

乡村数字化建设是否激励了黄河流域经济作物产出？

陈 晔¹, 乐宣妍²

¹江苏大学财经学院, 江苏 镇江

²苏州大学商学院, 江苏 苏州

收稿日期: 2026年5月8日; 录用日期: 2026年6月10日; 发布日期: 2026年6月24日

摘 要

锚定农业现代化目标增进农民福祉, 数字乡村战略对经济作物产出具有激励作用, 是促进乡村发展的重要路径。基于2010~2022年黄河流域省级面板数据, 从农村数字基础设施建设、农业生产数字化和农村生活数字化三个维度构建乡村数字化指标体系, 采用双向固定效应模型和调节效应模型实证分析乡村数字化对经济作物产出的影响机制。研究表明: (1) 研究期限内黄河流域的乡村数字化水平呈稳步向好的发展态势, 数字乡村建设区域总体差异明显, 且存在逐步扩大的趋势; (2) 乡村数字化建设对经济作物产出具有显著的正向作用, 优化经济作物种植结构并提高生产效益, 在经过稳健性检验后, 该结论依然成立; (3) 农村数字基础设施建设、农村生活数字化和农业生产数字化对经济作物产出均具有显著的正向作用, 其影响效应依序抵减; (4) 数字乡村建设具有区域异质性, 乡村数字化水平显著推动下游地区经济作物种植结构的优化, 但限制了生产效益的发挥, 对上游地区经济作物产出存在显著的正向作用; (5) 城镇化水平、财政支农力度能够加大乡村数字化建设对黄河流域经济作物产出的激励作用。应补齐乡村数字基础设施短板, 把握数字技术和数据要素赋能智慧乡村转型, 形成区域合作机制并推动数字产业多业态融合, 为黄河流域经济作物的产出提质增效, 加速实现乡村振兴和农业农村现代化。

关键词

乡村数字化, 经济作物, 粮食产出, 黄河流域

Does Rural Digitalization Development Stimulate Cash Crop Output in the Yellow River Basin?

Ye Chen¹, Xuanyan Le²

¹School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

²School of Business, Soochow University, Suzhou Jiangsu

Received: May 8, 2026; accepted: June 10, 2026; published: June 24, 2026

Abstract

Anchoring the goal of agricultural modernization and improving farmers' well-being, the digital rural strategy incentivizes cash crop output and serves as a vital approach to rural development. Based on the provincial panel data of the Yellow River Basin from 2010 to 2022, the rural digitalization index system was constructed from three dimensions: rural digital infrastructure construction, agricultural production digitalization and rural life digitalization. The individual and temporal bidirectional fixed effect model and regulatory effect model were used to empirically analyze the impact mechanism of rural digitalization on cash crop output. The research results indicate that: (1) During the study period, the rural digitization level in the Yellow River Basin showed a steady and good development trend, and the overall difference of the digital village construction region was obvious, and there was a trend of gradual expansion; (2) The digital construction of rural areas has a significant positive effect on the output of cash crops, optimizing the planting structure of cash crops and improving the production efficiency. This conclusion is still valid after the robustness test; (3) The construction of rural digital infrastructure, digitalization of rural life and digitalization of agricultural production all have significant positive effects on the output of cash crops, and their effects decrease in order; (4) Digital rural construction has regional heterogeneity. The digital level of rural areas significantly promotes the optimization of the planting structure of cash crops in downstream areas, but limits the play of production benefits, and has a significant positive effect on the output of cash crops in upstream areas; (5) The level of urbanization and financial support for agriculture can increase the incentive effect of rural digital construction on the output of cash crops in the Yellow River Basin. It is necessary to make up for the shortcomings of rural digital infrastructure, grasp digital technology and data elements to enable smart rural transformation, promote the integration of multiple formats of digital economy, strictly adhere to the bottom line of grain planting scale, improve the quality and efficiency of cash crop output in the Yellow River Basin, and accelerate the realization of rural revitalization and agricultural and rural modernization.

Keywords

Rural Digitization, Cash Crop, Food Output, Yellow River Basin

Copyright © 2026 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

黄河流域兼具农业主产区与自然资源开发密集区双重特征, 是我国区域发展战略格局的关键支撑, 其农作物总播种面积为 58.31 万平方千米, 于全国农作物播种面积占比超过 30%。据相关数据显示, 黄河流域水土流失总面积为 25.55 万平方千米, 水资源开发利用率高达 80%, 生态环境承载力严重不足, 掠夺式经营制约了作物的可持续生产能力[1]。且黄河流域农业发展不平衡不充分现状突出, 低端生产要素投入下农户收入水平较低, 大多数区域低于全国平均水平, 促进农民增收成为解决农业、农村、农民问题的核心[2]。《黄河流域生态保护与高质量发展规划纲要》¹中指出要突出高质量发展特色, 推广优质

¹https://www.mee.gov.cn/zcwj/zygwj/202110/t20211009_955779.shtml

品种种植并优先发展高附加值种植业。面对生态环境脆弱、资源约束收紧等内外部风险的压力, 实现黄河流域经济发展、生态环境和粮食产出间的良性互动成为首要课题。

在 5G、人工智能、大数据等信息技术的广泛应用和深度拓展的背景下, 数字经济蓬勃发展, 2022 年我国数字经济规模突破 50 万亿。黄河流域各省级行政区把握数字经济发展的环境红利, 山东、河南和四川数字经济规模跨过 1 万亿元大关, 多地增速超过全国平均水平。数字乡村建设作为农业与农村数字化转型的战略方向, 为解放和发展数字生产力、激发乡村振兴内生动力奠定基础。本文以黄河流域为地域单元, 构建数字乡村指标体系, 并测算乡村数字化水平的动态演变和时空差异, 运用固定效应和调节效应模型厘清数字经济和农业融合发展的现实逻辑, 对于发挥经济作物产出的激励作用推动农业农村现代化发展, 实现农业强、农村美、农民富的宏伟蓝图具有重要的理论与应用价值。

