

数字经济对农业绿色低碳发展的影响研究

——基于中介效应和门槛效应分析

田仁倩

贵州大学经济学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2025年3月10日; 录用日期: 2025年3月26日; 发布日期: 2025年4月22日

摘要

基于2013~2022年中国省级面板数据, 采用熵值法构建数字经济与农业绿色低碳发展指标体系, 实证分析数字经济对农业绿色低碳发展的影响及作用机制。研究发现: (1) 数字经济促进农业绿色低碳发展, 技术创新水平则在这一过程中起中介作用。(2) 相较于东部地区, 中西部地区数字经济对农业绿色低碳发展推动作用更为显著; 同时, 粮食主产区相较于非粮食主产区, 也呈现出更显著的促进作用。(3) 维度异质性分析发现, 数字经济对农业高效发展正向促进作用最大, 其次是农业现代化和农业绿色发展, 而对农业低碳转型则表现出一定抑制作用, 但这种抑制效应并不显著。(4) 门槛检验表明, 数字经济对农业绿色低碳发展的影响存在单门槛效应, 在门槛值0.081内, 其对农业绿色低碳发展起显著促进作用; 在越过门槛值后, 其对农业绿色低碳发展促进作用明显减缓。据此, 应强化数字基础设施与应用, 提高技术创新水平, 实施差异化战略, 以推动农业绿色低碳转型。

关键词

数字经济, 农业绿色低碳发展, 乡村振兴, 门槛效应

Research on the Influence of Digital Economy on Green and Low-Carbon Agricultural Development

—Based on the Mediation Effect and the Threshold Effect Analysis

Renqian Tian

School of Economics, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Mar. 10th, 2025; accepted: Mar. 26th, 2025; published: Apr. 22nd, 2025

文章引用: 田仁倩. 数字经济对农业绿色低碳发展的影响研究[J]. 电子商务评论, 2025, 14(4): 1461-1478.
DOI: 10.12677/ec.2025.1441031

Abstract

Based on the provincial panel data of China from 2013 to 2022, the entropy method is adopted to build the index system of digital economy and agricultural green and low-carbon development, and the impact and function mechanism of digital economy on the green and low-carbon development of agriculture are empirically analyzed. The research found that: (1) the digital economy promotes the green and low-carbon development of agriculture, and the level of technological innovation plays an intermediary role in this process. (2) Compared with the eastern region, the digital economy in the central and western regions plays a more significant role in promoting the green and low-carbon agricultural development; meanwhile, the major grain producing areas also play a more significant role than the non-major grain producing areas. (3) Dimensional heterogeneity analysis shows that digital economy has the most positive effect on promoting the efficient development of agriculture, followed by agricultural modernization and agricultural green development, while it shows a certain inhibitory effect on the low-carbon transformation of agriculture, but this inhibitory effect is not significant. (4) The threshold test shows that digital economy has a single threshold effect on the green and low-carbon development of agriculture. Within the threshold value of 0.081, it plays a significant role in promoting agricultural green and low-carbon development. After crossing the threshold value, its effect on promoting green and low-carbon agricultural development is significantly slowed down. Accordingly, digital infrastructure and application should be strengthened, the level of technological innovation should be improved, and differentiation strategies should be implemented to promote the green and low-carbon transformation of agriculture.

Keywords

Digital Economy, Green and Low-Carbon Development of Agriculture, Rural Revitalization, Threshold Effect

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

在技术革新浪潮的推动下，农业领域的数字化转型成为全球农业发展的主流趋势，各国加速激活数字技术在农业生产中的潜力，此举对于增强农业生产效率、确保农民收入稳定增长和推动乡村地区的可持续发展具有深远意义。在当今全球经济体系中，数字经济凭借高度创新、迅猛增长和广泛影响，成为经济发展的新引擎。《中国数字经济发展研究报告(2024 年)》指出，2023 年中国数字经济规模已达到 53.9 万亿元，占 GDP 比重高达 42.8%，其对经济增长的贡献率高达 66.45% [1]，表明数字经济在支撑经济增长中有重要作用。随着 5G、人工智能等技术的持续突破，数据要素市场的加快建设，数字经济产业体系不断完善，全要素生产率稳固提升，数字经济正以前所未有的速度重塑中国经济结构。在农业领域，面对生态环境的压力、生态文明建设的要求以及“双碳”目标的迫切需求，传统农业生产方式的转变和绿色低碳转型显得尤为重要。中国农业长期面临着“大国小农”的基本格局，而数字经济蓬勃发展，为农业突破资本禀赋不足和信息闭塞的约束提供重要契机。数字经济通过数字化手段，能够显著提升农业综合生产能力和抗风险能力，从生产端减少外部环境对农作物的干扰，从消费端赋能农产品销售，形成智慧农业新模式，有效解决农业发展产销难题。

党的二十大报告明确指出，坚持走好绿色兴农的发展道路，需要进一步发挥科技支撑力量，着力推

动农村生产生活方式绿色转型, 加快形成绿色、低碳、循环的可持续农业发展模式。同时, 2024 年中央一号文件也强调要确保国家粮食安全, 优化农业科技创新战略布局, 实施农村电商高质量发展工程, 推进县域电商直播基地建设, 发展乡村土特产网络销售[2], 以数字化手段推动农业现代化。此外, 《“十四五”数字经济发展规划》提出持续推进数字基础设施建设的优化升级, 充分发挥产业数字化转型和数字产业化“双轮驱动”作用[3]。在此背景下, 研究数字经济对农业绿色低碳发展的影响具有深远意义。本文通过剖析数字经济与农业绿色低碳发展之间的内在联系, 探索数字经济助力农业突破传统限制、驱动农业绿色发展的有效路径, 实现农业高质量发展及乡村全面振兴。

2. 文献回顾

近年来, 随着大数据、人工智能等技术的商业化应用, 数字技术在国民经济各行业渗透, 推动经济向数字化、网络化、智能化方向转型[4]。在农业这一传统而又至关重要的领域, 数字经济亦展现出其独特的渗透力与变革, 深刻影响着农业可持续发展模式。在农业领域, 数字经济对农业绿色低碳发展的影响日益成为学术界关注的焦点。学者们不仅关注数字经济如何影响农业绿色发展与农业碳排放, 还深入探讨两者之间的复杂关系及其时空演变。孟维福等(2024)认为, 数字经济可通过适度规模和绿色金融等机制有效降低农业碳排放[5]。王卫才和张守夫(2024)指出, 数字经济在推动农业产业链现代化方面发挥积极作用[6]。黄晓慧和聂凤英(2023)进一步强调, 数字化通过传播教育、关系纽带、金融杠杆等功能, 驱动农户实现农业绿色低碳转型[7], 但这些观点仍需通过实证分析进行验证。刘桢志和杨树果(2024)认为, 乡村数字化主要通过绿色技术创新、规模化经营和种植结构调整等路径, 推动农业绿色低碳发展[8]。高岳林等(2023)则指出, 数字经济对产业结构高级化和合理化的影响存在显著区域异质性和时间异质性[9]。对于二者关系, 费威与安芷萱(2024)提出, 农村数字经济与农业绿色发展虽均处于发展推进期, 但目前两者之间耦合关系尚未达到最佳状态[10], 仍有待进一步提升。

