

数字技术应用与农户绿色生产技术采纳

——基于融资可得性的视角

廖晓红¹, 陆利华²

¹南京林业大学经济管理学院, 江苏 南京

²德华兔宝宝装饰新材股份有限公司, 浙江 湖州

收稿日期: 2025年4月11日; 录用日期: 2025年4月24日; 发布日期: 2025年5月28日

摘 要

随着农业数字化和绿色化转型的推进, 探究数字技术应用对农户采纳绿色生产技术行为的影响有着重要的现实意义。本文基于中国乡村振兴调查(CRRS)数据, 采用Ordered Probit模型, 探讨数字技术应用对农户采纳绿色生产技术行为的影响及农户融资可得性的作用机制。研究发现: 第一, 数字技术应用显著促进了农户采纳绿色生产技术。具体来看, 数字技术接入、数字信息获取和数字信息交流均能促进农户采纳绿色生产技术。第二, 数字技术应用通过提高农户供应链外部融资和内部融资可得性, 进而提高农户采纳绿色生产技术的意愿。第三, 数字技术应用对收入水平较高、受教育水平较高和中西部地区农户采纳绿色生产技术行为的促进作用更为显著。因此, 建议提升农村地区的数字基础设施建设水平, 优化农户内外部融资环境, 针对不同农户提供差异化的方案, 从而有效促进农户采纳绿色生产技术, 稳步迈向农业绿色转型之路。

关键词

数字技术应用, 融资可得性, 绿色生产技术采纳, Oprobit模型

Application of Digital Technology and Adoption of Green Production Technology by Farmers

—Based on the Perspective of Availability of Financing

Xiaohong Liao¹, Lihua Lu²

¹College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu

²Dehua TB New Decoration Material Co., Ltd., Huzhou Zhejiang

Received: Apr. 11th, 2025; accepted: Apr. 24th, 2025; published: May 28th, 2025

文章引用: 廖晓红, 陆利华. 数字技术应用与农户绿色生产技术采纳[J]. 电子商务评论, 2025, 14(5): 2574-2586.
DOI: 10.12677/ecl.2025.1451561

Abstract

With the advancement of digitalization and green transformation in agriculture, it is of great practical importance to explore the influence of Digital Technology Applications (DTAs) on farmers' behavior in adopting Green Production Technologies (GPTs). Based on data from the China Rural Revitalization Survey (CRRS), this paper uses the Ordered Probit model to explore the impact of DTAs on the adoption of GPTs by farmers and the mechanism of the role of financing availability for farmers. The study found that: firstly, DTAs significantly contributed to the adoption of GPTs by farmers. Specifically, digital technology access, digital information access and digital information exchange all contributed to the adoption of GPTs by farmers. Secondly, DTAs increase the willingness of farmers to adopt GPTs by improving the availability of external and internal financing for their supply chains. Thirdly, DTAs contributed more significantly to the adoption of GPTs behaviors by farmers with higher income levels, higher levels of education and in the central and western regions. Therefore, it is recommended that the level of digital infrastructure in rural areas be upgraded, the internal and external financing environment for farmers be optimized, and differentiated programs be provided for different farmers, so as to effectively promote farmers to adopt GPTS and realize the green transformation of agriculture.

Keywords

Digital Technology Applications, Financing Availability, Green Production Technologies Adoption, Oprobit Model

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言与文献综述

近年来,我国高度重视农业绿色化转型。党的二十大报告提出要全方位落实生态优先战略、秉持节约集约理念和践行绿色低碳发展模式,助推农业迈向绿色发展新征程[1]。中央一号文件持续聚焦农业绿色发展,2024年中央一号文件提出要坚定不移地践行产业兴农之路,夯实质量兴农之基,高举绿色兴农之旗,稳步推进化肥农药减量增效和农业面源污染综合防治[2]。大量研究表明,绿色生产技术和农业绿色发展的关键基础。因此,中国政府颁布实施《“十四五”全国农业绿色发展规划》,明确提出要加快农业绿色发展技术推广运用,大力推进生态文明的全方位建设,从而为农业绿色发展提供力量,为农业农村现代化征程夯筑稳固基石[3]。然而,当前中国仍面临着农业面源污染、化学农药过量施用、农产品质量安全等突出矛盾,推广并采纳绿色生产技术以实现农业绿色化转型迫在眉睫,但绿色生产技术具有较高的投资风险,加之农户存在自身资源条件有限和外部环境的制约等问题,导致当前绿色生产技术采纳率处于较低水平[4]。

数字技术应用为农户采纳绿色生产技术并实现农业绿色生产带来了新的发展机遇和可能性。一方面,物联网、区块链等新兴数字技术能够切实破除信息不对称的难题。区块链技术等数字技术能够通过记录并追踪绿色农产品的种植、生产、运输等数据,消费者通过溯源可以了解绿色农产品的来源和生产过程,实现绿色信息的共享和透明,提升消费者对绿色农产品的认可度,通过绿色溢价增加农户的收入,进而激励农户采纳绿色生产技术[5]。另一方面,数字技术可以解决农户绿色生产过程中的融资约束问题,进

而提高农户采纳绿色生产技术的意愿。由于采纳绿色生产技术的成本通常非常大,加之农户个体信用体系建设尚不完善,金融机构等资金供给者难以对其信用状况进行精准评估与有效把控,进而导致其存在融资困难问题。但数字技术的出现为缓解农户融资约束难题提供了创新性的解决方案[6]。例如银行或供应链核心企业借助数字技术搭建智能化平台,能够快速、精准地获取和分析农户的各类信息以及评估农户信用状况和还款能力,并为其提供绿色生产所需的资金。因此,如何通过数字技术应用推动农户采纳绿色生产技术以更好地助力农业绿色发展,是当下迫切需要深入探究并妥善解决的关键问题。