2. 文献综述

数字乡村建设以大数据为依据, 在农业与农村领域深入应用新一代科学技术, 提升乡村治理与公共服务水平, 成为传统产业转型的新引擎和实现乡村振兴的新动能, 引起了学者们的广泛关注, 对数字乡村发展水平指标体系的构建和测度进行了深入的探索。Rijwijk 等[3]构建了“社会-信息-物理”系统, 将数字化转型与社会经济发展模式相联系, 加强数字乡村与嵌入环境的责任治理实现高质量经济发展。李旭辉和陈梦伟[4]以资源节约和环境保护的理念为出发点, 把握数字基础设施、乡村治理数字化、乡村经济数字化和乡村生态数字化测度乡村数字化指数。早期对数字乡村的研究多为定性或规范分析, 自“数字中国”建设提出以来, 学者们从信息知识和技能、乡村治理、低碳农业、产业融合[5]-[7]等角度探索数字技术与乡村生产、生活和生态有机结合的实现路径。

农业作为国民经济建设与发展的基础性产业, 生产是第一要务, 解决农业产出问题是深入推进农业供给侧改革的基础和保证。近年来, 关于农业产出的研究多聚焦于种植结构变化的特征和影响, 从气候变化、水土资源、生产要素、基础设施建设[7]等角度探讨导致农业产量和经济效益差异化的影响机制。宁才旺等[8]指出农户农业保险参与度显著影响农作物种植结构, 政策性保险将促进水稻种植面积和比例的扩大。Xu 等[9]以长江中下游为例, 探究了农业生产性服务与农业环境绩效之间的作用传导机制, 应加速市场化进程保证农业资源的自由流动, 有效抑制资源错配现象的产生。同时, 设施农业技术作为助推农业农村现代化的关键支撑技术, 使得农业种植效益和保护生态效益有机结合[10]。

作物生产关系国计民生, 数字乡村建设进一步重塑了乡村社会经济发展模式, 对农业农村生产生活方式产生深刻影响, 两者之间的融合发展是新发展格局下农业高质量发展的必由之路。Ji 等[11]以农村电商示范县政策推广为准自然实验, 采用多期双重差分法挖掘电商发展对农业减肥的影响, 检验农产品边际收入、县域机械化水平和劳动力转移等发挥的中介效应。陈宇斌等[12]将数字乡村作为门槛, 分析农产品贸易与农业碳排放之间的关系, 发现该抑制作用存在空间溢出效应并在跨过数字乡村发展双门槛后得到强化。

综上所述, 当前研究关于数字乡村发展水平综合指标的涵盖范围存在一定不足, 缺少对数字乡村建设影响农业农村现代化发展的整体性分析, 且未深入探讨数字化对于经济作物这一高附加值作物品种的激励效应。研究区域多为宏观层面的全国范围或省(县)级区域, 未聚焦于我国的粮食主产区对乡村数字化的落实和农业产出之间的关系进行系统性研究。基于此, 本文从农村数字基础设施建设、农业生产数字化和农村生活数字化三个维度构建了乡村数字化发展水平评价体系, 分析该指标的时空演变特征及收敛效应, 实证检验乡村数字化建设对黄河流域经济作物产出激励效应的作用机制, 探索黄河流域经济作物产业长效发展机制, 该研究对于提升农业农村现代化水平、促进农业可持续发展具有重要的现实意义。

3. 研究设计

3.1. 模型构建

为检验乡村数字化建设对黄河流域经济作物产出的影响, 本文构建公式(1)双向固定效应模型。 Out_{it} 为解释变量经济作物产出效应, Dig_{it} 为被解释变量乡村数字化发展水平, X_{it} 为选取的控制变量, α_i 和 θ_t 分别为省级行政区和年份固定效应, α_0 为截距项, ε_{it} 为随机误差项。在公式(1)的基础上, 以财政支农水平和城镇化水平为调节变量, 建立如下调节效应模型公式(2)。其中, β_3 为交互项 $Dig_{it} \times R_{it}$ 的估计系数, 其他变量符号解释同上。

$$Out_{it} = \alpha_0 + \beta_1 Dig_{it} + \beta_2 X_{it} + \alpha_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$R_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \beta_2 R_{it} + \beta_3 Dig_{it} \times R_{it} + \beta_4 X_{it} + \alpha_i + \theta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

3.2. 变量选取

3.2.1. 被解释变量

经济作物产出效应。本文从种植结构和生产效益两个角度对经济作物产出效应进行衡量, 分别采用经济作物播种面积占农作物总播种面积的比例(seed)和经济作物的生产总产值(按当年价格计算)(value)的对数。

3.2.2. 核心解释变量

乡村数字化发展水平(village)。本文参考现有学者的研究[13] [14], 构建了包含农村数字基础设施建设、农业生产数字化和农村生活数字化 3 个一级指标和对应 12 个二级指标的乡村数字化水平指标体系, 如表 1 所示。并采用熵值法计算黄河流域各省区乡村数字化综合指数。

Table 1. Rural digital index system

表 1. 乡村数字化指标体系

子系统	维度	具体指标	指标方向
农村数字 基础设施建设	农村家庭移动电话普及率	每百户农村住户移动电话拥有量	+
	农村计算机普及率	每百万户年末计算机拥有量	+
	农村互联网普及率	农村互联网宽带接入用户数	+
	农村流通设施建设	农村投递路线长度	+
	农业气象监测站数	农业气象观测业务站点个数	+
农业生产数字化	农业生产投资力度	农林牧渔业固定资产投资额	+
	农业技术投资力度	农村交通运输、仓储和邮政业固定资产投资总额	+
	农业机械化程度	农业机械总动力	+
农村生活数字化	数字化服务	已通邮的行政村占比	+
	数字化金融	农村普惠金融数字指数	+
	数字化消费	农村居民家庭人均交通通信消费支出	+
	数字化平台	农村参加电子商务交易活动的企业比重	+

