力资本积累、限制信息获取和制约土地管理水平等路径影响农户绿色生产转型。

基于本文研究结论,提出以下政策建议。第一,强化数智化基础设施和服务体系均衡布局,破解接入性鸿沟。重点提升农村及偏远地区网络覆盖质量,加速推进数智化基础设施向农业农村领域延伸。完善农业信息服务体系布局,培育数智服务市场主体,破解农村数智服务供给不足的困境。第二,构建差异化数智素养培育体系,提升农

户数智装备操作与数智技术应用能力,将绿色生产技术有机融入数智化技能课程,促进农户生产理念转型升级。第三,健全包容性技术推广机制,促进数智技术普惠共享。应从技术适配、精准服务和机制保障 3 个方面构建协同支持机制,确保数智化技术更好地服务于农户绿色生产转型。在技术适配层面,开发简易适用的轻量化技术方案,推进数智设备界面简化和操作优化,降低弱势群体使用门槛,同时通过补贴政策减轻技术采纳的经济负担。在精准服务层面,建立弱势群体识别机制和协同服务体系,通过综合服务平台集成提供全链条服务。在机制保障层面,通过合理资源配置逐步缩小不同群体间的数智能力差距,确保数智化技术红利更公平地惠及广大农户。

参考文献:

- [1] 宋洪远, 彭洁鏊. 我国农业发展“十四五”回顾与“十五五”展望[J]. 社会科学辑刊, 2025(1): 93-103.
- [2] 林珊, 于法稳, 代明慧. 化肥“零增长”政策会影响粮食安全吗: 基于准自然实验的 RD 检验[J]. 中国软科学, 2024(1): 12-23.
- [3] 田云, 廖华. 数字经济对农业碳排放的影响及作用机制研究[J]. 改革, 2024(9): 84-99.
- [4] 仇焕广, 黄青. 农业绿色转型与高质量协调发展的理论逻辑与实践[J]. 农业经济问题, 2025(2): 15-23.
- [5] 黄季焜. 农业新质生产力: 内涵与外延、潜力与挑战和发展思路[J]. 中国农村观察, 2024(5): 19-34.
- [6] 邹美凤, 高云凤, 马华, 等. 数字乡村建设影响农户创业吗? [J]. 中国软科学, 2024(2): 201-211.
- [7] OLLERENSHAW A, THOMPSON H, LUKE H, et al. The application of digital tools for knowledge sharing in agriculture: a longitudinal case study from four Australian grower groups[J]. Computers and electronics in agriculture, 2025, 230: 109843.
- [8] HEEKS R. Digital inequality beyond the digital divide: conceptualizing adverse digital incorporation in the global south[J]. Information technology for development, 2022, 28(4): 688-704.
- [9] 杨碧云, 王艺璇, 易行健. 数字鸿沟与消费鸿沟: 基于个体消费不平等视角[J]. 经济学动态, 2023(3): 87-103.
- [10] 魏巍, 魏子仪, 王轶. 人力资本提升与数字鸿沟弥合相互促进的机制和路径[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2025(1): 53-61.
- [11] 李佳, 薛凯文, 赵建国. “数字鸿沟”对城市低龄老年人再就业的影响研究[J]. 中国软科学, 2024(8): 189-199.
- [12] LOH R S M, KRAAYKAMP G, VAN HEK M. Plugging