现有诸多研究聚焦于探究农户绿色生产技术采纳意愿的影响因素,主要体现在农户个体特征、家庭特征、生产经营特征和外部环境特征等多个层面。首先,研究发现农户风险偏好、生态认知、技术认知和培训等个体特征正向影响农户绿色生产技术采纳行为[7]-[10],但老龄劳动力在技术认知和学习能力等方面较弱,进而导致老龄化不利于农户采纳绿色生产技术[11]。其次,绿色生产技术投资大、回报周期长、农户资金短缺以及融资约束等原因抑制农户对技术的采纳,但通过增强社会资本和提高信贷可得性等家庭因素可以促进农户采纳绿色生产技术[12][13]。再次,通过参与合作社和采用农业生产服务等生产经营方式能够提升农户对绿色生产技术认知,从而提高农户采纳绿色生产技术的积极性[14][15]。最后,在推行农业绿色化转型的进程中,离不开政府政策的引导,政府规制是确保绿色生产技术顺利采纳的重要保障,并在内化技术的正外部性方面起着关键作用[16]。此外,随着互联网所带来的各种优势和利益在农业生产的各个环节的蔓延与深化,早期学者们的研究重点聚焦于互联网的使用是否会影响农户绿色生产技术采纳水平[17][18]。随着时间的推移诸多研究从不同角度出发,研究发现数字农技推广服务、数字金融、数字经济、数字能力与素养等关键因素均能促进农户绿色生产技术采纳[6][19]-[22]。

现有研究为本文提供了丰富的参考,但仍有内容值得进一步探讨。首先,数字技术应用的衡量单一。现有研究对数字技术应用的界定,大多数集中在是否接入或使用互联网进行衡量,而较少文献从数字信息获取和交流的角度对数字技术的功能使用进行探讨。其次,数字技术应用对农户绿色生产技术采纳的影响路径仍然有待探索。现有研究主要考虑社会网络、绿色素养、绿色认知和技术认知等作为二者的中介变量,而尚未有文献从农户融资可得性视角深度挖掘数字技术应用对农户采纳绿色生产技术所产生的内在逻辑。因此,本文依托中国乡村振兴调查数据,运用 Ordered probit 模型,研究数字技术应用对农户采纳绿色生产技术行为的影响,并从供应链外部融资和内部融资两个维度研究融资可得性在数字技术应用和农户绿色生产技术采纳之间的内在传导机制。本文潜在的边际贡献在于:第一,从数字技术接入、数字信息获取和数字信息交流三个方面探究了数字技术应用对农户绿色生产技术采纳的影响,丰富和拓展数字技术应用和农户绿色生产技术采纳的内容和范畴。第二,引入农户融资可得性作为关键中介变量,并从供应链外部融资和内部融资两个维度具体揭示数字技术应用影响农户绿色生产技术采纳的作用机理,为促进农户采纳绿色生产技术提供清晰的实践路径和经验借鉴。

2. 理论分析与研究假说

(一) 数字技术应用与农户绿色生产技术采纳

数字技术接入是数字技术应用的根基和先决条件;通过数字信息获取,农户能够获取充分的绿色生产技术信息,降低绿色生产过程中的信息不对称;通过数字信息交流,农户之间可以交流生产经验和技術信息,实现绿色生产知识的共享和技术的互补;三者共同促进了农户采纳绿色生产技术。从理论层面看,这一过程实质上是信息经济学降低交易成本、创新扩散理论加速技术传播、社会网络效应中促进信息共享与协同合作的三重机制协同作用的结果。据此,本文将从数字技术接入、数字信息获取和数字信息交流三个方面深入探讨数字技术应用对农户绿色生产技术采纳的影响。

一是数字技术接入。数字技术接入是指农户在生产生活环境中获取和使用互联网、智能手机应用等

数字技术资源的难易程度和实际可能性。根据信息经济学理论,这种数字技术接入本质上是一种“信息基础设施投资”,能显著降低信息搜索成本。随着我国乡村地区基础设施建设不断完善,农村地区逐渐打破了信息孤岛的局面,农户能够突破信息流动的壁垒,提高对绿色生产技术的可获性[20]。此外,数字技术接入极大地改变了农户的生产生活方式,农户借助数字技术可以实现了精准灌溉施肥、实时监测等,有助于优化资源配置和提高资源利用效率,进而推动绿色生产技术的广泛采纳,实现绿色农产品优质高产[21]。可见,数字技术接入是推动农户积极采纳绿色生产技术的重要依托。

二是数字信息获取。信息获取在农户采用绿色生产技术的过程中发挥着重要作用[23]。从创新扩散理论视角,数字信息获取通过系统性改变农户对绿色生产技术的认知维度,直接影响其技术采纳决策。一方面,数字技术具有时效性强、传播迅速和覆盖面广等信息传播优势,有助于农户及时获取绿色生产知识、技术和市场行情等相关信息[24]。另一方面,数字技术依托其高效的数据处理能力、广泛的信息传播渠道以及精准的资源匹配功能,助力农户在各生产要素市场与供给方迅速匹配信息,信息甄别机制能显著改善农户的要素配置决策能力改善要素配置决策能力,激发农户采纳绿色生产技术的积极性,为农业绿色发展注入动力[25]。

三是数字信息交流。数字信息交流突破了时间和空间屏障,使信息能够大范围传播和共享,有助于农户更新绿色农业种植技术知识。从社会网络理论看,数字平台构建的弱连接网络弥补了传统农业社区强连接的局限,使技术信息得以跨区域流动,从而实现信息共享。一方面,通过数字信息交流,农户能够相互分享生产经验和传递技术信息,促使绿色生产知识广泛流通,技术上实现优势互补,进而推动农户采纳绿色生产技术[24]。另一方面,线上交流平台能够使农户与已采纳新技术的生产者、农业技术专家和科研人员等进行有效沟通,有助于分享经验、吸取教训,帮助农户克服技术掌握的障碍,从而减少技术学习的成本,加快技术采纳进程[25]。因此,提出假设:

H₁: 数字技术应用能够促进农户绿色生产技术采纳行为。

H_{1a}: 数字技术接入、数字信息获取和数字信息交流能够促进农户绿色生产技术采纳行为。

(二) 供应链外部融资和内部融资的中介效应

农户资金约束依然是现阶段农业绿色发展进程中重要的制约性因素。一方面,投资绿色生产技术的成本通常非常大,且农户与消费者之间的信息不对称会造成绿色农产品的折价,即优质农产品难以实现优价,导致农户面临收益预期不确定风险,削弱了农户投资绿色生产技术的动力。另一方面,由于政府财政资金供给不足、传统小农户遭受金融机构边缘化以及农户融资过程中面临高成本、高门槛和高要求的困境,使得农户融资约束成为绿色生产技术推广与采纳的主要障碍[26]。根据金融创新理论,这种市场失灵本质上是传统金融体系无法有效解决农业领域的“三难”问题——即风险识别难、抵押品管理难和契约执行难。但随着数字技术的不断发展,数字技术能够跨越信息鸿沟,并利用技术优势解决传统农业金融服务中存在的高成本和低效率等问题,有效缓解农户融资约束问题[27]。从金融创新理论的角度来看,数字技术的应用本身就是一种金融创新,它通过改变金融交易的方式和渠道,降低了金融服务的门槛和成本,创新开发适合农户需求的金融产品,提高了金融服务的可及性和效率。

数字技术应用显著提升了农户融资可得性。一方面,它利用大数据整合农户的多维度信息,打破信息孤岛,有效降低信息不对称。金融机构能够更精准地评估农户的信用状况,从而降低风险成本。另一方面,数字技术优化了风险评估流程,通过精准识别和风险定价,使金融机构更愿意为农户提供融资支持。这些机制共同作用,为农户融资提供了更高效、更公平的解决方案,推动农村金融市场的健康发展。

具体来说,数字技术通过提升农户获取外部融资的效率与水平,打破了传统融资渠道的限制,为农户提供了更多的资金支持,为其采纳绿色生产技术创造了有利条件[28][29]。一方面,数字技术的应用催生丰富多样的新型金融产品,为农户提供个性化的贷款方案,促进金融机构资金的合理配置和贷款服务

的匹配效率提升,提高农户的融资可得性[28]。另一方面,利用数字技术构建的线上征信系统,使金融机构能够更好地了解农户的家庭经济状况、信用评级和还款能力,从而减少金融机构的放贷风险,提高金融机构与农户之间的借贷意愿,从而为农户采纳绿色生产技术提供了资金保障[29]。

此外,数字技术显著提升供应链资金流转效率和透明度,通过大数据、区块链和物联网等数字技术,农户能够更容易获取供应链核心企业的资金支持,减少对传统金融机构的依赖,助力农户获取供应链内部融资,为农户采纳绿色生产技术注入了资金动力[30]。依托数字技术的力量,传统农业龙头企业可以实现向平台化转型,发展为多功能一体化的农业数字平台,通过掌握供应链数据优势,能够提高农业供应链的融资效率,助力龙头企业高效精准放贷,确保供应链末端的农户以更低成本和更高效率获得所需的绿色生产资金,从而为农户采纳绿色生产技术筑牢经济根基[27]。因此,提出假设:

H2a: 外部融资在数字技术应用和农户绿色生产技术采纳之间起到中介效应。

H2b: 内部融资在数字技术应用和农户绿色生产技术采纳之间起到中介效应。

3. 研究设计

(一) 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组织的全国性大规模农村追踪调研项目——“中国乡村振兴综合调查”(CRRS)。在考虑到经济发展水平、区域位置以及农业发展状况的基础上,课题组采用等距随机抽取方法来抽取样本,调查范围覆盖广东、浙江、黑龙江、安徽、河南和山东等10个省(区)、50个县(市)、156个乡(镇)、300个行政村共3800个农户。经过数据筛选和清理,最终确定了2026个有效样本。

(二) 变量选取及描述性分析

1. 被解释变量: 本文的被解释变量为农户采纳绿色生产技术行为,根据农业农村部发布的《农业绿色发展技术导则(2018~2030年)》,参照龚继红[31]的研究,绿色生产技术包括农作物种植产前环节(如种子处理与育种技术)、产中环节(如精准施肥和灌溉技术)和产后环节(如秸秆还田技术)等相关的农业生产技术。根据数据的可获得性,本文选取免耕技术、化肥减施、农药减施、节水灌溉技术和秸秆还田技术作为绿色生产技术的代表,将农户实际采纳的子技术个数来综合衡量农户绿色生产技术采纳行为。如表1所示,样本农户平均采纳1.09种绿色生产技术,采纳强度较低。

2. 解释变量: 本文的核心解释变量为数字技术应用。数字技术指的是一系列涉及信息、计算、沟通和连接的技术,包括大数据、物联网、AI、无人机等技术。借鉴王杰[32]等的研究,并从数字技术的接入和功能使用两个层面测度农户的数字技术应用,对于数字技术接入,通过问卷“您对使用4G/5G手机的功能存在困难吗”进行衡量。数字技术功能使用主要通过“您是否通过手机或互联网关注生产指导等相关的信息?”和“您所在村是否有通过网络且及时发布和传递重要信息”来衡量数字信息获取与交流的情况。

3. 中介变量: 本文的中介变量为农户融资可得性。根据前面概述的理论框架,我们假设数字技术应用会影响农户融资可得性,从而间接影响其绿色技术的采纳行为。根据“您向正规银行(包括农村信用社和乡镇银行)申请的贷款”来衡量供应链外部融资。根据“农户是否曾从合作社、农资供应商、收购商或订单企业赊购农资产品、投入品,或曾获得过借款?或在合作社、订单企业、收购商等购买您的产品时,是否曾支付过预付款或垫资?”来衡量供应链内部融资。