3.2.3. 调节变量

本文采用农业财政支出的对数衡量财政支农水平(Ingovern)。农业财政支出是政府为支持农业发展所进行投资活动和经济活动的总和, 经济作物补贴和粮食作物保险的设置将提升农作物产出效益, 促进农业高质量发展[15]。采用城镇人口与地区人口之比衡量城镇化水平(urban), 数字化建设是推动人口城镇化

的新路径, 城乡间人口要素流动有利于现代化农业发展模式和市场供给的持续优化[16]。

3.2.4. 控制变量

本文选择以下五个控制变量加入回归分析: 采用人均 GDP 的对数衡量经济发展水平(ln_{gdp}), 人均生产总值反应了地区生产活动所取得的经济成果, 为数字化乡村提供良好的经济基础。采用人均受教育年限衡量受教育水平(edu), 教育是优化人力资本结构的重要支撑, 乡村人口素质的提高将有利于其数字化信息获取能力和技术生产能力的提高。采用农村用电量(elect)衡量农业现代化水平。紧跟乡村数字化产业发展推进乡村电力基础设施建设, 有利于传统农业的转型升级。采用农作物受灾面积和农作物总播种面积的比值(pd_{isa})衡量农业风险水平, 农业作为受气候变化和自然灾害影响最大的产业, 因灾返贫、因灾致贫等情况使得农业种植和消费遭受严重的冲击。

3.2.5. 数据说明

鉴于数据的时效性和可获得性, 本文选取黄河流域 9 个省(区) 2010~2022 年的面板数据为研究样本, 数据来源于《中国统计年鉴》²《中国农村统计年鉴》³《北京大学数字普惠金融指数》⁴及各省级行政区统计年鉴等, 部分缺失数据采用插值法补齐。描述性统计如表 2 所示。

Table 2. Descriptive statistics

表 2. 描述性统计

变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
village	117	2.643	1.619	0.221	7.854
seed	117	3.021	1.667	0.273	7.615
value	117	1.916	1.658	0.069	6.374
elect	117	155.3	149.4	3.83	507.8
lngdp	117	10.726	0.371	9.69	11.48
edu	117	8.304	1.279	4.22	9.95
pd _{isa}	117	0.164	0.113	0	0.52
stru	117	0.905	0.024	0.86	0.96
urban	117	0.539	0.082	0.35	0.69
Ingovern	117	6.168	0.671	4.24	7.21

4. 实证结果及分析

4.1. 乡村数字化发展水平测度

第四次工业革命以来, 网络、数据和技术等新要素在农业领域得到了深入应用[17], 建立与乡村人口和种植结构相匹配的数字乡村发展模式, 有利于深度激发农业农村现代化转型的内生动力。基于此, 本文从农村数字基础设施建设、农业生产数字化和农村生活数字三个维度选取 12 个指标对黄河流域 9 个省(自治区)的乡村数字化发展水平进行测度, 如图 1 所示。同时, 利用 Arc GIS 绘制了黄河流域在 2010 年、2016 年和 2022 年 3 个关键年份的乡村数字化发展水平, 通过可视化分析进一步检验乡村数字化建设对经济作物产出的激励作用, 如图 2 所示。

在时间维度方面, 2010~2022 年黄河流域的乡村数字化发展水平呈稳步向好的发展态势。2010~2018

²<https://data.stats.gov.cn>

³同上。

⁴<https://idf.pku.edu.cn>

年, 各省级行政区乡村数字化发展水平持续提升, 受突发公共卫生危机影响该指标于 2019~2020 年有所回落, 经济和消费复苏后恢复上升态势。2012 年以来, 我国高度重视数字经济发展, 数字化转型赋能农村农业高质量发展, 农业要素的资源配置得到优化, 作物高质量生产依赖于生态系统提供的可持续支持。数字化和信息化建设对于增进黄河流域农村家庭的民生福祉尤为重要, 农民作为农业生产的参与者与直接的利益相关者, 数字化建设对农民收入增长起到重要的支撑作用, 培育了新型农业生产方式和商业模式, 这与黄河流域深刻把握乡村振兴与生态保护融合发展的时代机遇相一致[18]。