已有研究在定性分析和农业绿色低碳发展某些方面取得一定进展, 但对数字经济与农业绿色低碳发展之间关系的系统性分析, 仍存在一定提升空间。第一, 多数研究将数字经济对农业绿色发展和农业碳排放的影响分别进行探讨, 而未能将两者置于同一框架下进行实证分析。这种分离研究方法可能无法全面捕捉数字经济对农业绿色低碳发展的综合效应。第二, 在分析区域异质性时, 现有文献往往未充分考虑东部、中部、西部地区以及粮食主产区的差异。考虑到粮食生产在农业中核心地位, 不同区域和粮食主产区农业绿色低碳发展水平可能存在显著差异。此外, 经济较为发达省份由于拥有更先进数字技术应用基础, 理论上可能对农业绿色低碳发展促进作用更为明显, 但这需要通过区域对比研究来验证。第三, 从维度异质性视角出发, 对数字经济影响农业绿色低碳发展的实证研究相对较少。考虑到不同地区存在显著资源禀赋和技术条件差异, 数字经济作用效果很可能是非均匀分布。第四, 现有研究较少涉及数字经济对农业绿色低碳发展的门槛效应, 即随着数字经济渗透率的提升, 其对农业绿色低碳转型推动作用是否会达到一个临界点, 之后这种作用会变得更加显著还是逐渐减弱? 这对于理解数字技术长期发展趋势及其对农业可持续性的影响至关重要。基于上述分析, 本文从三大经济带和粮食生产主体功能定位出发, 分析农业绿色低碳发展地区差异, 探讨数字经济对农业绿色低碳发展的维度异质性, 研究中介效应和门槛效应, 以揭示数字经济促进农业绿色低碳发展内在机制, 为农业可持续发展提供实证支持和政策建议。

3. 理论分析与研究假设

数字经济推动农业绿色低碳发展的内在机理框架分析如下所述, 见图 1。

3.1. 数字经济促进农业绿色低碳发展的直接效应

以数字技术为核心的新一代信息技术正与能源技术深度融合, 这一交叉融合在促进数字经济广泛应

用与绿色低碳发展方面展现出巨大潜力。首先，数字经济依托大数据、人工智能等前沿技术，为农业绿色低碳发展提供强大技术支撑与创新活力。这些技术不仅促进数字经济的广泛应用，还推动农业向更加可持续、环保的方向转型。其次，通过智能化生产管理，数字经济显著提升农业生产效率。智能装备的应用能够实时监测农田环境，精准控制生产过程，从而有效减少资源浪费和环境污染。同时，高效供应链管理优化农产品物流路径，降低运输过程中能耗和排放。冷链物流技术和先进包装材料的应用则减少因腐烂变质造成的浪费，提升农产品保鲜度和市场价值。再者，数字经济通过提高市场透明度，引导农业生产向绿色低碳方向发展。绿色消费理念的传播，帮助农民根据市场需求调整种植结构，促进绿色低碳产品的市场需求。这种市场需求变化，反过来又推动农业生产方式转型升级，形成良性循环。最后，数字经济推动农业循环经济的发展，实现资源循环利用和污染排放减少。废弃物资源化利用技术和循环农业模式的应用，促进农业生态系统的可持续发展。这不仅提高农业资源的利用效率，还减轻环境压力，为农业绿色低碳发展提供有力保障。据此，提出第一个假设。

H1：数字经济能够促进农业绿色低碳发展。

3.2. 数字经济推动农业绿色低碳发展的中介效应

数字经济作为经济社会全面转型升级的重要引擎，其核心在于技术创新，而技术创新水平是推动数字经济与农业绿色低碳发展深度融合的关键纽带。技术创新水平的提升，通过技术开发与应用层面的持续投入，直接催生生物农药、有机肥料等一系列绿色技术的创新与普及。这些绿色技术的出现，有效替代传统高污染、高能耗农业生产模式，显著降低农药和化肥的使用量，实现农作物产量与质量的同步提升。技术创新水平的提升是推动绿色技术发展的核心驱动力，而绿色技术的普及则是技术创新水平提升在农业绿色发展领域的直接体现。此外，技术创新水平的提升还通过智能化装备的广泛应用，进一步优化农业生产流程，提高生产效率并减轻环境负担。这得益于地方财政对科技研发的大力支持，使得智能农机、无人机等现代装备得以在农业生产中广泛推广。这些装备的应用，大幅减少人力需求，通过精确作业有效降低能源消耗与碳排放。这一过程中，技术创新水平的提升是智能化装备和信息服务平台得以发展的基础，而这些装备和平台的应用则是技术创新水平提升在农业生产效率和决策支持领域的具体体现。据此，提出第二个假设。

H2：数字经济可以通过提高技术创新水平推动农业绿色低碳发展。

3.3. 数字经济影响农业绿色低碳发展的门槛效应

在数字经济发展初期，投资重点聚焦于基础设施的构建与核心技术的引进。数字经济初步形成规模并在多个领域展现出其潜能，但由于基础尚不坚实，技术融合与创新能力受到限制，这些巨额投资未能充分转化为实际生产力。因此，在这一阶段，数字经济对农业绿色低碳发展的推动作用相对有限，主要是潜力的积累和基础的构建。具体而言，数字技术的引入为农业绿色低碳发展开辟新的可能性，但由于技术和基础设施仍存在局限性，这些潜在优势未能得以充分释放，仍处于一个蓄势待发的积累阶段。随着数字经济成功跨越关键性门槛，信息基础设施实现全面优化，构建起广泛覆盖且高效稳定的信息网络。这一重大转变，大幅度降低农户在信息获取方面的成本，加速绿色农业技术传播，促进绿色农业技术的广泛应用及农业生产方式向低碳模式的转型。在此阶段，数字经济对农业绿色低碳发展的正面影响显著增强。但值得注意的是，随着数字经济持续深入发展，其边际效应却呈现出逐渐递减趋势。这是因为那些易于达成的改进空间趋于饱和，继续追加投资所能带来的边际收益开始呈现递减。当基础设施与技术应用均达到相对饱和状态时，单纯增加投入已难以继续推动农业绿色低碳发展持续提升。因此，为了持续激发数字经济对农业绿色低碳发展的潜力，需要注重数字经济深度应用与模式创新，通过挖掘新的增