4. 控制变量: 根据现有研究和实际调查,本文选取了个体、家庭和村庄特征作为控制变量。具体包括,户主的性别、教育水平和年龄等个人特征;家庭总收入、种植面积和组织形式等家庭特征;村庄区位、村委会距离县政府距离和村庄地形等村庄特征。

Table 1. Variable definition and descriptive analysis
表 1. 变量定义及描述性分析

属性	变量	定义	均值	标准差
被解释变量	绿色生产技术采纳程度	绿色生产技术采纳强度: 0~5	1.087	0.771
解释变量	数字技术应用	算术加总求得: 0~3	1.367	0.974
	数字技术接入	“您对使用 4G/5G 手机的功能存在困难吗?” 不存在困难 = 1; 有些困难, 较困难, 只用来接 = 0	0.422	0.494
	数字信息获取	“是否利用互联网关注生产经营信息?” 是 = 1; 否 = 0	0.270	0.444
	数字信息沟通	“您所在村是否有通过网络及时发布和传递重要信息” 是 = 1, 否 = 0	0.675	0.469
控制变量	年龄	户主实际年龄: 30 岁以下 = 1, 30~44 岁 = 2, 45~59 岁 = 3, 60~70 岁 = 4, 70 岁以上 = 5	3.401	0.903
	性别	受访者性别: 男 = 1, 女 = 0	0.953	0.211
	受教育程度	户主受教育程度: 未上学 = 1; 小学 = 2, 初中 = 3, 中专、高中或职高 = 4, 大专 = 5, 本科及以上学历 = 6	2.668	0.856
	健康状态	户主健康状况: 非常不健康 = 1; 比较不健康 = 2; 一般 = 3; 比较健康 = 4; 非常健康 = 5	3.511	1.047
	政治身份	党员: 是 = 1; 否 = 0	0.200	0.400
	环境感知	对本村的生活环境满意程度: 非常不满意 = 1; 不太满意 = 2; 一般 = 3; 满意 = 4; 非常满意 = 5	3.935	1.000
	家庭总收入	2019 年家庭总收入有多少: 3 万元以下 = 1; 3~5 万元 = 2; 5~8 万元 = 3; 8~12 万元 = 4; 12 万元以上 = 5	2.496	1.437
	组织形式	是否合作社: 是 = 1; 否 = 0	0.233	0.423
	种植面积	作物播种面积: 亩	27.120	96.971
	村委会距离县政府距离	实际距离(公里)	24.329	16.438
	村庄区位	是否为城市郊区: 是 = 1; 否 = 0	0.182	0.386
	村庄地形	村庄是否是平原: 是 = 1; 否 = 0	0.454	0.498
	地区变量	地区分布: 东部地区 = 1; 中西部地区 = 0	0.184	0.388
工具变量	村庄其他个体数字技术应用均值	同村除本人以外的其他个体数字技术应用的 均值	1.087	0.439
中介变量	外部融资可得性	向正规银行(包括农村信用社和乡镇银行)申请的 贷款是否获得银行批准: 是 = 1; 否 = 0	0.226	0.418
	内部融资可得性	农户从合作社、农资供应商、收购商、订单企 业那里赊购过农资产品、投入品或得到过借款 或者她们买您的产品时向您付过预付款或垫资 吗? 经常 = 1; 偶尔或从未 = 0	0.078	0.269

(三) 模型设置

1. 有序 Probit 模型: 本文将农户采纳绿色生产技术的数量设为被解释变量, 其取值涵盖 0、1、2、3、4、5, 呈现出明显的递进关系, 属于典型的有序多分类变量范畴。基于此, 本文运用 Ordered Probit 模型估计数字技术应用影响农户采纳绿色生产技术行为。具体模型设定如下:

$$Y_i^* = \alpha_1 DTA_i + \alpha_2 X_i + \mu_i \quad (1)$$

式(1)中, DTA_i 表示数字技术应用; X_i 表示相关控制变量, α_1 、 α_2 为数字技术应用和控制变量的估计系数; μ_i 为扰动项, 服从标准正态分布。

$$Y_i = \begin{cases} 0 \text{ (未采纳)} & \text{若 } Y_i^* \leq r_0 \\ 1 \text{ (采纳1种)} & \text{若 } r_0 < Y_i^* \leq r_1 \\ 2 \text{ (采纳2种)} & \text{若 } r_1 < Y_i^* \leq r_2 \\ 3 \text{ (采纳3种)} & \text{若 } r_2 < Y_i^* \leq r_3 \\ 4 \text{ (采纳4种)} & \text{若 } r_3 < Y_i^* \leq r_4 \\ 5 \text{ (采纳5种)} & \text{若 } r_4 < Y_i^* \leq r_5 \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中, Y_i 为农户绿色生产技术采纳行为, 是能够直接观测的变量; r_0 、 r_1 、 r_2 、 r_3 、 r_4 、 r_5 分别对应农户绿色生产技术采纳行为的各个切点, 且它们之间存在着严格的大小关系, 即 $r_0 < r_1 < r_2 < r_3 < r_4 < r_5$ 。最终, 推导出农户绿色生产技术采纳处于不同情况时各自对应的概率, 分别为:

$$\begin{aligned} p(Y=0|x) &= p(Y^* \leq r_0 | x) = \Phi(r_0 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) \\ p(Y=1|x) &= p(r_0 < Y_i^* \leq r_1 | X, \beta) = \Phi(r_1 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) - \Phi(r_0 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) \\ p(Y=2|x) &= p(r_1 < Y_i^* \leq r_2 | X, \beta) = \Phi(r_2 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) - \Phi(r_1 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) \\ p(Y=3|x) &= p(r_2 < Y_i^* \leq r_3 | X, \beta) = \Phi(r_3 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) - \Phi(r_2 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) \\ p(Y=4|x) &= p(r_3 < Y_i^* \leq r_4 | X, \beta) = \Phi(r_4 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) - \Phi(r_3 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) \\ p(Y=5|x) &= p(r_4 < Y_i^* \leq r_5 | X, \beta) = 1 - \Phi(r_4 - \alpha_1 DTA_i - \alpha_2 X_i) \end{aligned} \quad (3)$$