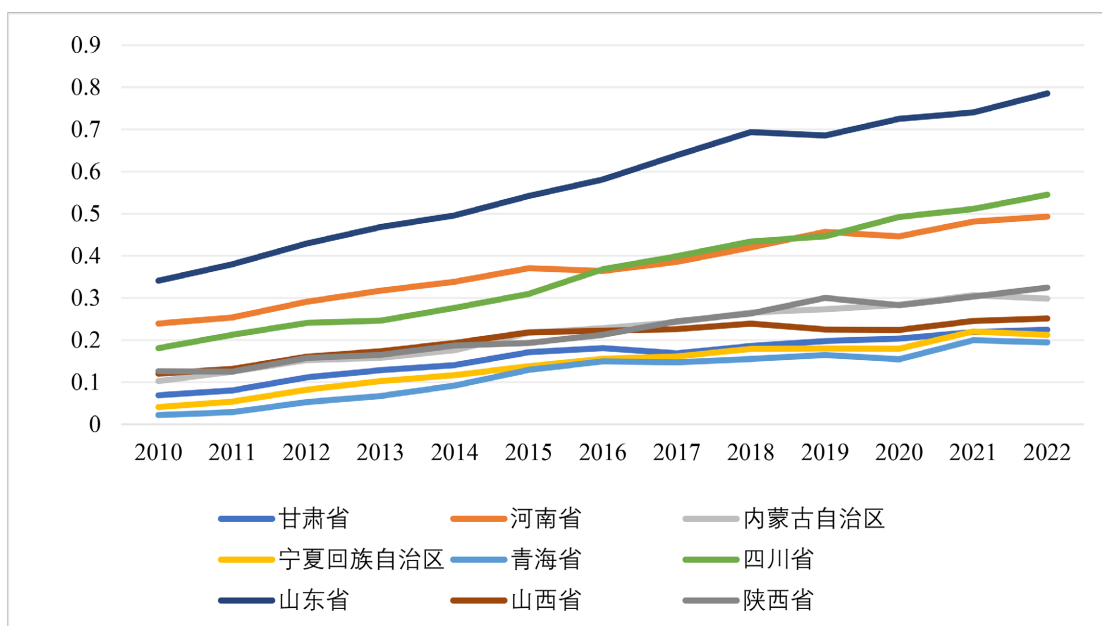


Figure 1. Rural digitalization development level in the yellow river basin during the study period
图 1. 研究期限内黄河流域乡村数字化发展水平

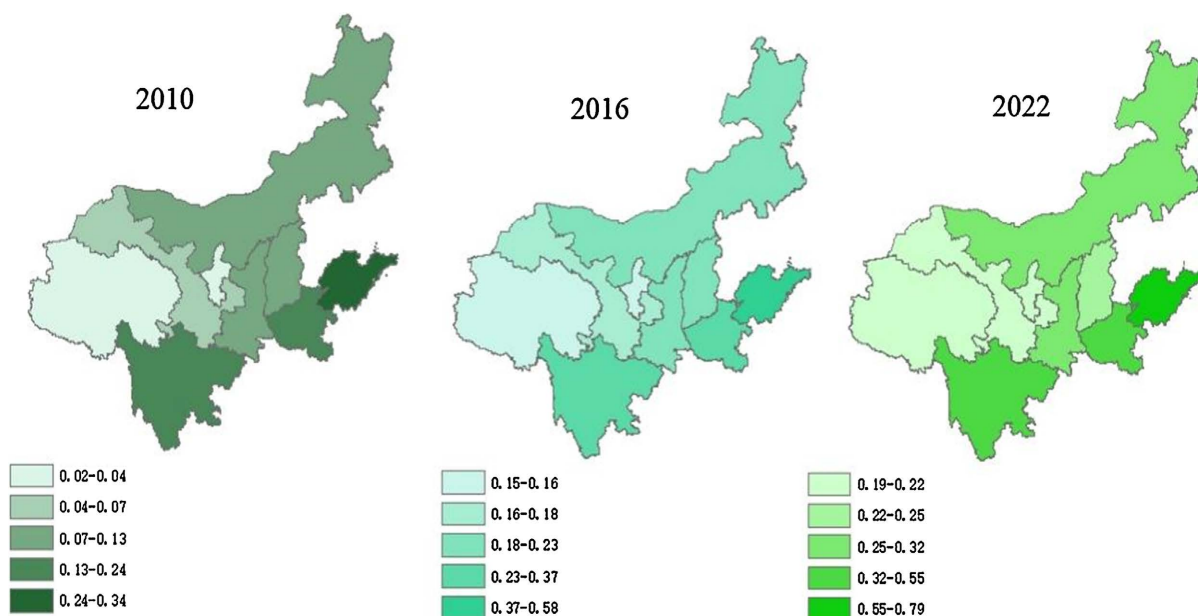


Figure 2. Rural digitalization development level of yellow river basin at key time points
图 2. 关键时点黄河流域乡村数字化发展水平

在空间分布方面, 山东省、四川省和河南省处于数字化高水平阶段, 其中山东省处于领先地位。该地区政策环境优势明显, 农业资源禀赋较好, 受益于规模经济的发展, 政策环境优势明显, 农业资源禀赋较好, 基础设施建设完善, 农民借此更好地获取作物生长信息并提高作物生产效率, 数农融合的强大动力拓展了数字技术应用场景并建立完善的数字乡村产业结构。其余省级行政区则处于数字化发展阶段, 在劳动力刚性约束持续增强背景下, 其所处的地理区位和经济发展水平限制了该地区的农村数字化建设。随着对农业生产生活数字化和生态红线的重视程度不断提高, 国家财政的倾斜有利于发展特色数字化产业, 科技成果转化速度明显加快, 智慧农业的推广为提升乡村地区经济效益和农民收入奠定基础。

在总体收敛性方面, 由于发展起点不同和地区增速不平衡, 各省级行政区的乡村数字化发展水平存在一定差异且存在扩大趋势。随着经济社会快速发展, 国家加大宏观政策和财政支持力度, 快速推进乡村数字化建设, 打造黄河流域沿岸生态经济带, 先发省级行政区的数字化科学技术和服务体系示范效应逐步向周边后发地区扩散, 存在一定追赶和收敛的潜力, 但地区间在经济发展、资源禀赋、基础设施建设、财政支农水平、数字化重视程度和应用成本等多方面存在较大差异[19], 数字乡村建设水平较低的省级行政区在短期内难以追赶上数字乡村建设水平较高的省级行政区。

4.2. 基准回归

在对公式(1)进行回归前, 本文先进行了 Hausman 检验, 结果显示应采用固定效应模型进行参数估计。因此本文控制了时间固定效应和个体固定效应, 表 3 汇报了乡村数字化建设对黄河流域经济作物种植面积比例和生产总值影响的基准回归结果。