长点、优化资源配置以及提升技术效率等措施，促进数字经济与农业绿色低碳发展深度融合。据此，提出第三个假设。

H3：数字经济对农业绿色低碳发展的影响表现出明显的单门槛效应。

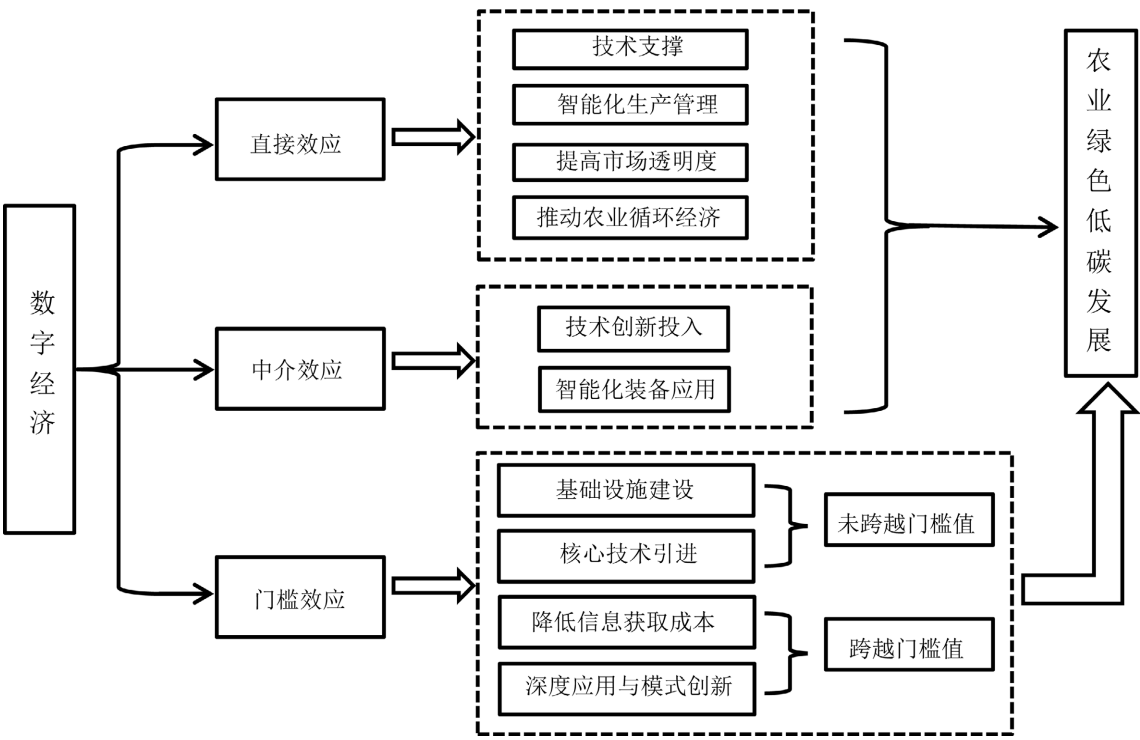


Figure 1. The framework of the internal mechanism of digital economy to promote green and low-carbon development of agriculture

图 1. 数字经济推动农业绿色低碳发展的内在机理框架

4. 数字经济与农业绿色低碳发展水平测算

4.1. 指标体系构建

借鉴宋敏和刘欣雨(2023) [11]、刘颖与徐少雄(2024) [12]、孟维福等(2024) [5]等相关研究成果，综合考虑数字经济多维度特性，选取涵盖数字基础设施、数字技术创新、产业数字化以及数字产业化四个维度的二级指标、共计 22 个三级指标的综合性评估体系，见表 1。

Table 1. Digital economy development index system

表 1. 数字经济发展指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	单位	属性	权重(%)
数字经济	数字基础设施	域名数	万个	正	6.26
		农村投递路线	公里	正	2.13
		移动电话普及率	部/百人	正	1.3
		互联网宽带接入用户数	万户	正	3.03
		互联网宽带接入端口数	万个	正	2.73
		平均每一营业网点服务人口	万人	正	2.04

续表

数字技术创新	规模以上工业企业 R&D 经费	万元	正	6.08
	规模以上工业企业有效发明专利数	件	正	9.22
	规模以上工业企业新产品项目开发数	项	正	7.81
	规模以上工业企业 R&D 人员全时当量	人年	正	6.66
产业数字化	快递业务收入	万元	正	9.32
	工业增加值	亿元	正	3.79
	农林牧渔业增加值	亿元	正	2.74
	第三产业的增加值	亿元	正	3.45
	每百家企业拥有网站数	个	正	3.45
	每百人使用计算机数	台	正	3.45
	农业气象观测业务站点个数	个	正	1.38
数字产业化	电信业务总量	亿元	正	6.02
	电子商务销售额	亿元	正	6.71
	电信长途光缆线路长度	公里	正	1.92
	软件业务收入合计	万元	正	9.21
	有电子商务交易活动的企业比重	%	正	1.31

鉴于数据可得性和完整性，参考郭海红和盖凌云(2024) [13]、林丹等(2024) [14]等相关研究方法，构建农业绿色低碳发展综合评价体系，涵盖农业绿色发展、农业现代化、农业高效发展及农业低碳转型四个二级指标，旨在多维度、深层次评估农业绿色低碳发展现状及趋势，如表 2 所示。

Table 2. Green and low-carbon development index system for agriculture
表 2. 农业绿色低碳发展指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	计算公式	单位	属性	权重(%)
农业绿色低碳发展	农业绿色发展	农用化肥施用强度	农用化肥折纯施用量/播种面积	万吨/千公顷	负	3.85
		农药施用强度	农药使用量/播种面积	万吨/千公顷	负	1.58
		农用塑料薄膜施用强度	农用塑料薄膜使用量/播种面积	万吨/千公顷	负	2.07
	农业现代化	农业单位面积机械总动力	农业机械总动力/播种面积	万千瓦/千公顷	正	11.54
		现代化生产设备	农用大中型拖拉机数量	台	正	37.56
	农业高效发展	农业产出水平	第一产业增加值	亿元	正	17.1
		粮食单产	粮食总产量/粮食播种面积	万吨/千公顷	正	7.68
		劳动生产率	农林牧渔业总产值/第一产业从业人员	亿元/万人	正	11.82
	农业低碳转型	农业碳排放密度	农业碳排放/播种面积	万吨/千公顷	负	4.23
		农业碳排放强度	农业碳排放总量/农业总产值	万吨/亿元	负	2.57

4.2. 测算结果与分析

4.2.1. 数字经济发展水平的测算与结果分析

如图 2 所示, 中国数字经济在 2013 年至 2022 年间展现出显著的区域发展差异。东部地区依托其坚实经济发展基础、有力政策支持及人才集聚效应等, 持续展现出在数字经济领域卓越表现, 其数字经济得分始终维持在全国平均线之上, 并从 2013 年 0.144 迅速增长至 2022 年 0.335, 实现 131.94% 的高增长率, 稳固其在数字经济领域领先地位。相比之下, 中部地区数字经济得分虽有所增长, 从 2013 年 0.083 提升至 2022 年 0.162, 增长率为 95.18%, 但增速相对较慢, 与东部地区差距逐渐扩大。而西部地区, 尽管其数字经济得分最低, 起始于 2013 年 0.055 并增长至 2022 年 0.111, 实现 101.82% 较快增长, 展现出积极发展态势, 但与东部地区差距依然显著。这一系列数据表明, 尽管中西部地区在近年来数字经济发展迅速, 但仍需进一步加强在经济发展基础、科技创新、产业结构优化、政策支持等相关领域建设和发展, 以缩小与东部地区差距, 促进全国数字经济均衡与可持续发展。