其中, Φ 为 μ 的标准正态分布所对应的累积密度函数。为实现对模型参数的精准估算, 通过构建反映每户农户绿色生产情况的似然函数, 并进一步运用极大似然法来估计模型参数。

2. 中介效应模型: 根据前文的分析, 数字技术应用可以通过提高农户供应链外部融资和内部融资可得性, 进而激励农户采纳绿色生产技术。文献[14]和[26]得出农户融资可得性对农户采纳绿色生产技术具有显著的促进作用的结论。因此, 为了验证可能存在的传导机制, 本文参考江艇[33]提出的中介效应检验方法, 构建数字技术应用对融资可得性的线性回归方程。

$$loan_i = \delta_0 + \delta_1 DTA_i + \delta_2 X_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

式(4)中, $loan_i$ 表示中介变量; DTA_i 为数字技术应用; δ_0 为常数项, δ_1 、 δ_2 估计系数; ε_i 为随机误差项。

4. 结果与分析

(一) 数字技术应用对绿色生产技术采纳行为的影响

表 2 中模型 1 研究了数字技术应用对农户采纳绿色生产技术行为的影响。结果表明, 数字技术应用能够在 1%水平上显著正向影响农户采纳绿色生产技术行为, H_1 成立。具体而言, 模型 2、模型 3 和模型 4 表明, 数字技术接入、数字信息获取和数字信息沟通分别 10%、5%和 5%程度上显著促进农户采

纳绿色生产技术行为,表明数字技术接入、数字信息获取和沟通均能推动农户采纳绿色生产技术, H_{1a} 成立。

在控制变量中,从农户个人特征、家庭特征和村庄特征三个方面进行分析。就农户个人特征而言,农户的健康状况和环境认知能够提高农户对绿色生产技术的采纳意愿。家庭特征方面,家庭总收入和组织形式均能促进农户采纳绿色生产技术行为。此外,农户参与合作社,能够深入了解绿色生产的重要性及系统学习相关知识与技能,促使农户采纳绿色生产技术。在村庄特征方面,村委会距离县政府距离显著抑制了农户绿色生产技术采纳意愿,但平原地区为农户提供了有利的地理条件,有助于推动绿色农业技术的采纳与推广。

Table 2. Baseline regression results

表 2. 基准回归结果

变量	绿色生产技术采纳程度			
	Oprobit			
	模型 1	模型 2	模型 3	模型 4
数字技术应用	0.1096*** (0.0291)			
数字技术接入		0.1101* (0.0557)		
数字信息获取			0.1613** (0.0580)	
数字信息沟通				0.1438** (0.0556)
年龄	0.0124 (0.0301)	-0.0050 (0.0298)	-0.0086 (0.0291)	-0.0073 (0.0292)
性别	-0.0321 (0.1178)	-0.0269 (0.1179)	-0.0450 (0.1178)	-0.0304 (0.1178)
受教育程度	-0.0062 (0.0313)	0.0025 (0.0314)	0.0111 (0.0309)	0.0043 (0.0311)
健康状况	0.0589* (0.0247)	0.0621* (0.0248)	0.0661** (0.0246)	0.0670** (0.0246)
政治身份	0.0492 (0.0646)	0.0543 (0.0645)	0.0567 (0.0645)	0.0522 (0.0645)
环境感知	0.1060*** (0.0254)	0.1080*** (0.0254)	0.1109*** (0.0255)	0.1024*** (0.0255)
家庭总收入	0.0306 (0.0181)	0.0361* (0.0180)	0.0370* (0.0179)	0.0372* (0.0179)
种植面积	0.0001 (0.0003)	0.0001 (0.0003)	0.0001 (0.0003)	0.0001 (0.0003)
组织形式	0.2418*** (0.0593)	0.2530*** (0.0591)	0.2509*** (0.0592)	0.2495*** (0.0592)
村委会距离 县政府距离	-0.0034* (0.0016)	-0.0033* (0.0016)	-0.0033* (0.0016)	-0.0034* (0.0016)
村庄区位	-0.0895 (0.0673)	-0.0983 (0.0672)	-0.0909 (0.0673)	-0.0986 (0.0672)
村庄地势	0.4123*** (0.0535)	0.4212*** (0.0534)	0.4213*** (0.0533)	0.4222*** (0.0533)
地区虚拟变量	已控制	已控制	已控制	已控制
PseudoR ²	0.0411	0.0388	0.0397	0.0395
观测值 N	2026	2026	2026	2026

注: **、*、*分别代表在 1%、5%、10% 的统计水平上显著, 括号内为标准误。下同。

(二) 内生性检验

数字技术应用与农户采纳绿色生产技术行为之间可能存在反向因果导致内生性问题。一方面, 采纳绿色生产技术的农户更加注重农业的可持续发展, 从而增加对数字技术的需求; 另一方面, 愿意采纳新技术的农户通常具有较高的绿色生产意识、知识储备和专业技能, 能够更好地应用数字技术。考虑到可能存在的内生性问题, 本文采用 Roodman [34]提出的条件混合过程方法(CMP), 并重新对模型予以估计。本文借鉴 Zeng [35]等的研究, 选择使用“村庄内其他个体的数字技术应用均值”作为工具变量。由于乡村社会以熟人为基础, “同伴效应”极为普遍, 受访者的数字技术应用情况容易受到“村庄其他个体的数字技术应用均值”的影响, 但村庄其他个体的数字技术应用情况并不直接影响受访农户绿色生产技术的采纳情况, 二者之间没有必然的直接联系。