Table 3. Benchmark regression

表 3. 基准回归

变量	(1) 种植结构	(2) 生产效益	(3) 种植结构	(4) 生产效益
village	0.016*** (3.89)	0.718*** (8.05)	0.018*** (4.82)	0.671*** (10.63)
elect			-0.022*** (-3.62)	0.910*** (8.45)
lngdp			-0.052*** (-2.88)	0.973*** (3.13)
edu			-0.005 (-0.83)	-0.049 (-0.46)
pdisa			0.018 (0.95)	0.296 (0.88)
常数项	0.249*** (32.75)	0.229 (1.38)	0.838*** (4.58)	-10.492*** (-3.31)
时间效应	控制	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制	控制
样本量	117	117	117	117
R ²	0.730	0.749	0.796	0.881

注: 括号内为 t 值, ***, **, * 依次表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

其中,第(1)列和第(2)列分别表示在无控制变量时乡村数字化建设对经济作物种植结构和生产效益的估计结果。第(3)列考察了在加入控制变量后,乡村数字化建设对经济作物种植结构的估计系数在1%水平显著为正,说明乡村数字化建设对经济作物种植结构具有显著的正向作用,在满足自给自足的条件下跨省流通作物产出,引进规模经济的优势规避高能耗和高污染的粗放式生产模式。同时,国家出台农作物良种补贴政策,与经济作物需求弹性大的特征相适应,有利于扩大经济作物种植比例且提高单位面积产量。第(4)列考察了在加入控制变量后,乡村数字化建设对经济作物生产效益的估计系数同样在1%水平显著为正,说明乡村数字化建设对经济作物生产效益具有显著的正向作用,数农深度融合能够充分发挥经济作物的生产周期短、附加值高这一优势,提升与资源要素间的协调性,降低农业生产成本并合理控制生产风险,进一步促进农民经营性收入水平的提高,缓解黄河流域相对贫困的现实状况,这与宋碧青和龙开胜的研究结论一致[20]。

在控制变量中,农业现代化水平对经济作物种植结构起到显著的负向作用,对生产效益起到显著的正向作用。较高的农业用电成本和老旧的农业用电设备严重影响了经济作物生产对电力的需求[21],推进乡村数字化基础设施建设有利于现代化农业生产效率和经济效益的提高。经济发展水平对经济作物种植结构起到显著的负向作用,对生产效益起到显著的正向作用。经济迅速发展的背景下,农民收入水平的提高和社会资本的流入促进了乡村产业多样化发展。受教育水平对经济作物种植结构和生产效益的影响为负,但均不显著。乡村人口对数字化技术的认知不足,很难在短时间内转变传统种植结构。农业风险水平对经济作物种植结构和生产效益的影响为正,但均不显著。自然灾害发生的频率和范围具有相对不确定性,因此很难得出每年农作物的受灾面积对农业生产影响的规律性[22]。

4.3. 乡村数字化各侧面对经济作物产出的影响估计

为考察乡村数字化建设各侧面对黄河流域经济作物产出的影响是否存在差异,本文将乡村数字化建设所涵盖的三个维度分别对经济作物的种植结构和生产效益进行回归。回归结果如表4所示,农村数字基础设施建设、农业生产数字化和农村生活数字化对经济作物产出均具有显著的正向作用,且农村数字

Table 4. Estimation of the impact of various dimensions of rural digitalization on cash crop output

表 4. 乡村数字化各侧面对经济作物产出的影响估计

变量	(1) 种植结构	(2) 种植结构	(3) 种植结构	(4) 生产效益	(5) 生产效益	(6) 生产效益
infra	0.136*** (4.45)			4.732*** (7.87)		
produ		0.065* (1.69)			2.361*** (2.72)	
life			0.109*** (3.45)			4.197*** (6.50)
elect	-0.033*** (-4.77)	-0.020*** (-2.87)	-0.014** (-2.14)	0.560*** (4.14)	1.016*** (6.55)	1.217*** (8.84)
lngdp	-0.068*** (-3.64)	-0.045** (-2.26)	-0.048** (-2.53)	0.407 (1.10)	1.218*** (2.70)	1.117*** (2.90)
edu	-0.003 (-0.44)	-0.007 (-0.99)	-0.007 (-1.06)	0.036 (0.29)	-0.115 (-0.73)	-0.119 (-0.89)

续表

pdisa	0.014 (0.71)	0.018 (0.86)	0.018 (0.89)	0.129 (0.33)	0.294 (0.61)	0.289 (0.70)
常数项	1.005*** (5.29)	0.792*** (3.90)	0.819*** (4.25)	-4.721 (-1.26)	-12.200*** (-2.66)	-11.241*** (-2.86)
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
地区效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	117	117	117	117	117	117
R ²	0.789	0.751	0.773	0.841	0.753	0.817

注：括号内为 t 值，***、**、* 依次表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

基础设施建设对经济作物产出的影响作用最大，其次为农村生活数字化和农业生产数字化。(1) 在农村数字基础设施建设方面，黄河流域地处偏远、人口稀疏的天然劣势使得数字化基础设施建设成本高且维护难度大，因此推进农村基础设施建设是一项长期且系统的工程。推进高质量高标准农田和配套水力、电力和道路建设有利于增强经济作物生产的规模性和收益性，进而实现农业增产和农业减贫[23]。(2) 在农业生产数字化方面，传统作物种植多依靠农民生产经验，缺乏信息技术的支持，难以量化农业风险，专业化农业生产领域复合型人才较少。数字化生产全面整合区域内外部农业资源有效盘活存量资产并提高生产效率，推动农业生产低碳化转型与新型农业生产经营模式接轨，发挥数字化农业经济增长的服务功能。(3) 在农村生活数字化方面，黄河流域经济基础较为薄弱，把握信息红利下沉乡村弥补城乡间数字鸿沟，建立数字共享和网络营销平台激发农村生活数字化活力，重塑了农民的日常生活和生产节奏，因地制宜挖掘特色产业拓展农业价值链，打破传统种植和销售活动的物理空间限制扩大经济作物终端需求，加速农业资本保值增值培育新的经济增长点[24]。