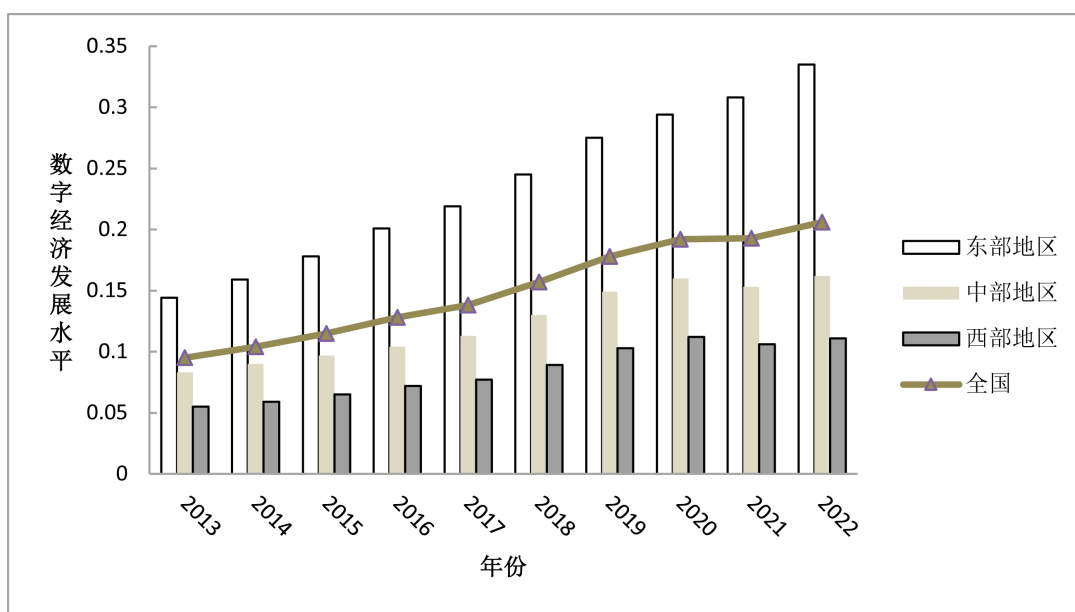


Figure 2. Trends in digital economy development across China and the three regions

图 2. 全国及三大地区数字经济发展变化趋势

4.2.2. 农业绿色低碳发展水平的测算与结果分析

如图 3 所示, 在中国农业绿色低碳发展地理版图中, 中部地区表现尤为突出, 其发展水平远高于全国平均水平。这一显著成就主要归因于中部地区在农业资源高效利用与环境保护方面的持续努力与显著成效。具体而言, 从 2013 年至 2022 年, 中部地区农业绿色低碳发展平均水平实现从 0.338 到 0.440 的稳步增长, 增幅达 0.102, 对应增长率为 30.18%, 彰显其在推动农业绿色转型方面坚实步伐。相比之下, 东部地区凭借其在经济发展水平、技术创新能力及政府支持等方面的优势, 长期占据领先地位, 并实现了快速的绿色低碳发展。在同一观测期内, 东部地区农业绿色低碳发展平均得分从 0.288 提升至 0.392, 实现 36.11% 增长率, 但其起点相对较低, 故在绝对水平上仍略逊于中部地区。与此同时, 西部地区尽管起始水平相对较低, 但凭借在农业结构调整、生态保护和修复等方面的积极努力, 其绿色低碳发展水平也实现了快速提升, 均值从 0.250 增长至 0.329, 增长率为 31.6%。整体而言, 中国各地区在农业绿色低碳发展上均取得不同程度进步, 展现出良好发展态势。

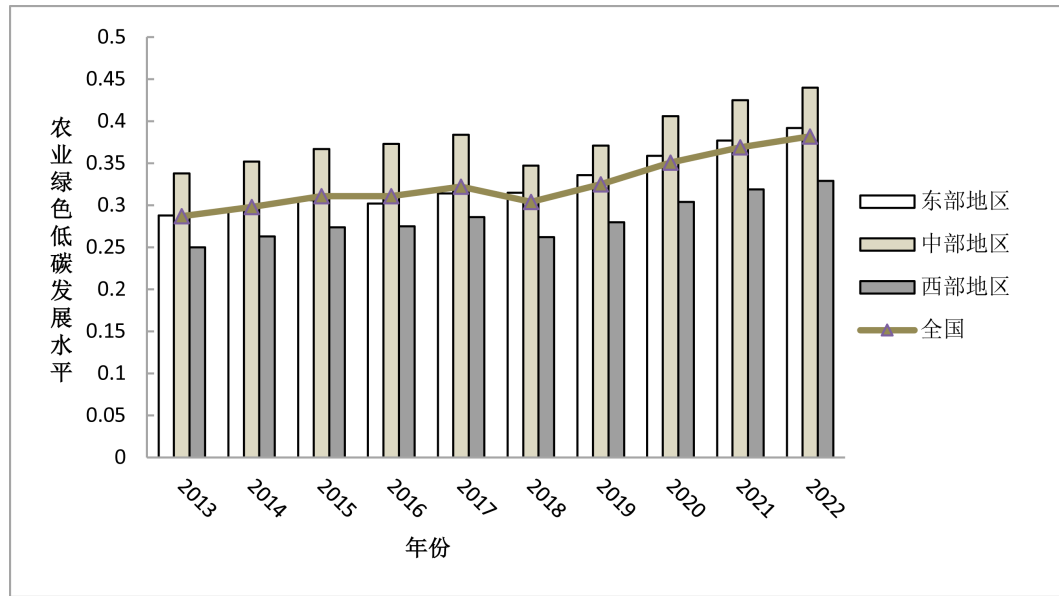


Figure 3. Trends in green and low-carbon agricultural development across the country and three regions
图 3. 全国及三大地区农业绿色低碳发展变化趋势

5. 实证模型

5.1. 数据说明和变量选取

考虑到数据的可获取性,本文以 2013 至 2022 年间中国 30 个省(市、区)作为研究样本,所涉及原始数据均源自中国经济社会大数据研究平台、《中国农村统计年鉴》、各省统计年鉴及国家统计局发布的数据,缺失数据采用插值法补齐。借鉴郭海红与盖凌云(2024)研究[13],用农业绿色低碳发展作为被解释变量,并从农业绿色发展、农业现代化、农业高效发展和农业低碳转型四个维度构建评价指标体系以测度各地区农业绿色低碳发展水平,下设 10 个二级指标,见表 2。借鉴孟维福等(2024)研究[5],从数字经济核心特征出发,选取 22 个指标构建数字经济发展综合指标体系以测度各地区数字经济发展水平,见表 1。控制变量:(1) 经济发展水平(gdp)用人均地区生产总值取对数进行测度。(2) 财政支农力度(finance)通过计算地方财政农林水事务支出占地方财政一般预算支出的比例来衡量政府对农业可持续发展支持力度。(3) 城镇化率(urban)则用城镇人口占总人口的比例来表示,并取对数。(4) 人力资本水平(edu)通过普通高等学校在校学生占各地区年末常住人口的比重来表示。(5) 农村用电量(Electricity)用各地区的农村用电量来表示,并取对数。本文的中介变量为技术创新水平,用各地区的地方财政科学技术支出来衡量技术创新水平,并取对数。

5.2. 模型设定

5.2.1. 基准模型

为检验上述研究假设,构建数字经济对农业绿色低碳发展直接影响的回归模型:

$$Green_c_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Dig_{i,t} + \alpha_2 Controls_{i,t} + u_i + u_t + \varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

$Green_c_{i,t}$ 表示农业绿色低碳发展水平, $Dig_{i,t}$ 表示数字经济发展水平, $Control_{i,t}$ 代表可能影响农业绿色低碳发展的控制变量。其中, i 代表省份, t 代表年份; μ_i 和 u_t 分别表示省份固定效应与年份固定效应, $\varepsilon_{i,t}$ 为随机扰动项。为解决遗漏变量问题,鉴于 Hausman 检验的 P 值为 0.0027,小于 0.05,本文决定采用