条件混合过程方法(CMP)需同时对 2 个方程进行估计, 第 1 个方程估计工具变量对农户数字技术应用所带来的影响, 第 2 个方程考量数字技术应用在农户绿色生产技术采纳方面引发的效应。从表 3 可以看出, 第一阶段村庄其他个体的数字技术应用均值对数字技术应用在 1%的显著性水平下具有正向影响, 且 F 值大于 10, 意味着不存在弱工具变量问题; 在第二阶段的内生性检验中, 参数 atanhrho_12 的值为 -1.973, 并在 1%的显著性水平上具有显著性, 验证了 CMP 方法的适用性。通过处理内生性问题, 数字技术应用仍然显著促进农户绿色生产技术采纳。

Table 3. Instrumental variable regression results
表 3. 工具变量回归结果

变量	数字技术应用	绿色生产技术采纳程度
	第一阶段: 模型 5	第二阶段: 模型 6
数字技术应用		1.0213*** (0.0199)
工具变量	0.2354*** (0.0491)	
控制变量	已控制	已控制
atanhrho_12		-1.9730*** (0.2138)
F 值	23.02	
观测值 N	2026	2026

(三) 稳健性检验

为了进一步检验基准回归结果的准确性和稳健性, 考虑通过替换模型、被解释变量和限制样本三种方法来进行稳健性检验。第一, 替换模型。参考骆家昕[18]的研究, 模型 7 将 Oprobit 模型替换为 Ologit 模型, 结果见表 4 模型 7。数字技术的应用对农户采纳绿色生产技术行为有显著推动作用, 进一步证实了前文所得到的研究结论是正确的。第二, 替换被解释变量。参考熊飞雪[24]的研究, 模型 8 将被解释变量替换为“绿色生产技术采纳”, 即如果农户采纳了上述 5 种任意的绿色生产技术, 则赋值为 1, 反之赋值为 0, 并采用 probit 进行回归分析, 结果表明数字技术应用的估计系数依然显著为正, 其结果与模型 1 结果一致, 表明结果具有稳健性。第三, 限制样本。参考杜凤君[20]的研究, 鉴于数字技术应用和绿色生产技术采纳需要农户具备一定的学习能力和良好的身体素质, 故将 70 岁以上的样本予以排除后再次进行回归分析, 结果发现数字技术应用仍显著正向促进农户采纳绿色生产技术行为, 进一步验证了结果具有稳健性。

Table 4. Robustness test
表 4. 稳健性检验

变量	替换模型	替换被解释变量	限制样本
	Ologit	Probit	Oprobit
	模型 7	模型 8	模型 9
数字技术应用	0.1895*** (0.0513)	0.1423*** (0.0389)	0.1331*** (0.0303)
控制变量	已控制	已控制	已控制
PseudoR ²	0.0409	0.0700	0.0401
观测值 N	2026	2026	1769

(四) 作用机制检验

为探究数字技术应用是否会通过供应链外部融资和内部融资可得性来影响农户绿色生产技术采纳，本文采用中介效应模型进行实证检验，考虑到文中的被解释变量为多元有序变量，不适合 Bootstrap 检验方法，因此参考学者江艇提出的中介效应检验方法，实证研究具体结果见表 5。

从表 5 模型 10，数字技术应用在 1% 的统计水平上显著正向影响农户外部融资的获取，有力保障了农户绿色生产的资金来源，H_{2a} 得到验证。可能的解释为：一方面，借助数字平台，农户能够更加便捷地了解各类金融产品和政策支持，拓宽融资渠道；另一方面，数字技术通过采集、记录和整合农户的生产经营数据、信用记录和交易行为，为金融机构提供了评估农户信用状况的可靠依据，从而降低了贷款风险，提升了金融机构对农户发放贷款的意愿。此外，部分地区还推动了“数字信贷”模式的发展，使得农户可以通过线上平台实现融资申请与审批流程，进一步提高了融资效率。

从表 5 模型 11，数字技术应用在 1% 的统计水平上显著正向影响农户获取供应链内部的资金支持，这表明数字技术应用能够助力农户增强获取内部融资资金支持的能力，进而提高农户采纳绿色生产技术的积极性，H_{2b} 得到验证。可能的解释为：一方面，通过数字技术，农户能够实时共享其生产数据、销售记录和履约能力等信息，有助于下游核心企业更精准地评估其经营状况与信用水平，从而愿意提供预付款或直接贷款等形式的资金支持；另一方面，数字平台的参与也推动了农业供应链金融模式的创新，使得更多基于交易数据和信用记录的内部融资机制成为可能。这不仅降低了融资门槛，也提升了融资效率，为农户绿色生产技术的采纳提供了有力的资金保障和激励基础。

Table 5. Mediation effect test
表 5. 中介效应检验

变量	外部融资	内部融资
	模型 10	模型 11
数字技术应用	0.2096*** (0.0376)	0.1903*** (0.0490)
控制变量	已控制	已控制
常数项	-0.4391 (0.3026)	-1.895*** (0.394)
PseudoR ²	0.0842	0.0595
观测值 N	2026	2026

(五) 异质性分析

进一步考虑农户收入水平、受教育程度和地区分布的异质性, 研究数字技术应用对农户绿色生产技术采纳的影响。

家庭收入水平在一定程度上反映了农户的经济实力。收入较高的农户通常具备更好的经济条件和风险承担能力, 能够承担绿色生产技术的投入并应对潜在风险。而收入较低的农户在资金投入上受限, 且风险抵御能力较弱。因此, 绿色生产技术的采纳应充分考虑农户的收入状况。本文借鉴熊飞雪[24]和张勋[36]的研究, 根据家庭收入的高低对农户数据进行排序并分级, 将家庭总收入等级的中位数作为划分标准。具体而言, 本文将农户收入水平分为低收入水平(8 万以下)和高收入水平(8 万及以上)两个层次, 探讨农户收入水平的异质性。从表 6 模型 12 可得, 数字技术应用对不同收入水平的农户采纳绿色生产技术行为均呈现显著为正的状态, 但低收入水平组的作用程度显著低于高收入水平组。