5. 稳健性和异质性检验

5.1. 稳健性检验

为了增强所得结论的稳定性和可靠性，本文采用解释变量滞后一期、缩短时间窗口和增加控制变量进行稳健性检验，分析乡村数字化建设是否会对黄河流域经济作物产出产生不同的影响，检验结果如表 5 所示。

(1) 鉴于乡村数字化建设引起经济作物产出的变化可能存在滞后性，因此将自变量滞后一期作为解释变量进行回归分析，第(1)，(2)列结果显示，滞后一期的乡村数字化发展水平均在 1% 水平显著为正，表明当期乡村数字化建设有利于激励黄河流域经济作物产出，验证了回归结果的稳健性。(2) 农业农村农民问题是关系国计民生的根本性问题，自从提出建设“数字乡村”，我国乡村数字化迅速发展，助力乡村振兴的实现。因此，本文以 2018 年为节点，考察该战略提出后对经济作物产出的影响，如第(3)，(4)列所示，village 系数为正且显著，随着农业的内在属性向盈利性转变，经济理性和生存理性使得经济作物生产规模扩大[25]，这与前文分析结果一致，表明回归结果所得结论依然稳健。(3) 在原有控制变量的基础上，增加控制变量：产业结构(stru)，如第(5)，(6)列所示，乡村数字化建设对经济作物产出的影响效果仍显著为正，数字产业具有渗透能力强的特征，使得传统生产要素资源从边际收益较低的行业向边际收益较高的行业转移，进一步支持了基准估计结果的稳健性。

Table 5. Robustness test
表 5. 稳健性检验

变量	(1) 种植结构	(2) 生产效益	(3) 种植结构	(4) 生产效益	(5) 种植结构	(6) 生产效益
L.village	0.017*** (4.13)	0.014*** (3.14)				
village			0.919*** (7.94)	0.549*** (2.90)	0.847*** (25.11)	0.580*** (8.70)
elect	-0.020*** (-2.99)	-0.017** (-2.49)	0.000 (0.44)	0.008*** (4.92)	-5.131*** (-2.79)	11.437*** (3.15)
lngdp	-0.051** (-2.61)	-0.051** (-2.38)	0.363 (0.73)	-1.281 (-1.58)	0.001*** (2.71)	0.008*** (7.41)
edu	-0.004 (-0.60)	-0.005 (-0.72)	-0.036 (-0.25)	0.264 (1.13)	0.507*** (2.66)	0.242 (0.64)
pdisa	0.003 (0.16)	0.023 (1.02)	0.647 (1.43)	-0.924 (-1.25)	0.099* (1.89)	0.005 (0.05)
stru					-5.131*** (-2.79)	11.437*** (3.15)
常数项	0.836*** (4.10)	0.858*** (3.75)	-3.139 (-0.55)	10.853 (1.17)	-1.056 (-0.66)	-13.370*** (-4.23)
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
地区效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	108	108	44	44	117	117
R ²	0.767	0.732	0.845	0.847	0.985	0.893

注：括号内为 t 值，***、**、* 依次表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

5.2. 异质性检验

黄河流域作为中国生态环境和高质量发展的重点建设区域，在地理位置、资源禀赋和农业基础等多方面存在较大差异，使得数字乡村建设和经济作物产出存在区域异质性，因此将黄河流域划分为上、中、下游三个地区，进一步考察乡村数字化建设对黄河流域经济作物产出的激励作用。表 6 为异质性检验的回归结果。

由第(1)列和第(3)列可以看出，乡村数字化水平对经济作物种植结构起到显著的正向作用，且对下游地区的作用大于上游地区。下游地区为黄河流域粮食生产的核心区域，充分利用数字化技术扩大经济作物的种植面积满足社会消费需求。上游地区多为农牧区和自然生态保护区，土壤盐碱化和荒漠化问题突出，种植业发展条件存在先天不足，较难在短期内转变传统农业模式。而第(2)列中，乡村数字化水平的估计系数为负且不显著，说明中游地区的乡村数字化建设对经济作物种植结构的影响不显著。耕地作为生态修复与经济产出的重要载体[26]，资源型城市的快速发展却使得耕地面积大幅减少，耕地地力透支现象凸显，未能发挥数字乡村建设的环境红利，数字信息技术与劳动力、土地、资本等资源要素尚未实现深度融合。

Table 6. Heterogeneity test
表 6. 异质性检验

变量	(1) 上游地区	(2) 中游地区	(3) 下游地区	(4) 上游地区	(5) 中游地区	(6) 下游地区
village	0.015* (1.72)	-0.006 (-0.53)	0.044** (3.47)	0.501*** (7.49)	1.244** (3.05)	-0.177 (-1.03)
elect	-0.056*** (-3.43)	-0.025 (-1.52)	0.022 (1.81)	1.281*** (10.37)	-0.628 (-1.05)	-0.103 (-0.62)
lngdp	-0.050* (-1.89)	0.079** (2.63)	-0.139* (-2.02)	1.159*** (5.73)	0.900 (0.83)	2.774** (2.95)
edu	0.011 (0.83)	0.018* (2.09)	-0.009 (-0.43)	-0.003 (-0.03)	-0.040 (-0.13)	-0.150 (-0.55)
pdisa	0.056** (2.08)	0.086** (2.56)	0.023 (0.26)	-0.614*** (-3.01)	1.049 (0.86)	0.159 (0.13)
常数项	0.745** (2.53)	-0.738* (-2.10)	1.553* (2.25)	-11.998*** (-5.35)	-9.353 (-0.74)	-23.616** (-2.51)
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
地区效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	65	26	26	65	26	26
R ²	0.822	0.963	0.980	0.968	0.952	0.994

