

数字乡村建设的农业减污降碳 协同效应及机制研究

李谷成¹, 李欠男², 田云³

(1. 华中农业大学 经济管理学院/数字农业研究院, 武汉 430070;

2. 湖北文理学院 经济管理学院, 襄阳 441053;

3. 中南财经政法大学 工商管理学院, 武汉 430073)

[摘要] 推进农业减污降碳协同是实现农业绿色低碳转型的关键, 数字乡村建设为农业减污降碳协同提供了新的契机。本文首先分析了数字乡村建设影响农业减污降碳协同的理论逻辑, 然后基于2011—2023年中国大陆30个省份的面板数据, 实证检验了二者之间的关系及其背后的作用机制。研究发现: 第一, 数字乡村建设对农业减污降碳协同存在显著的正向效应, 这一结论在采用工具变量法和稳健性检验后仍然成立。第二, 数字乡村建设能够通过技术效应和规模效应促进农业减污降碳协同。第三, 数字乡村建设的农业减污降碳协同效应在粮食主产区、高横向集聚和高纵向集聚的地区更为明显。基于此, 建议以数字化推动农业减污降碳协同、注重发挥技术效应和规模效应的作用以及采取差异化的发展策略促进农业绿色低碳转型。

[关键词] 数字乡村建设; 减污降碳; 协同效应; 技术效应; 规模效应

[中图分类号] F323.3

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-6973(2025)06-0111-10

一、引言

随着全球气候变化的加剧和环境污染问题的日益突出, 中国生态文明建设迈入协同推进减污降碳的新阶段。^[1] 2022年《减污降碳协同增效实施方案》明确指出, 推进农业领域减污降碳协同增效。作为农业大国, 中国在农业发展过程中呈现出“高污高碳”特征。同时, 农业面源污染与碳排放具有高度的同根同源特性, 这为农业减污降碳协同提供了现实依据。^[2] 然而, 目前农业减污降碳协同治理水平较低, 减污与降碳协同控制处于不协调状态。^[3] 因此, 亟须协同推进农业减污降碳, 探寻农业减污降碳协同的实现路径。

[收稿日期] 2025-09-03

[基金项目] 全国文化名家暨“四个一批”人才自主选题资助项目“中国农业增长与效率研究”、教育部哲学社会科学重点研究基地重大项目“中国式农业现代化与农业发展理论创新研究”(2024JZDZ060)、国家社会科学基金“中国农业减排固碳潜力评估、实现路径及支持政策研究”(23BGL189)。

[作者简介] 李谷成(1982—), 男, 湖南长沙人, 教授, 博士, 主要研究方向为农业技术经济; 通讯作者: 李欠男(1990—), 女, 河南新乡人, 讲师, 博士, 主要研究方向为农业资源与环境经济; 田云(1986—), 湖北长阳人, 男, 教授, 博士, 主要研究方向为低碳经济与低碳农业。

随着数字经济与实体经济的融合,数字乡村建设为农业减污降碳协同效应的实现提供了新的契机。数字乡村将数字技术与农业绿色低碳发展相融合,有助于精准监测农田污染排放、智能调控农业生产能耗、推进农业废弃物资源化利用,进而推动农业减污降碳协同。^[4-5]同时,数字乡村建设能够进一步解决农业减污降碳协同治理过程中农业技术创新不足、土地细碎化等难题,为农业面源污染和碳排放协同减排提供有力支持。在此背景下,本文探究数字乡村建设的农业减污降碳协同效应及机制,对于加快农业绿色低碳转型、实现美丽中国建设和“双碳”目标具有重要的现实意义。

纵观已有研究,学者们分别围绕农业面源污染防治、农业碳排放减排路径展开探讨,^[6-9]形成了丰富的研究成果,但是对农业面源污染与碳排放之间的协同效应关注较少。协同效应源自伴生效应,IPCC第三次评估报告正式提出协同效应概念,强调温室气体减排政策的非气候效应。^[10]减污降碳协同本质上是实现减污和降碳等多目标的“帕累托改进”。^[11]随后,一些学者对农业减污降碳协同效应进行量化评估,大致可以分为三种。第一种是在核算农业面源污染与碳排放的基础上,采用二者的交乘项测度农业减污降碳的协同效应。^[12]这一指标能够直观反映农业减污与降碳的总体变化,但是难以揭示其内部差异。第二种是采用 Tapio 脱钩指数、耦合协调模型来衡量农业减污降碳的协同效应。^[13]这类指标虽然能够区分农业减污与降碳之间“量”的协同,但无法体现“质”的协同。第三种是采用数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)方法,以农业面源污染和碳排放作为非期望产出,计算减污降碳绩效或边际减排成本来刻画农业减污降碳的协同效应。^[2]这种方法涵盖要素投入、农业产出、农业面源污染和碳排放,能够为农业减污降碳协同推进提供方法论支撑。