双重固定效应模型进行分析。

5.2.2. 中介效应模型

为检验数字经济对农业绿色低碳发展的间接效应，构建以下中介效应模型：

$$Green_c_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{i,t} + \beta_2 Controls_{i,t} + u_i + u_t + \varepsilon_{i,t} \tag{2}$$

$$tec_{i,t} = \lambda_0 + \lambda_1 Dig_{i,t} + \lambda_2 Controls_{i,t} + u_i + u_t + \varepsilon_{i,t} \tag{3}$$

$$Green_c_{i,t} = \gamma_0 + \gamma_1 Dig_{i,t} + \gamma_2 tec_{i,t} + \gamma_3 Controls_{i,t} + u_i + u_t + \varepsilon_{i,t} \tag{4}$$

其中， $tec_{i,t}$ 为*i*省份第*t*年的技术创新水平， β_1 为数字经济对农业绿色低碳发展的影响系数， λ_1 为数字经济对技术创新的影响系数， γ_1 为数字经济对农业绿色低碳发展的直接影响系数， γ_2 为技术创新对农业绿色低碳发展的影响系数。借鉴温忠麟等(2022)中介效应检验方法[15]，假若 β_1 、 λ_1 、 γ_2 均显著，则中介效应存在。

5.2.3. 面板门槛模型

为检验数字经济影响农业绿色低碳发展的门槛效应，设置单一门槛模型：

$$Green_c_{i,t} = \delta_0 + \delta_1 Dig_{i,t} I(Q_{it} \leq q) + \delta_2 Dig_{i,t} I(Q_{it} > q) + \delta_3 Controls_{i,t} + u_i + u_t + \varepsilon_{i,t} \tag{5}$$

其中， $I(.)$ 为示性函数， Q 为门槛变量数字经济， q 为门槛值， δ_0 和 δ_1 分别表示当 $Q \leq q$ 和 $Q > q$ 时，数字经济对农业绿色低碳发展的影响系数。

5.3. 描述性统计与分析

5.3.1. 变量的描述性统计

如表 3 所示，数字经济均值为 0.151，标准差为 0.130，这说明数字经济发展在样本间存在一定差异；最小值为 0.0183，最大值为 0.848，显示出数字经济发展不均衡，部分地区数字经济尚处于起步阶段，而部分地区已较为成熟。农业绿色低碳发展水平平均值为 0.326，标准差为 0.109，说明农业绿色低碳发展水平在样本间相对较为稳定；最小值为 0.169，最大值为 0.670，表明不同地区在农业绿色低碳发展上存在一定的差距，但整体呈现出积极向上的趋势。

Table 3. Descriptive statistics
表 3. 描述性统计结果

变量类型	变量名	符号	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
解释变量	数字经济发展	Dig	300	0.151	0.130	0.0183	0.848
被解释变量	农业绿色低碳发展	Green_c	300	0.326	0.109	0.169	0.670
控制变量	经济发展水平	gdp	300	10.95	0.432	10.00	12.15
	财政支农力度	finance	300	0.115	0.0345	0.040	0.204
	城镇化率	urban	300	4.101	0.180	3.635	4.495
	人力资本水平	edu	300	0.0216	0.006	0.009	0.0436
	农村用电量	Electricity	300	4.935	1.236	1.504	7.575
中介变量	技术进步	tec	300	4.510	1.057	2.127	7.064

5.3.2. 数字经济与农业绿色低碳发展的相关性分析

为了更加直观体现数字经济与农业绿色低碳发展之间关系，以数字经济为横轴、农业绿色低碳发展

为纵轴，绘制如图 4 所示散点拟合图，从而初步判断数字经济与农业绿色低碳发展存在正相关关系，数字经济能够促进农业绿色低碳转型。

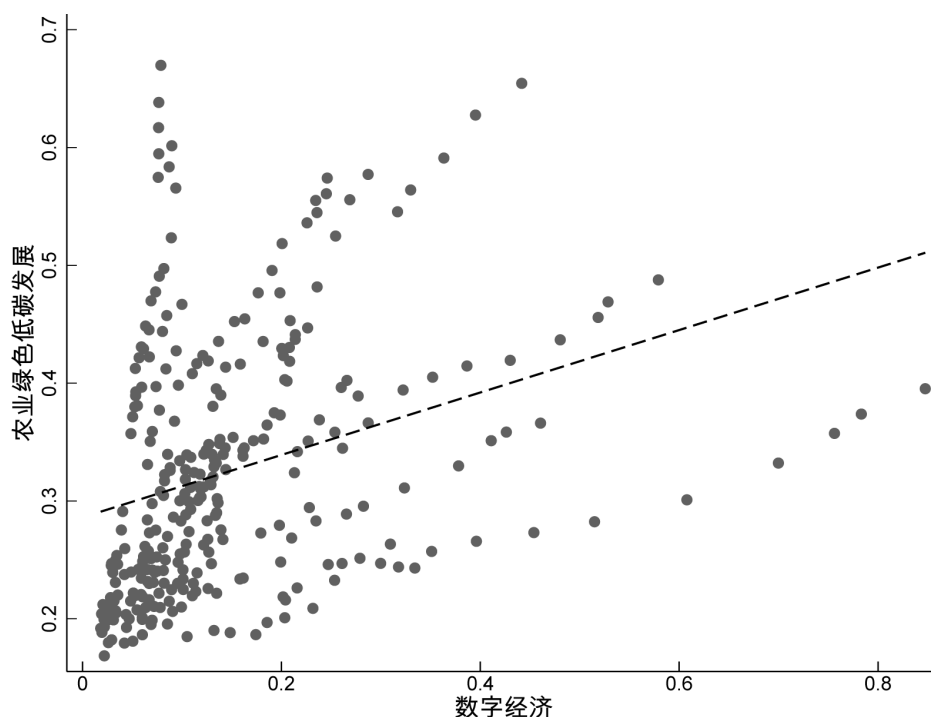


Figure 4. The correlation between digital economy and green and low-carbon development of agriculture
图 4. 数字经济与农业绿色低碳发展的相关关系

6. 实证结果与分析

6.1. 基准回归

平均方差膨胀因子的值为 3.18，该值小于通常认定的多重共线性阈值 10，表明模型中的自变量间不存在严重的多重共线性现象。表 4 是数字经济对农业绿色低碳发展影响的基准回归分析结果，通过构建六个不同模型进行深入的对比与探讨。其中，模型(1)与模型(2)作为对比基准，前者未将年份和省份固定效应纳入考虑，而后者则包含了这两个固定效应，旨在更好地衡量数字经济对农业绿色低碳发展的实际影响。在此基础上，模型(3)至模型(6)进一步扩展分析框架，加入控制变量，以全面考虑在多种因素共同作用下，数字经济对农业绿色低碳发展的影响。结果表明，无论是否控制年份和省份、添加控制变量，数字经济系数在所有模型中均在 1%显著性水平下显著为正，这一结果有力地证明数字经济对农业绿色低碳发展具有持续而显著的推动作用，因此假设 1 得到验证。

6.2. 稳健性检验

6.2.1. 替换核心解释变量

如表 5 列(1)所示，采用数字经济滞后一期值作为替代变量纳入模型后，结果显示其系数为 0.246，且在 1%显著性水平下显著，这表明数字经济滞后效应亦对农业绿色低碳发展具有显著正向影响。