注：括号内为 t 值，***、**、*依次表示在 1%、5%、10%的水平上显著。

由第(4)列和第(5)列可以看出，乡村数字化水平对经济作物生产效益起到显著的正向作用，且对中游地区的作用大于上游地区。中游地区生态环境治理压力较大，水土流失与供需矛盾问题突出，乡村数字化建设将推动农业生产、生活和生态有机结合，并对上游地区起到示范和拉动作用，具有较强的后发优势。而第(6)列中，乡村数字化水平的估计系数为负且不显著，说明下游地区的乡村数字化建设对经济作物生产效益的影响不显著。下游地区乡村数字化基础良好，农业现代化、规模化程度高，多凭借高新技术支撑发展第三产业，致使当前的数字化发展水平未能对经济作物的产出起到激励作用。这一反常结果可能源于两方面原因：一是下游地区农业生产结构相对固化，数字化投入更多流向二三产业而非种植业；二是当数字化水平超过一定阈值后，其对农业生产效益的边际贡献可能递减，呈现出“数字化悖论”特征。因此，下游地区未来的政策重点应从“扩大数字化覆盖”转向“优化数字化应用结构”，推动数字技术与经济作物种植的深度融合，以充分发挥数字化对农业生产效益的激励作用。

5.3. 影响机制检验

前文已表明乡村数字化建设可以激励黄河流域经济作物产出。为进一步分析乡村数字化建设对经济作物产出的影响机制，本文建立调节效应模型，表 7 为调节效应的检验结果。

其中，乡村数字化水平与城镇化水平的交互项均显著为正，表明城镇化水平对乡村数字化建设激励黄河流域经济作物产出起到显著的正向作用。乡村与城市作为互利共生的有机统一体，高附加值农产品需求的扩大使得农民更倾向于种植经济作物，通过集约化和多样化的土地利用获得规模效益，最终达到

城乡共同富裕。财政支农水平对乡村数字化建设扩大黄河流域经济作物的种植面积起到显著的负向作用, 而对乡村数字化建设提升生产效益起到显著的正向作用。为规避农业生产经营多重风险, 粮食种植和保护性耕作等补贴会抑制经济作物种植面积扩大的可能性, 加大农业资本要素投入将转变传统农业耕作方式, 机械化和数字化水平赋能经济作物增产提效[27], 促进农业现代化转型升级。

Table 7. Influence mechanism test
表 7. 影响机制检验

变量	(1) 种植结构	(2) 生产效益	(3) 种植结构	(4) 生产效益
village × urban	0.048** (2.11)	0.883** (2.25)		
village × lngovern			-0.115*** (-3.94)	1.977*** (3.88)
village	0.009* (1.69)	0.514*** (5.55)	0.036*** (5.65)	0.275** (2.46)
elect	-0.023*** (-3.72)	0.897*** (8.30)	-0.007 (-1.10)	0.702*** (5.99)
lngdp	-0.037* (-1.67)	1.262*** (3.31)	-0.048*** (-2.87)	0.953*** (3.30)
edu	-0.002 (-0.29)	0.011 (0.10)	-0.006 (-0.99)	0.062 (0.59)
pdisa	0.013 (0.68)	0.198 (0.59)	0.027 (1.50)	0.269 (0.86)
urban	0.100 (0.70)	1.626 (0.66)		
lngovern			-0.527*** (-2.77)	-0.822 (-0.25)
常数项	0.625*** (2.93)	-14.473*** (-3.93)	1.059*** (5.68)	-10.163*** (-3.13)
时间效应	Yes	Yes	Yes	Yes
地区效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	117	117	117	117
R ²	0.806	0.887	0.830	0.900

注: 括号内为 t 值, ***, **, *依次表示在 1%、5%、10%的水平上显著。

6. 结论

本文将数字乡村建设刻画为农村数字基础设施建设、农业生产数字化和农村生活数字化三个维度, 采用熵值法测算了黄河流域乡村数字化发展水平, 在此基础上利用双向固定效应模型和调节效应模型分析乡村数字化对经济作物产出的影响, 研究结果显示: (1) 2010~2022 年, 黄河流域的乡村数字化水平呈

稳步向好的发展态势, 数字乡村建设成效显著, 乡村数字化发展水平区域总体差异明显, 且存在逐步扩大的趋势; (2) 基准回归结果表明, 乡村数字化建设对经济作物产出具有显著的正向作用, 优化经济作物种植结构并提高生产效益, 在通过解释变量滞后一期、缩短时间窗口和增加控制变量等稳健性检验后, 该结论依然成立; (3) 分维度探究发现, 农村数字基础设施建设、农村生活数字化和农业生产数字化对经济作物产出均具有显著的正向作用, 其影响效应依序抵减; (4) 异质性检验发现, 乡村数字化水平显著推动下游地区经济作物种植结构的优化, 但限制了生产效益的发挥, 对上游地区经济作物产出存在显著的正向作用; (5) 机制检验结果表明, 提高城镇化水平、加大财政支农力度, 有利于充分发挥乡村数字化建设对黄河流域经济作物产出的激励作用。

基于前文分析和相关结论, 本文提出以下建议: (1) 加强顶层设计打造适合我国农业高质量发展的新模式, 在数字化发展的环境红利下利用财政支农提升数字乡村的渗透广度和深度。(2) 补齐乡村数字基础设施短板, 扩大网络信号和道路覆盖面, 持续积累农业发展要素打造精准化专业化生产, 优化农业资源配置建设宜居乡村。(3) 把握数字技术和数据要素核心效能赋能智慧乡村与智慧农业建设, 以数据收集、处理和监管一体化运作激发农业数字化生产力, 促进农作物种植结构和农产品供给结构转型升级。(4) 围绕数字化应用场景, 以农村电商、数字金融等为抓手探索乡村数字经济产业融合新业态, 拓展农业生产产业链并完善乡村社会治理体系。(5) 以当地资源禀赋为依托, 在保障粮食供应基础上发展特色经济作物产业, 契合社会传统文化因地制宜拓展数字化发展边界, 为经济作物的产出提质增效。(6) 加强区域间协调与合作, 形成产业集聚发展格局, 同时统筹作物播种面积和经济效益的差异化与动态化水平变化, 实现黄河流域农业农村现代化协同发展的良性互动。