与此同时,数字乡村建设已成为推动农业现代化的重要途径,已有研究主要围绕数字乡村建设水平评价和实现路径等方面进行探索。大多数学者从数字信息基础和数字产业发展等方面构建数字乡村建设的评价指标体系,发现数字乡村建设水平仍有提升空间,而且地区之间存在明显的差距。^[14]还有学者认为数字乡村建设通过数字基础设施和数字技术等途径助力农业高质量发展,^[15]数字乡村建设能够促进农村居民增收以及有利于实现共同富裕。^[16]值得注意的是,数字乡村建设的环境效应逐渐引起了学者们的关注。田云和廖华^[17]发现数字乡村建设对农业碳排放具有显著的抑制作用。然而,这些研究侧重从农业面源污染或者碳排放的单一角度考察数字乡村建设的环境效应,缺乏对农业减污降碳协同效应的综合评价。

综上所述,现有研究成果为本文开展数字乡村建设的农业减污降碳效应及机制奠定了基础,但仍需要进一步完善:第一,已有研究对农业减污降碳协同效应进行量化评估,更多关注农业面源污染与碳排放“量”的协同,无法揭示“质”的协同。实际上,农业减污降碳协同效应不仅要考虑农业面源污染和碳排放“量”的多少,更要关注农业减污绩效与降碳绩效的大小以及二者之间的协同情况。第二,学者们主要聚焦数字乡村建设对农业减污或降碳的单方面影响,较少考虑数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的影响。从源头治理来看,农业面源污染与碳排放具有高度的同根同源特性。如果单独检验数字乡村建设对农业减污或降碳的影响,容易造成结果偏差。第三,数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的影响机制缺乏严谨的实证检验,尤其是数字乡村建设通过技术效应和规模效应的路径实现农业减污降碳协同。鉴于此,本文在科学测度数字乡村建设与农业减污降碳协同效应的基础上,将两者纳入统一分析框架,实证分析数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的影响,并探讨其背后的作用机制,以期为环境污染治理和温室气体减排提供决策参考。

二、理论分析与研究假说

(一)数字乡村建设对农业减污降碳协同的理论分析

数字乡村建设对农业减污降碳具有促进作用。数字乡村建设推动淘宝村、电商企业的发展,这些数字经济平台通过精准对接市场需求,直接联结农产品生产端与消费端,缩短传统“生产者—中间商—消费者”的长链条,降低农产品交易环节的资源与能源消耗,进而促进农业减污降碳协同。此外,智能手机、移动支付等数字工具在农村地区的普及,一方面促使农户生活模式发生转变,降低了传统生活方式对资源的消耗,另一方面会潜移默化影响农户的绿色认知,助推农户践行绿色生产行为准则,更主动地采纳绿色施肥、粪污处理等农业减污降碳技术,从而有利于农业减污降碳协同的实现。综上所述,本文提出如下假说:

H1:数字乡村建设对农业减污降碳协同具有显著的正向效应。

(二)数字乡村建设影响农业减污降碳协同的作用机制分析

农业科技创新是促进农业绿色低碳转型的重要途径,也是实现农业减污降碳协同的关键支撑。数字乡村建设加速了农业科技创新与推广,有利于农业环保技术与低碳技术的应用。农户借助大数据、无人机植保等现代科技,科学配比化肥、农药等要素投入,推动农业生产由经验决策向数据驱动决策转变,有效减少农业面源污染与碳排放。数字技术的应用可以精准匹配生产端与需求端,及时获取消费者对绿色农产品的需求,提高农业科技创新的时效性,引导农业生产向绿色低碳方向升级。基于上述分析,本文提出如下研究假说:

H2:数字乡村建设通过提升农业科技水平来促进农业减污降碳协同。

数字乡村建设可以促进数字技术和数字平台的整合,打破了农业的信息壁垒,推动土地流转集中与生产要素优化配置,促进连片种植和集约化养殖。与分散的小农户相比,规模化经营主体更愿意采纳科学灌溉、病虫害绿色防控、农业废弃物处理等新技术,从而有利于资源的集约化和污染的有效控制。农业规模化经营便于引进先进的技术和设备,实时监测和追踪农业生产的污染排放情况,及时改进高能耗高污染环节,推动农业生产过程中的面源污染和碳排放不断降低,进而实现农业减污降碳协同。基于上述分析,本文提出如下研究假说:

H3:数字乡村建设通过促进农业规模化经营水平进而实现农业减污降碳协同。

三、研究方法与数据来源

(一)模型设定

1. 基准回归模型

本文采用固定效应模型实证分析数字乡村建设对农业减污降碳协同的影响效应,模型如下:

$$\ln syn_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln dig_{it} + \beta_2 \ln X_{it} + \mu_i + \sigma_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 、 t 分别表示省份和年份; syn_{it} 、 dig_{it} 分别为农业减污降碳协同效应和数字乡村建设水平, X_{it} 表示一组控制变量; $\beta_0 \sim \beta_2$ 为待估系数; μ_i 、 σ_t 和 ϵ_{it} 分别表示省份、年份固定效应和随机误差项。

2. 机制检验模型

为探究农业科技水平和农业规模化经营水平在数字乡村建设与农业减污降碳协同效应之间的作用,本文在模型(1)的基础上构建中介效应模型:

$$\ln M_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln dig_{it} + \gamma_2 \ln X_{it} + \mu_i + \sigma_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln syn_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln dig_{it} + \alpha_2 \ln M_{it} + \alpha_3 \ln X_{it} + \mu_i + \sigma_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

式(2)中, M_{it} 为机制变量,包括技术效应和规模效应; $\gamma_0 \sim \gamma_2$ 、 $\alpha_0 \sim \alpha_3$ 为待估系数;式(2)和(3)其它变量与式(1)保持一致。

(二)变量选取

1. 被解释变量

本文被解释变量为农业减污降碳协同效应,采用两步法测度农业减污降碳协同效应。第一步,运用数据包络分析(DEA)方法分别测算农业减污绩效和降碳绩效。以土地、劳动力、机械、化肥和灌溉为投入变量,以农业总产出为期望产出,以农业生产过程中所产生的农业面源污染和碳排放为非期望产出,采用混合距离函数(Epsilon-Based Measure)与全局参比(Global Malmquist Luenberger)相结合的 EBM-GML 模型测算农业减污绩效和降碳绩效。其中,农业土地投入采用农作物播种面积与水产养殖面积来衡量;农业劳动力投入以农林牧渔从业人员来表示;农业机械投入采用农业机械总动力来表征;农业化肥投入和灌溉投入分别采用农用化肥施用折纯量和有效灌溉面积来表示。农业产出方面,以农林牧渔总产值(2010年不变价)为期望产出,以农业面源污染和碳排放为非期望产出。第二步,在农业减污绩效和降碳绩效测算的基础上,采用耦合协调模型衡量农业减污降碳协同效应,如式(4)~式(6)所示:

$$C = 2 \times \sqrt{A \times B} / A + B \quad (4)$$

$$D = aA + bB \quad (5)$$

$$E = \sqrt{C \times D} \quad (6)$$

其中, A 和 B 分别为农业减污绩效和降碳绩效极差标准化后的数值, C 为农业减污绩效与降碳绩效的耦合度;考虑到农业减污与降碳处于同等重要的地位,对 a 和 b 取值均为0.5, D 为农业减污绩效与降碳绩效的综合协调指数; E 为农业减污降碳协同效应,取值范围为 $[0,1]$;如果 E 接近于1,表明农业减污降碳协同效应越优,反之则越差。

2. 核心解释变量

本文核心解释变量为数字乡村建设。目前关于数字乡村建设的测度逐渐完善,虽然已有研究在指标选取方面存在差异,但是大部分学者倾向选择能够反映数字乡村建设细分维度的指标,比如农村互联网普及率、农村数字基地等。本文借鉴田云和廖华^[17]的研究,构建数字乡村建设的评价指标体系(见表1)。具体而言,数字乡村建设包含“数字信息基础—数字产业发展—数字服务水平”三个维度。其中,数字信息基础是数字乡村建设的基础,能够为数字乡村建设提供技术支撑,赋能农业生产要素的优化配置;数字产业发展是数字乡村建设的核心内容,反映农业数字化转型程度,引导农业绿色低碳生产;数字服务水平是数字乡村建设的关键落脚点,也是“线上线下一体化”为农服务的重要保障。在此基础上,本文采用熵值法对数字乡村建设水平进行测度。