6.2.2. 缩尾处理

如表 5 列(2)所示，采用缩尾处理，对样本数据实施 1%与 99%分位的双侧缩尾处理。处理后，数字

经济系数增加至 0.234，显著性未变，且模型的拟合优度保持在较高水平，这表明在剔除极端值后，数字经济推动农业绿色低碳发展作用更为凸显。

Table 4. Baseline regression results
表 4. 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Dig	0.265*** (5.17)	0.202*** (7.92)	0.403*** (4.90)	0.219*** (9.85)	0.387*** (4.35)	0.224*** (8.66)
gdp			-0.061* (-1.78)	0.008 (0.54)	-0.082** (-2.29)	0.060* (1.94)
finance			1.779*** (7.17)	-0.506*** (-3.48)	1.746*** (6.01)	-0.336** (-2.48)
urban			0.075 (0.96)	0.038 (0.96)	0.125 (1.56)	0.128*** (2.88)
edu			6.493*** (6.22)	5.927*** (7.32)	5.377*** (4.73)	2.368** (2.07)
Electricity			0.030*** (6.36)	0.000 (0.04)	0.032*** (6.70)	-0.001 (-0.32)
_cons	0.286*** (30.97)	0.296*** (74.21)	0.135 (0.69)	-0.027 (-0.22)	0.185 (0.83)	-0.896*** (-2.73)
年份固定	否	是	否	否	是	是
省份固定	否	是	否	是	否	是
N	300	300	300	300	300	300
R ²	0.100	0.964	0.373	0.961	0.395	0.968

6.2.3. 剔除直辖市样本

考虑直辖市在经济发展水平、政策环境等方面特殊性，则进行剔除直辖市样本检验。如表 5 列(3)所示，在剔除北京、天津、上海和重庆四个直辖市后进行回归分析，结果表明数字经济对农业绿色低碳发展正面影响依然显著，其系数为 0.282，并在 1%显著性水平上通过检验，证明数字经济促进农业绿色低碳发展。

6.2.4. 工具变量

如表 5 列(4)分析结果所示，通过将滞后一期数字经济纳入两阶段工具变量回归模型中，数字经济仍对农业绿色低碳发展具有显著正面影响，且这一效应在 1%显著性水平上依然显著。这不仅证实数字经济对农业可持续发展积极作用，也进一步验证前述回归分析结果的稳健性。

6.3. 中介效应检验

由表 6 列(2)可知，数字经济能够促进技术创新，且通过 1%显著性水平检验。表 6 列(3)结果显示，数字经济对农业绿色低碳发展的影响为正且通过 1%显著性检验，技术创新对农业绿色低碳发展的影响为正也通过 1%显著性检验。其中，数字经济系数 0.140，较之列(1)基准回归中 0.224 有所下降，这一变化

表明技术创新在数字经济推动农业绿色低碳发展中起到部分中介作用。结果支持假设 2，即数字经济能够通过提高技术创新水平，进而推动农业绿色低碳发展。

Table 5. Robustness test
表 5. 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
L.Dig	0.246*** (8.27)			
Dig		0.234*** (7.64)	0.282*** (8.40)	0.2463*** (8.91)
_cons	-0.765* (-1.86)	-1.017*** (-2.86)	-0.969*** (-2.77)	-0.6231* (-1.73)
控制变量	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是
省份固定	是	是	是	是
N	270	300	260	270
R ²	0.967	0.970	0.968	0.967

Table 6. Moderating effect model
表 6. 中介效应模型

变量	(1) Green_c	(2) tec	(3) Green_c
Dig	0.224*** (8.66)	2.291*** (5.00)	0.140*** (5.35)
tec			0.037*** (6.17)
_cons	-0.896*** (-2.73)	-20.311*** (-4.99)	-0.154 (-0.49)
控制变量	是	是	是
年份固定	是	是	是
省份固定	是	是	是
N	300	300	300
R ²	0.968	0.967	0.972

为进一步验证技术创新的中介效应，基于 Sobel-Goodman 和 Bootstrap 方法，进行关于数字经济对农业绿色低碳发展影响中介效应检验。表 7、表 8 结果显示，数字经济对技术创新水平具有显著的正向效应，表明数字经济的推进能够有效促进各地区在科技领域财政投入，进而提升技术创新水平。同时，技术创新水平对农业绿色低碳发展也展现出显著正向效应，意味着技术创新水平提升能够有力推动农业向绿色低碳方向转型。在总效应方面，数字经济对农业绿色低碳发展的总体影响显著，进一步分析间接效应与直接效应，发现数字经济通过技术创新水平这一中介变量对农业绿色低碳发展产生显著间接效应，

且间接效应占总效应的 37.4%，凸显技术创新水平在数字经济推动农业绿色低碳转型过程中的重要作用。同时，数字经济对农业绿色低碳发展存在显著的直接效应，其效应比例占 62.6%，表明数字经济对农业绿色低碳发展的影响是多维度且综合性的。

Table 7. Mediation effect test based on Sobel-Goodman method
表 7. 基于 Sobel-Goodman 方法的中介效应检验

Test Summary	Coefficient	Std.Err	Z 值	P 值	效应比例
a coefficient	2.291	5.002	5.002	0.000	
b coefficient	0.037	6.173	6.173	0.000	
Total effect	0.224	8.655	8.655	0.000	
Indirect effect	0.084	3.886	3.886	0.000	37.4%
Direct effect	0.140	5.348	5.348	0.000	62.6%

Table 8. Mediation effect test based on Bootstrap method
表 8. 基于 Bootstrap 方法的中介效应检验

Test Summary	Coefficient	Std.Err	Z 值	P > z	Normal-based [95% conf.interval]	
Total effect	0.224	0.031	7.24	0.000	0.163	0.284
Indirect effect	0.084	0.025	3.32	0.001	0.034	0.133
Direct effect	0.140	0.031	4.49	0.000	0.079	0.201

6.4. 异质性分析

6.4.1. 区域异质性

中国区域间自然地理以及经济发展差异巨大，为进一步探索数字经济对农业绿色低碳发展的影响以及各个地区呈现差异化特征，根据国家统计局数据，将中国划分为东部、中部、西部三大经济地带，并进一步区分出粮食主产区与非粮食主产区，具体结果可见表 9。由表 9 可知，不同地区数字经济对农业绿色低碳发展的影响有所不同。通过对东部地区、中部地区、西部地区、粮食主产区及非粮食主产区对比，剖析数字经济在不同区域对农业绿色低碳发展的差异化影响。对数字经济系数分析可见，其在所有地区

Table 9. Regional heterogeneity
表 9. 区域异质性

变量	东部地区	中部地区	西部地区	粮食主产区	非粮食主产区
Dig	0.111*** (6.41)	0.299*** (2.68)	1.724*** (6.50)	0.355*** (3.86)	0.136*** (6.65)
_cons	-3.038*** (-6.58)	-0.348 (-0.54)	1.695 (1.44)	-1.992*** (-3.73)	0.641 (1.49)
控制变量	是	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是	是
省份固定	是	是	是	是	是
N	110	110	80	130	170
R ²	0.993	0.948	0.979	0.957	0.934