- in at school: do schools nurture digital skills and narrow digital skills inequality? [J]. *Computers & education*, 2025, 226: 105195.
- [13] 洪俊杰, 李研, 杨曦. 数字经济与收入差距: 数字经济核心产业的视角[J]. *经济研究*, 2024(5): 116-131.
- [14] 任欣怡, 周亚虹. 我国数字鸿沟的形成因素、影响及其治理路径[J]. *经济问题*, 2024(9): 50-58.
- [15] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and jobs: evidence from US labor markets [J]. *Journal of political economy*, 2020, 128(6): 2188-2244.
- [16] 尹志超, 王天娇, 栗传政. 数字鸿沟对中国家庭收入差距的影响[J]. *国际金融研究*, 2024(2): 16-26.
- [17] 刘秉镰, 袁博, 刘玉海. 数字基础设施如何畅通区域间资本要素流动: 基于企业注册大数据的证据[J]. *数量经济技术经济研究*, 2025(1): 72-92.
- [18] DU Z Y, WANG Q. Digital infrastructure and innovation: digital divide or digital dividend? [J]. *Journal of innovation & knowledge*, 2024, 9(3): 100542.
- [19] 万广华, 宋婕, 左丛民, 等. 中国式现代化视域下数字经济的共同富裕效应: 方法与证据[J]. *经济研究*, 2024(6): 29-48.
- [20] 彭俞超, 王南萱, 梁钰苒. 数字化转型、劳动收入份额与技术溢价: 来自供应链视角的证据[J]. *中国人民大学学报*, 2025(1): 85-97.
- [21] 张云, 柏培文. 数智化如何影响双循环参与度与收入差距: 基于省级—行业层面数据[J]. *管理世界*, 2023(10): 58-83.
- [22] 罗必良. 新质生产力: 颠覆性创新与基要性变革: 兼论农业高质量发展的本质规定和努力方向[J]. *中国农村经济*, 2024(8): 2-26.
- [23] YANG C, JI X, CHENG C, et al. Digital economy empowers sustainable agriculture: implications for farmers' adoption of ecological agricultural technologies[J]. *Ecological indicators*, 2024, 159: 111723.
- [24] 吴振磊, 卢昱嘉. 农业新质生产力: 范式变革、价值旨归与实践图景[J]. *中国人民大学学报*, 2025(1): 15-27.
- [25] ROTZ S, GRAVELY E, MOSBY I, et al. Automated pastures and the digital divide: how agricultural technologies are shaping labour and rural communities[J]. *Journal of rural studies*, 2019, 68: 112-122.
- [26] 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.
- [27] 庄腾跃, 李顾杰, 罗剑朝. 农户数字金融使用决策存在邻里效应吗[J]. *中国农村经济*, 2024(8): 125-144.
- [28] 尹瑶, 叶敬忠. 新零售背景下的农产品流通秩序与治理变革: 基于对“盒马鲜生”平台的考察[J]. *开放时代*, 2024(5): 184-204.
- [29] 刘守英, 郑旭媛, 刘承芳. 数字经济背景下的乡村交易和产业转型[J]. *中国农村经济*, 2024(6): 2-24.
- [30] 谢艳乐, 毛世平. 数字技术如何驱动农业全产业链融合发展: 来自西瓜特色产业的经验证据[J]. *中国农村经济*, 2024(10): 64-83.
- [31] CESCO S, SAMBO P, BORIN M, et al. Smart agriculture and digital twins: applications and challenges in a vision of sustainability [J]. *European journal of agronomy*, 2023, 146: 126809.
- [32] 方芳, 张立杰, 赵军. 制度组态视角下提升农业绿色全要素生产率的多元路径探析: 基于动态 QCA 的面板数据分析[J]. *中国农村经济*, 2024(2): 44-66.
- [33] 张梅, 张涵野. 黑土地保护政策工具对农业绿色全要素生产率影响及其空间差异[J]. *经济地理*, 2024(7): 165-174.
- [34] 张俊飏, 何可. “双碳”目标下的农业低碳发展研究: 现状、误区与前瞻[J]. *农业经济问题*, 2022(9): 35-46.
- [35] 伍国勇, 刘金丹, 杨丽莎. 中国农业碳排放强度动态演进及碳补偿潜力[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021(10): 69-78.
- [36] 田云, 尹恣昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应[J]. *中国农村经济*, 2022(3): 104-127.
- [37] 闵继胜, 胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012(7): 21-27.
- [38] 秦天, 彭珏, 邓宗兵, 等. 环境分权、环境规制对农业面源污染的影响[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021(2): 61-70.
- [39] 孙雪娇, 范润. 数字经济对大中小企业全要素生产率影响的鸿沟效应[J]. *经济管理*, 2023(8): 45-64.
- [40] 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.
- [41] 毛宇飞, 胡文馨, 曾湘泉. 数智化技术应用如何影响人力资源从业者的创新绩效? [J]. *经济管理*, 2024(12): 81-103.
- [42] 黄阳华, 张佳佳, 蔡宇涵, 等. 居民数字化水平的增收与分配效应: 来自中国家庭数字经济调查数据库的证据[J]. *中国工业经济*, 2023(10): 23-41.
- [43] 王定祥, 彭政钦, 李伶俐. 中国数字经济与农业融合发展水平测度与评价[J]. *中国农村经济*, 2023(6): 48-71.
- [44] 张勋, 万广华, 张佳佳, 等. 数字经济、普惠金融与包容性增长[J]. *经济研究*, 2019(8): 71-86.
- [45] 王小华, 刘云, 宋檬. 数字能力与家庭风险金融资产配置[J]. *中国农村经济*, 2023(11): 102-121.

(本文责编: 润 泽)