表1 数字乡村建设评价指标体系

一级指标	二级指标	指标解释	指标属性
数字信息基础	农村广播电视覆盖率	农村广播电视人口覆盖率(%)	+
	农村智能手机普及率	农村居民平均每百户年末移动电话拥有量(部)	+
	农村计算机普及率	农村居民平均每百户年末计算机拥有量(台)	+
	农村互联网普及率	农村宽带接入用户(万户)	+
	农业气象观测业务站	农村气象观测业务站个数(个)	+
数字产业发展	农产品数字化交易水平	电子商务销售额(亿元)	+
	农村网络支付水平	数字普惠金融指数	+
	农村数字基地	淘宝村数量(个)	+
数字服务水平	物联网等信息技术应用的服务范围	农村投递线路(公里)	+
	数字服务消费水平	农村居民家庭人均交通通信消费支出(元)	+
	数字惠民服务发展	农村居民家庭人均医疗保障消费支出(元)	+

3. 中介变量

本文中介变量为农业科技水平与规模化经营水平。农业科技水平采用每万人口农业科技专利数

量来表示。参考王凤婷等^[18]的研究,规模化经营水平以农作物播种面积占乡村人口数的比例来表征。

4. 控制变量

结合已有研究,本文控制变量为种植结构、财政支农水平、劳动力转移和受灾率。具体而言,参考朱洋洋等^[13]的研究,种植结构采用粮食播种面积占农作物播种面积的比重来表示;借鉴史常亮^[19]的研究,财政支农水平以农林水事务支出与地方一般公共预算支出的比重来衡量;采用韩海彬和龚亚双^[20]的做法,劳动力转移采用乡村人口数减去第一产业从业人员数再除以乡村人口数进行衡量;参考吴昊玥等^[21]的研究,受灾率用受灾面积占农作物播种面积的比值来表征。

(三)数据来源

本文以中国大陆 30 个省份为研究样本(除西藏和港澳台以外),同时,鉴于数据指标的可得性,本文研究时间为 2011—2023 年。研究数据主要来源于《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及国家统计局等,对于缺失的数据采用插值法进行补充。表 2 给出了各变量的描述性统计结果。

表 2 变量的描述性统计

变量类型	变量名称	符号	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	农业减污降碳协同	syn	0.543	0.157	0.001	1.000
核心解释变量	数字乡村建设	dig	0.244	0.171	0.036	0.853
机制变量	技术效应	tec	1.318	0.948	0.097	4.677
	规模效应	sca	3.204	2.392	0.320	15.198
	劳动力转移	tra	0.607	0.130	0.330	0.924
控制变量	种植结构	str	0.656	0.149	0.355	0.971
	财政支农水平	fin	0.113	0.034	0.039	0.204
	受灾率	dis	0.135	0.114	0.001	0.696

四、实证分析与讨论

(一)基准回归分析

本文采用固定效应模型进行基准回归分析,实证检验数字乡村建设的农业减污降碳协同效应,估计结果见表 3。列(1)为数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的单变量估计结果,显示数字乡村建设的系数为 0.810,且该结果具有统计显著性。列(2)和列(3)分别为加入劳动力转移、种植结构、财政支农水平和受灾率控制变量的回归结果,结果表明随着控制变量的逐渐加入,模型的拟合优度在不断上升,数字乡村建设的回归系数为 0.432,并通过 1%水平的显著性检验,验证了研究假说 1。

表 3 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)
Indig	0.810*** (0.071)	0.499*** (0.104)	0.432*** (0.102)
Intra	—	1.276** (0.366)	1.038** (0.305)
lnstr	—	-0.422 (0.588)	-0.243 (0.520)
lnfin	—	—	-0.161 (0.192)
lndis	—	—	-0.083*** (0.023)
常数项	1.523*** (0.213)	-0.998 (3.343)	-0.003 (2.969)
省份效应	是	是	是
年份效应	是	是	是
N	390	390	390
R ²	0.303	0.445	0.512