参考文献

- [1] 赵梦梨, 姚彩慧, 苗成林. 数字技术与农业现代化的相关性及其空间效应——以黄河流域为例[J]. 枣庄学院学报, 2023, 40(2): 67-77.
- [2] 牛文浩, 申淑虹, 罗岚, 等. 地形差异视角下耕地流转对农户收入差距的影响及其分解——以黄河流域中上游1879份农户数据为例[J]. 自然资源学报, 2023, 38(5): 1262-1282.
- [3] Rijswijk, K., Klerkx, L., Bacco, M., Bartolini, F., Bulten, E., Debruyne, L., *et al.* (2021) Digital Transformation of Agriculture and Rural Areas: A Socio-Cyber-Physical System Framework to Support Responsibilisation. *Journal of Rural Studies*, **85**, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.05.003>
- [4] 李旭辉, 陈梦伟. 中国乡村数字化转型: 测度、区域差异及推进路径[J]. 农业经济问题, 2023(11): 89-104.
- [5] 李云芳. 农民数字素养赋能数字乡村建设的内在逻辑与实践路径[J]. 智慧农业导刊, 2024, 4(3): 93-96.
- [6] Zhao, L., Rao, X. and Lin, Q. (2023) Study of the Impact of Digitization on the Carbon Emission Intensity of Agricultural Production in China. *Science of the Total Environment*, **903**, Article 166544. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166544>
- [7] 田野, 叶依婷, 黄进, 等. 数字经济驱动乡村产业振兴的内在机理及实证检验——基于城乡融合发展的中介效应[J]. 农业经济问题, 2022(10): 84-96.
- [8] 宁才旺, 胡文斌, 熊飞雪, 等. 政策性农业保险、农户分化对粮食单产的影响——以江西为例[J]. 农业现代化研究, 2024, 45(2): 197-209.
- [9] Xu, B., Baležentis, T., Štreimikienė, D. and Shen, Z. (2024) Enhancing Agricultural Environmental Performance: Exploring the Interplay of Agricultural Productive Services, Resource Allocation, and Marketization Factors. *Journal of Cleaner Production*, **439**, Article 140843. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140843>
- [10] 韩述源, 崔鹏飞. 利用设施农业技术提升农业种植效益的措施[J]. 南方农机, 2023, 54(13): 74-77.
- [11] Ji, X., Xu, J. and Zhang, H. (2023) Environmental Effects of Rural E-Commerce: A Case Study of Chemical Fertilizer Reduction in China. *Journal of Environmental Management*, **326**, Article 116713. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116713>
- [12] 陈宇斌, 王森, 陆杉. 农产品贸易对农业碳排放的影响——兼议数字乡村发展的门槛效应[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(6): 45-57.

- [13] 郭海红. 数字乡村建设、资源要素错配与农业绿色全要素生产率[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2024, 24(1): 102-116.
- [14] 丛海彬, 黄萍, 邹德玲. 基于中国省级面板数据对数字乡村建设促进城乡共同富裕的研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2024, 47(1): 84-93.
- [15] Zhang, Z., Chen, Y. and Tian, Y. (2023) Effect of Agricultural Fiscal Expenditures on Agricultural Carbon Intensity in China. *Environmental Science and Pollution Research*, **31**, 10133-10147. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25763-6>
- [16] 王海平, 陈斯友, 许标文, 等. 福建省城镇化发展与县域粮食产出——基于门槛模型的非线性影响分析[J]. 福建农林大学学报(哲学社会科学版), 2022, 25(1): 39-47.
- [17] 赵成伟, 许竹青. 高质量发展视阈下数字乡村建设的机理、问题与策略[J]. 求是学刊, 2021, 48(5): 44-52.
- [18] 田鸽, 张勋. 数字经济、非农就业与社会分工[J]. 管理世界, 2022, 38(5): 72-84+311.
- [19] 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.
- [20] 宋碧青, 龙开胜. “非粮化”种植对农民收入的影响: 一个宏观比较视角的分析[J]. 农业现代化研究, 2023, 44(2): 244-253.
- [21] 李睿. 我国粮食主产区农业生产要素投入的产出效应分析[J]. 南方农业学报, 2016, 47(1): 153-158.
- [22] 邓远建, 超博. 灰水足迹视角下我国省域农业生态效率及其影响因素[J]. 中国农业科学, 2022, 55(24): 4879-4894.
- [23] Peng, J. and Qin, X. (2022) Research on Poverty Alleviation Effect of Agricultural Infrastructure since the 21st Century. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, **43**, 206-215.
- [24] 刘彦林. 农村数字化提升农民生活水平的效果评价及机制研究[J]. 贵州社会科学, 2022(2): 160-168.
- [25] 徐晓鹏. 小农户与新型农业经营主体的耦合——基于中国六省六村的实证研究[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2020, 20(1): 62-68.
- [26] 关小克, 王秀丽, 赵玉领. 黄河沿岸“非粮化”耕地形态特征识别与优化调控研究[J]. 农业机械学报, 2021, 52(10): 233-242.
- [27] 黄寿峰. 财政支农、金融支农促进了农民增收吗?——基于空间面板分位数模型的研究[J]. 财政研究, 2016(8): 78-90.