受教育水平高的户主具有更强的认知能力和学习优势, 能更好地运用互联网资源获取绿色生产技术知识, 从而促进农户采纳绿色生产技术。因此, 农户的受教育程度在采纳绿色生产技术过程中发挥着至关重要的作用。本文借鉴贺亚琴[22]等的做法, 将受教育程度分为相对意义上的低受教育水平组(初中及以下)和高受教育水平组(高中及以上), 探讨农户受教育程度的异质性。从表 6 模型 13 可得, 数字技术应用显著促进了不同受教育水平农户的采纳绿色生产技术行为, 且对受教育水平较高农户促进程度更大。

我国地域辽阔, 不同地区在资源禀赋、经济发展水平、产业发展模式等方面有较大的差异。因此, 本文基于地区差异的视角, 借鉴赵一凡等[37]的做法, 将农户分为相对意义上的东部地区和中西部地区, 深入分析数字技术应用对农户采纳绿色生产技术的异质性影响。从表 6 模型 14 可得, 数字技术应用会显著提高中部地区和西部地区农户采纳绿色生产技术的意愿, 而对于东部地区农户采纳绿色生产技术的影响并不显著。可能的原因在于当前中西部地区正处于互联网加速普及和乡村数字化转型的关键阶段, 数字技术的渗透在提升信息可得性、降低技术学习门槛、拓宽市场渠道等方面发挥了重要作用, 从而显著增强了农户采纳绿色生产技术的意愿; 而东部地区的互联网发展已较为成熟, 乡村数字基础设施相对完善, 导致数字技术应用对绿色生产技术采纳意愿并未显著提升。

Table 6. Heterogeneity analysis
表 6. 异质性分析

变量	收入水平		受教育水平		地区分布	
	低收入水平	高收入水平	低受教育水平	高受教育水平	东部地区	中部及西部地区
	模型 12		模型 13		模型 14	
数字技术应用	0.1188*** (0.0336)	0.131* (0.0535)	0.0947** (0.0291)	0.184* (0.0877)	0.0198 (0.0758)	0.126*** (0.0302)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
PseudoR ²	0.0248	0.0542	0.0446	0.0343	0.0845	0.0411
观测值 N	1486	540	1760	266	373	1653

5. 结论与建议

化肥和农药等农用化学品的高投入虽然能够提高粮食产量, 但也导致中国耕地质量下滑、土地退化、生态环境恶化等问题。在此背景下, 积极采纳绿色生产技术是实现农业绿色和可持续性发展的关键路径。

本文基于中国乡村振兴调查(CRRS)数据, 分析数字技术应用对农户绿色生产技术采纳的影响, 并探究了供应链外部融资和内部融资可得性在其中起到了中介作用。研究发现: (1) 数字技术应用显著促进了农户采纳绿色生产技术行为。具体来看, 数字技术接入、数字信息获取和数字信息交流均能促进农户采纳绿色生产技术行为。(2) 机制分析表明, 数字技术应用通过提高农户供应链外部融资和内部融资可得性, 进而促进农户绿色生产技术采纳行为。(3) 异质性分析表明, 数字技术应用对收入水平较高、受教育水平较高和中西部地区农户采纳绿色生产技术的促进作用更为显著。

基于上述结论, 本文提出以下关键政策建议。第一, 健全数字基础设施有效覆盖, 让农户切实感受数字技术为其带来的数字红利, 深入推进数字技术应用, 增强农户的信息获取和信息交流能力, 促使农户积极采纳绿色生产技术。第二, 优化农户内外部融资环境, 保障农户资金需求。一方面, 可以采取财政贴息、政府担保等直接支持措施, 降低农户绿色生产融资成本。同时创新开发“碳汇贷”“绿色农机分期付款”等专项金融产品, 满足农户个性化的贷款需求。另一方面, 通过搭建农村线上数字信用平台完善农户信用评价结构, 推动农村金融市场数字信用体系建设, 提升金融机构或者供应链上下游企业的融资服务质量, 为农户采纳绿色生产技术提供资金保障, 有效缓解农户的融资约束问题。第三, 针对不同农户的特征差异, 做好差异化的方案。例如, 对于收入水平低的农户, 可以提供直接补贴和技术培训, 降低绿色生产门槛; 面向低学历的农户, 可以采用田间示范和短视频推广, 实现绿色技术的差异化普及, 从而增加绿色生产技术采纳行为。此外, 在推进绿色生产技术推广过程中, 应注重发挥数字技术在中西部地区的潜力, 同时探索在东部地区提升技术采纳积极性的多元路径。

参考文献

- [1] 新华社. 习近平: 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[EB/OL]. https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm, 2025-01-03.
- [2] 新华社. 2024 年中央一号文件公布提出有力有效推进乡村全面振兴“路线图” [EB/OL]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6929930.htm, 2025-01-03.
- [3] 农业农村部. 农业农村部等 6 部门联合印发《“十四五”全国农业绿色发展规划》[EB/OL]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-09/09/content_5636345.htm, 2025-01-03.
- [4] 何可, 宋洪远. 资源环境约束下的中国粮食安全: 内涵、挑战与政策取向[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2021, 21(3): 45-57.
- [5] 王俊斌, 张立冬. 订单农业供应链的区块链溯源技术引入策略研究[J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44(2): 612-628.
- [6] 李家辉, 陆迁. 数字金融对农户采用绿色生产技术的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2470-2486.
- [7] 翁贞林, 兰丁旺, 汤晋, 等. 风险偏好、合作社参与对水稻绿色生产技术采纳行为的影响——基于江西省 520 份水稻种植户的调研[J]. 农业经济与管理, 2023(5): 13-22.
- [8] 喻立凡, 曹大字, 廖冰. 生计资本、生态认知对农户绿色生产技术采纳意愿的影响研究[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(12): 27-39.
- [9] Qiu, H., Tang, W., Huang, Y., Deng, H., Liao, W. and Ye, F. (2024) E-Commerce Operations and Technology Perceptions in Promoting Farmers' Adoption of Green Production Technologies: Evidence from Rural China. *Journal of Environmental Management*, 370, Article 122628. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122628>
- [10] 王学婷, 张俊飏, 童庆蒙. 参与农业技术培训能否促进农户实施绿色生产行为?——基于家庭禀赋视角的 ESR 模型分析[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(1): 202-211.
- [11] Wang, F., Cang, Y., Chen, S. and Ke, Y. (2023) Aging, Land Fragmentation, and Banana Farmers' Adoption of Biopesticides in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 84742-84757. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28358-3>
- [12] 范水生, 郑建成, 林以恒, 等. 社会资本如何影响茶农绿色生产技术采纳行为? [J]. 农林经济管理学报, 2024, 23(1): 51-59.