注:***、**、*分别表示系数在 1%、5%和 10%水平上显著;()内数值为回归系数的稳健标准误。下同

(二)内生性检验

数字乡村建设促进农业减污降碳协同的同时,农业减污降碳协同也可能对数字乡村建设产生倒逼效应。为避免互为因果所产生的内生性问题对基准回归结果的干扰,本文采用工具变量(IV)法进行估计,结果如表4所示。

借鉴黄群慧等^[22]的研究,本文采用2001年农村固定电话普及率与上一年光缆长度的交互项作为工具变量。结果显示,KP-LM、C-D Wald F检验能够有效排除不可识别和弱工具变量的情况,说明2001年农村固定电话普及率作为工具变量是合适的。第一阶段回归结果显示,该阶段F统计量大于10,而且IV的估计系数显著为正,符合预期;第二阶段回归表明,数字乡村建设的系数比基准回归中有所增大,仍在1%水平上显著为正。

表4 内生性检验回归结果

	第一阶段(1)	第二阶段(2)
IV	0.143*** (0.017)	—
Indig	—	2.294*** (0.296)
控制变量	是	是
省份效应	是	是
年份效应	是	是
一阶段 F 统计量	68.300	—
KP-LM	—	36.724***
C-D Wald F	—	85.152***
N	390	390
R ²	0.428	0.625

(三)稳健性检验

前文基础回归模型表明,数字乡村建设能够显著促进农业减污降碳协同。为保证模型的稳健性,本文采取不同的稳健性方法进一步检验,如表5所示。

1. 替换被解释变量

为避免农业减污降碳协同效应测度方法不同而导致的结果偏误,本文采用替换被解释变量的方法进行稳健性检验。借鉴郭沛和王光远^[23]的研究,本文采用农业减污降碳协同效率衡量农业面源污染和碳排放的协同水平,估计结果见表5列(1)。具体而言,选取数据包络分析方法(DEA)中混合距离函数和超效率相结合的(EBM-SML)模型,以土地、劳动力、机械、化肥和灌溉为投入变量,农林牧渔总产值为期望产出,农业面源污染与碳排放同时作为非期望产出来衡量农业减污降碳协同效应。结果显示,替换被解释变量后,数字乡村建设的农业减污降碳协同效应依旧显著为正,与基准回归结果较为一致。

2. 剔除部分样本

与其他省份相比,直辖市具有经济体量、政策支持等显著优势,将其纳入实证模型可能会使回归结果出现偏误。因此,剔除直辖市后重新进行估计,回归结果见表5列(2)。结果表明,数字乡村建设的系数为正且通过1%显著性检验,说明改变样本容量并未对本文研究结论带来根本性影响。

3. 缩尾处理

为减少样本中极个别异常值对回归结果的影响,本文对各变量进行2%的缩尾处理,然后进行重新回归,结果如表5列(3)所示。与基准回归分析对比可知,在进行缩尾处理以后,数字乡村建设的回归系数与显著性未发生太大变化,有效证实了基准回归模型的稳健性。

表 5 稳健性检验回归结果

	(1)	(2)	(3)
Indig	0.317*** (0.082)	0.455*** (0.105)	0.450*** (0.103)
控制变量	是	是	是
常数项	1.348 (2.417)	1.203 (2.654)	-0.172 (3.020)
省份效应	是	是	是
年份效应	是	是	是
N	390	338	390
R ²	0.570	0.609	0.551

(四)机制检验

为进一步明晰数字乡村建设促进农业减污降碳协同的作用机制,本文利用上文公式(2)和公式(3)进行实证检验,结果见表6。表6列(1)、列(2)给出了数字乡村建设对农业科技水平和农业减污降碳协同影响的估计结果。列(1)中数字乡村建设的回归系数为1.177,且在1%水平上显著,表明数字乡村建设在提升农业科技水平方面发挥着正向促进作用。列(2)显示农业科技水平和数字乡村建设的系数为正,均通过了显著性检验,说明数字乡村建设通过农业科技水平的中介途径,对农业减污降碳协同形成正向效应,验证了研究假说2。

表6列(3)和列(4)展示了数字乡村建设对农业规模化经营以及农业减污降碳协同影响的检验结果。列(3)显示数字乡村建设对农业规模化经营的影响显著为正,说明数字乡村建设显著促进农业规模化经营。列(4)中农业规模化经营和数字乡村建设的估计系数均显著为正,表明数字乡村建设通过促进农业规模化经营水平进而对农业减污降碳协同产生积极作用,验证了研究假说3。