均表现出显著正向影响，证明数字经济对农业绿色低碳发展的普遍促进作用。然而，不同地区系数大小存在显著差异，其中西部地区回归系数为 1.724，明显高于东部地区 0.111 和中部地区 0.299。这种差异可能源于西部地区处于数字经济发展初期，其边际效应更加显著，因而对农业绿色低碳发展促进作用尤为突出。此外，粮食主产区数字经济系数 0.355 亦高于非粮食主产区 0.136，这可能与粮食主产区在粮食生产中对数字化、智能化技术的迫切需求密切相关。综上所述，数字经济对农业绿色低碳发展的影响存在明显地区异质性，对西部地区促进作用比东部地区和中部地区更大，粮食主产区的促进作用比非粮食主产区更大。

6.4.2. 维度异质性分析

如表 10 所示，数字经济在推动农业绿色低碳发展的过程中呈现出明显维度异质性。数字经济系数在农业绿色发展、农业现代化和农业高效发展三个维度上分别为 0.008、0.067 和 0.151，且均达到 1%显著性水平，这表明数字经济对这三个维度的发展均具有显著正向促进作用。在农业绿色发展方面，数字经济通过优化资源配置和提高生产效率，有效减少农业生产过程中的环境污染和资源浪费，推动农业绿色发展。在推进农业现代化过程中，数字经济通过提供先进的技术手段和管理方式，促进农业生产向智能化和精准化方向发展，从而加快农业现代化的步伐。在农业高效发展方面，数字经济通过提高农业生产效率和优化产业结构，实现农业高效发展。然而，在农业低碳这一维度上，数字经济系数为-0.002，且不显著，说明数字经济对农业低碳转型的直接影响并不明显。这可能是由于数字经济在促进农业低碳转型方面尚未充分发挥其作用，或者其影响被其他因素所抵消。

Table 10. Dimensional heterogeneity
表 10. 维度异质性

变量	农业绿色发展	农业现代化	农业高效发展	农业低碳转型
Dig	0.008*** (2.80)	0.067*** (2.73)	0.151*** (13.04)	-0.002 (-0.49)
_cons	0.131*** (3.55)	-0.697** (-2.18)	-0.409** (-2.26)	0.079 (1.51)
控制变量	是	是	是	是
年份固定	是	是	是	是
省份固定	是	是	是	是
N	300	300	300	300
R ²	0.970	0.937	0.981	0.954

6.5. 门槛效应分析

6.5.1. 门槛值个数检验

为检验数字经济对农业绿色低碳发展的影响是否具有门槛特征，采用 Hansen (1999)提出的方法，通过自助法进行 300 次重复抽样，相关结果见表 11 和表 12。在此基础上，将数字经济设为门槛变量，旨在深入探讨其对农业绿色低碳发展的非线性影响机制。通过分析表 11 可知，当门槛数为 1 时，F 统计量为 41.390，P 值为 0.027，小于常用的显著性水平 0.05，且该 F 统计量也超过相应临界值 32.145，这意味着在 5%显著性水平下，数字经济存在显著单门槛效应。然而，当门槛数增加至 2 或 3 时，P 值分别为 0.200 和 0.663，均远大于常用 0.05 显著性水平，且 F 统计量也未超过相应临界值。因此，双门槛和三门槛效

应在统计上不显著。

Table 11. Results of threshold significance test
表 11. 门槛显著性检验结果

门槛变量	门槛数	F 统计量	P 值	10%临界值	5%临界值	1%临界值
数字经济	1	41.390	0.027	27.779	32.145	46.758
数字经济	2	21.500	0.200	27.198	32.454	42.427
数字经济	3	10.660	0.663	38.823	49.832	71.127

根据表 12，确定单门槛模型的门槛值为 0.081，其 95%置信区间为[0.078, 0.082]，图 5 所呈现似然比统计量 LR 函数图像进一步验证该门槛值的可靠性。这表明，当数字经济发展水平达到或超过 0.081 时，在 95%置信水平下，其对农业绿色低碳发展的影响可能会发生显著变化。

Table 12. Threshold estimates and confidence intervals
表 12. 门槛估计与置信区间

门槛变量	门槛类型	门槛值	95%置信下界	95%置信上界
数字经济	单门槛	0.081	0.078	0.082

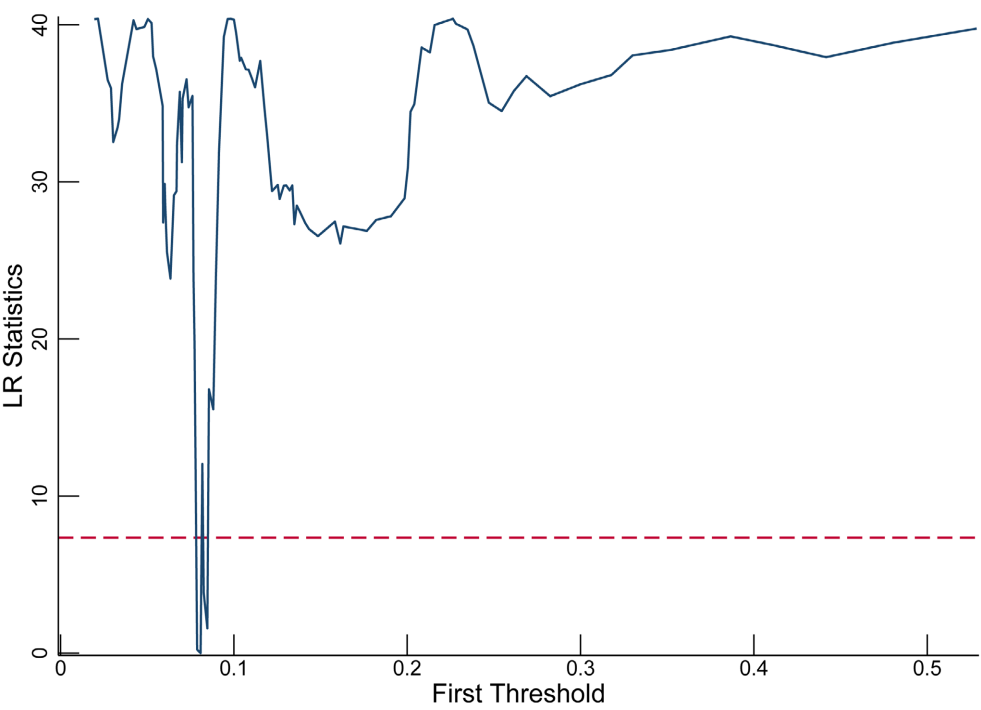


Figure 5. Threshold estimate test
图 5. 门槛估计值检验

6.5.2. 非线性效应分析

表 13 为非线性效应的回归结果，其中模型(1)中数字经济被设定为门槛变量，并依据数字经济水平是否超过 0.081 分为两个区间进行考察。回归分析表明，当数字经济水平低于 0.081 时，其对农业绿色低碳发展的促进作用显著，具体影响系数为 0.626，并在 1%的显著性水平上通过检验。这表明在这个阶段，