- [13] 余丽燕, 梁辉堡, 鲁益雨. 信贷可得性对农户采纳绿色生产技术的的影响: 基于农户加入合作社的调节效应分析[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(1): 56-64.
- [14] Zou, Q., Zhang, Z., Yi, X. and Yin, C. (2023) The Direction of Promoting Smallholders' Adoption of Agricultural Green Production Technologies in China. *Journal of Cleaner Production*, **415**, Article 137734. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137734>
- [15] Qing, C., Zhou, W., Song, J., Deng, X. and Xu, D. (2023) Impact of Outsourced Machinery Services on Farmers' Green Production Behavior: Evidence from Chinese Rice Farmers. *Journal of Environmental Management*, **327**, Article 116843. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116843>
- [16] 沈玉洁, 谷满仓, 田蓬鹏, 等. 环境规制、绿色认知对农户绿色生产技术采纳的影响——兼论社会资本的调节作用[J]. 干旱区资源与环境, 2025, 39(1): 1-15.
- [17] 马千惠, 郑少锋, 陆迁. 社会网络、互联网使用与农户绿色生产技术采纳行为研究——基于 708 个蔬菜种植户的调查数据[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(3): 16-21, 58.
- [18] 骆家昕, 孙炜琳. 互联网使用对农户采纳绿色农业技术的影响研究——基于河北省 436 个设施蔬菜种植户的调研数据[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(8): 97-105.
- [19] 高天志, 冯辉, 陆迁. 数字农技推广服务促进了农户绿色生产技术选择吗——基于黄河流域 3 省微观调查数据[J]. 农业技术经济, 2023(9): 23-38.
- [20] 杜凤君, 赵晓颖, 郑军, 等. 数字能力如何促进农户农田碳汇技术采纳?——基于山东省粮食种植户的微观证据[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(6): 932-943.
- [21] Yang, C., Ji, X., Cheng, C., Liao, S., Obuobi, B. and Zhang, Y. (2024) Digital Economy Empowers Sustainable Agriculture: Implications for Farmers' Adoption of Ecological Agricultural Technologies. *Ecological Indicators*, **159**, Article 111723. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111723>
- [22] 贺亚琴, 刘衍朵, 郭锦墉, 等. 数字素养、社会网络与粮食种植户有机肥替代技术采纳强度——基于 CRRS 数据的实证[J]. 农林经济管理学报, 2024, 23(5): 643-651.
- [23] 王永强, 王哲. 社会化服务、信息获取与农户节水灌溉技术采纳行为——基于河北省 775 份小麦-玉米种植户调查数据的实证分析[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(3): 49-58.
- [24] 熊飞雪, 游成勋, 朱述斌. 数字技术应用对粮农绿色生产技术采纳行为的影响研究[J]. 中国农业资源与区划, 2025, 46(1): 62-72.
- [25] 卫佳静, 郑少锋, 张青松. 数字技术使用、绿色认知与农户绿色防控技术采纳——以晋冀两省梨种植户为例[J]. 世界农业, 2024(3): 99-112.
- [26] 钱罕, 文长存, 刘强. 融资约束、绿色补贴与家庭农场绿色生产技术采纳[J]. 浙江农业学报, 2025, 37(1): 231-244.
- [27] 郭苏豫. 数字金融赋能农业高质量发展策略研究[J]. 价格理论与实践, 2021(12): 102-10.
- [28] 田红宇, 王媛名. 数字技术、信贷可获得性与农户多维贫困[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2021, 20(4): 33-43.
- [29] 孙光林, 李金宁, 冯利臣. 数字信用与正规金融机构农户信贷违约——基于三阶段 Probit 模型的实证研究[J]. 农业技术经济, 2021(12): 109-126.
- [30] 占济舟, 陈祥锋. 数字科技赋能供应链预付款融资支付管理的决策与创新[J]. 统计与信息论坛, 2024, 39(12): 71-83.
- [31] 龚继红, 何存毅, 曾凡益. 农民绿色生产行为的实现机制——基于农民绿色生产意识与行为差异的视角[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2019(1): 68-76, 165-166.
- [32] 王杰, 蔡志坚, 吉星. 数字素养、农民创业与相对贫困缓解[J]. 电子政务, 2022(8): 15-31.
- [33] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.
- [34] Roodman, D. (2011) Fitting Fully Observed Recursive Mixed-Process Models with CMP. *The Stata Journal: Promoting Communications on Statistics and Stata*, **11**, 159-206. <https://doi.org/10.1177/1536867x1101100202>
- [35] Zeng, H., Chen, J. and Gao, Q. (2024) The Impact of Digital Technology Use on Farmers' Land Transfer-In: Empirical Evidence from Jiangsu, China. *Agriculture*, **14**, Article 89. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010089>
- [36] 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, 54(8): 71-86.
- [37] 赵一凡, 刘子玉. 电子商务发展对农村居民生活满意度的影响——基于 2020 年中国乡村振兴综合调查(CRRS)数据[J]. 经济与管理, 2024, 38(4): 9-18.