数字经济对农业绿色低碳发展有较强的促进作用。当数字经济水平高于门槛值 0.081，其对农业绿色低碳发展的影响系数降低为 0.188，但仍然在 1%水平下显著，这表明虽然数字经济仍然对农业绿色低碳发展有正向影响，但影响程度明显有所减弱。列(2)和列(3)分别为未加入和加入控制变量的非线性效应回归结果。结果显示，无论是否加入控制变量，数字经济系数均在 1%显著性水平上显著为正，而数字经济平方项系数均显著为负，这表明数字经济与农业绿色低碳发展之间存在非线性“倒 U 型”关系，数字经济对农业绿色低碳发展的影响存在边际递减效应。值得注意的是，在加入控制变量后，数字经济平方项系数的显著性水平由 1%降至 10%，这进一步证实数字经济在推动农业绿色低碳发展的过程中呈现出“倒 U 型”非线性效应。因此，当数字经济发展达到较高水平时，会呈现出边际递减的非线性特征。

Table 13. Nonlinear effect regression results
表 13. 非线性效应回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
Dig (Dig ≤ 0.081)	0.626*** (2.93)		
Dig (Dig > 0.081)	0.188*** (6.11)		
Dig		0.427*** (4.09)	0.395*** (3.71)
Dig ²		-0.222*** (-2.61)	-0.158* (-1.91)
_cons	-0.173 (-0.87)	0.270*** (21.77)	-0.729** (-2.12)
控制变量	是	否	是
年份固定	是	是	是
省份固定	是	是	是
N	300	300	300
R ²	0.701	0.965	0.968

7. 研究结论与政策建议

7.1. 研究结论

采用熵值法对 2013~2022 年中国数字经济发展水平和农业绿色低碳发展水平进行测度，在此基础上实证分析数字经济对农业绿色低碳发展的影响及作用机制。研究发现：第一，在更换核心解释变量、进行缩尾处理等稳健性检验后，数字经济仍显著促进农业绿色低碳发展。第二，机制分析表明，技术创新水平在数字经济与农业绿色低碳发展中起中介作用。第三，异质性分析发现，数字经济在促进农业绿色低碳发展中存在明显的区域异质性和维度异质性。在西部地区，数字经济对农业绿色低碳发展水平有更显著的促进作用，而在中部和东部地区的促进作用更小一些。在粮食主产区，数字经济对农业绿色低碳发展水平比非粮食主产区具有更显著的促进作用。数字经济在农业绿色发展、农业现代化和农业高效发展这三个维度上存在明显促进作用，而对农业低碳转型存在抑制作用，但不显著。第四，门槛检验表明，

数字经济对农业绿色低碳发展的影响呈现一种倒“U型”的非线性关系。当数字经济发展水平跨越门槛值时，数字经济仍对农业绿色低碳发展有正向影响，但影响程度明显减弱。

7.2. 政策建议

7.2.1. 深化数字技术渗透力，提高产业效率

深化数字经济与农业的融合，应全面推动数字技术融入农业的全过程与全产业链。这包括实现精准作业与智能管理，以提升生产效率与农产品质量，并紧跟农业科技前沿。依托国家政策，加速数字技术在农业中的应用，促进数字农业与农村电商紧密结合，利用电商平台拓宽农产品市场，增强农村电商消费力。同时，发展多元化电商模式，要求涉农企业积极承担社会责任，优化数据链、产业链、价值链的整合。此外，融合数字农业与乡村旅游，通过乡村旅游推广数字农产品，延长产业链，提升产品附加值，推动农业向规模化、标准化、品牌化发展，形成“农业 + 旅游”的融合发展模式，助力乡村振兴。

7.2.2. 强化数字人才队伍建设，推动农业绿色低碳发展

培养适应农业绿色低碳发展的数字人才，需强化数字人才队伍建设。政府应制定相关政策，鼓励电商平台与乡村合作，提供技术支持、资金援助及人才培养，构建农业数字经济生态系统。依托农业高校与地方政府、电商平台的合作，设立专项培训计划，提升“新农人”的数字化经营能力。通过产学研结合模式，将高校科研成果转化为实际应用，增强数字人才培养的针对性与实效性。针对返乡创业者及农户，设计多元化的培训方式，如线上课程、线下研讨与实地操作等，确保培训内容紧贴地方农业特色与市场需求，培养具有创新思维和市场洞察力的新时代农业从业者。

7.2.3. 创新农村数字普惠金融，缩小城乡金融差距

农村数字普惠金融是助力农业绿色低碳发展的重要途径。应以农村数字普惠金融为突破口，强化第三方支付服务的创新与应用，缩小城乡金融差距，提升金融服务的可及性，降低交易成本，为乡村数字经济注入活力。针对农村第三方支付服务存在的问题，相关部门应开发适应农村需求的支付产品，提高服务的针对性和适用性。通过培训和宣传教育，增强农村居民对数字金融服务的认知与接受度，提升数字金融使用率。鼓励金融机构在农村地区开展合作，共享资源，通过良性竞争推动支付服务创新，挖掘市场潜力。同时，建立健全监管机制，确保第三方支付服务的合规性与安全性，保护农户权益，为数字经济与农业绿色低碳发展的深度融合提供有力支撑。

参考文献

- [1] 中国通信院. 中国数字经济发展研究报告(2024年)[EB/OL]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202408/t20240827_491581.htm, 2025-01-08.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府. 中共中央国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴的意见[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/202402/content_6929934.htm, 2024-02-03.
- [3] 中华人民共和国中央人民政府. 国务院关于印发“十四五”数字经济发展规划的通知[EB/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2022-01/12/content_5667817.htm, 2022-01-12.
- [4] 人民日报. 打造数字经济新优势[EB/OL]. <http://opinion.people.com.cn/n1/2021/1015/c1003-32254174.html>, 2021-10-15.
- [5] 孟维福, 石可敬, 李建英. 数字经济发展对农业碳排放的影响及作用机制[J]. 农村金融研究, 2024(7): 16-27.
- [6] 王卫才, 张守夫. 数字经济驱动农业产业链现代化的实证检验[J]. 统计与决策, 2024, 40(5): 22-27.
- [7] 黄晓慧, 聂凤英. 数字化驱动农户农业绿色低碳转型的机制研究[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2023, 23(1): 30-37.
- [8] 刘桢志, 杨树果. 乡村数字化对农业绿色低碳发展的影响——基于耦合协调度和中介效应模型的实证[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(5): 1211-1219.

- [9] 高岳林, 秦取名, 王苗苗. 数字经济对产业结构优化升级的影响研究[J]. 统计与决策, 2023(22): 30-35.
- [10] 费威, 安芷萱. 农村数字经济与农业绿色发展的耦合协调研究[J]. 农林经济管理学报, 2024, 23(3): 317-325.
- [11] 宋敏, 刘欣雨. 数字经济赋能农业韧性机制研究——基于人力资本的中介效应分析[J]. 江苏社会科学, 2023(1): 103-112.
- [12] 刘颖, 徐少雄. 数字经济发展对中国农业碳排放的影响研究[J/OL]. 中国农业资源与区划, 2024.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20240710.1901.002.html>, 2024-11-15.
- [13] 郭海红, 盖凌云. 山东省农业绿色低碳转型评价及驱动因素分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(2): 240-251.
- [14] 林丹, 吴武林, 孙倩. 乡村振兴背景下中国农业绿色现代化测度与时空特征研究[J]. 华北金融, 2024(7): 68-76.
- [15] 温忠麟, 方杰, 谢晋艳, 欧阳劲樱. 国内中介效应的方法学研究[J]. 心理科学进展, 2022(8): 1692-1702.