表 6 机制检验回归结果

	(1) Intec	(2) lnsyn	(3) lnsca	(4) lnsyn
Indig	1.177*** (0.248)	0.187* (0.098)	0.326*** (0.098)	0.132* (0.067)
Intec	—	0.208*** (0.033)	—	—
lnsca	—	—	—	0.919*** (0.322)
控制变量	是	是	是	是
常数项	1.326 (5.652)	-0.279 (2.437)	0.510 (3.318)	-0.472 (4.357)
省份效应	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是
N	390	390	390	390
R ²	0.429	0.655	0.296	0.704

(五)异质性分析

1. 粮食生产功能区的异质性

为保障国家粮食安全,国家在政策支持与资金投入方面,对粮食主产区的倾斜力度明显大于非粮食主产区。粮食生产区域之间的差异,可能会导致数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的影响表现出异质性。为检验这种差异是否存在,本文将样本划分为粮食主产区与非粮食主产区^①,回

^① 粮食主产区:河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、安徽、江西、山东、河南、湖北、湖南和四川13个省份;非粮食主产区:北京、天津、山西、上海、浙江、福建、广东、广西、海南、重庆、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆17个省份。

归结果见表7。由列(1)和列(2)对比发现,粮食主产区和非粮食主产区数字乡村建设对农业减污降碳协同效应均具有显著促进作用,但粮食主产区回归系数大于非粮食主产区。背后原因可能是,粮食主产区作为国家粮食生产重要区域,能够获得国家的一揽子支农政策,涵盖资金补贴与技术支持等方面,这些政策能够形成叠加效应,进而助力农业减污降碳协同。而非粮食主产区农业补贴种类少、标准低,数字设备适配难度较大且应用成本较高,制约了数字化与绿色低碳化效应的发挥。

2. 农业产业集聚的异质性

农业产业集聚水平的高低影响农业减污降碳协同治理难度。当农业产业集聚水平较低时,农业生产要素配置较为分散,且数字化基础设施覆盖成本高,难以实现农业面源污染与碳排放的集中管控与高效治理,进而影响数字乡村减污降碳协同效应的发挥。本文借鉴王珊珊等^[24]的做法,将农业产业集聚分为横向集聚和纵向集聚,不仅涉及农业产业的空间规模集聚,而且包括农业生产、加工、流通等各个环节的集聚。具体而言,农业产业横向集聚采用区位商来表示,即各省份农林牧渔总产值占全国农林牧渔总产值的比重除以该省份地区生产总值占全国地区生产总值的比重。农业纵向集聚涵盖农业产业不同环节的纵向集聚,采用农林牧渔生产总值、农副食品加工业主营业务收入以及限额以上农产品批零企业商品销售额来表示,并采用熵值法进行测算。

本文根据农业产业横向集聚和纵向集聚的均值分别将样本分为高、低两组进行回归,结果见表7列(3)~列(6)。结果表明,对于高横向集聚地区,数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的影响明显高于低横向集聚地区,这说明高横向集聚地区能够更好地发挥农业生产资料和技术创新的集聚效应,有助于放大数字乡村建设的农业减污降碳协同效应。此外,数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的影响在高纵向集聚地区更为显著,表明当农业产业各个环节联系较为紧密时,有利于减少各环节的资源 and 能源消耗,更加有助于激发数字乡村建设对农业减污降碳协同效应的积极作用。

表7 异质性检验结果

	(1) 粮食主产区	(2) 非粮食主产区	(3) 高横向集聚	(4) 低横向集聚	(5) 高纵向集聚	(6) 低纵向集聚
Indig	0.606*** (0.144)	0.335** (0.118)	0.517*** (0.110)	0.341* (0.175)	0.584*** (0.139)	0.389** (0.134)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-4.158 (3.843)	1.676 (4.268)	2.538 (3.285)	-3.627 (4.539)	-1.503 (2.752)	-0.989 (4.777)
省份效应	是	是	是	是	是	是
年份效应	是	是	是	是	是	是
N	169	221	208	182	182	208
R ²	0.607	0.478	0.635	0.469	0.685	0.428

五、研究结论与政策建议

本文聚焦数字乡村建设与农业减污降碳协同这一现实问题,首先分析了数字乡村建设影响农业减污降碳协同的理论逻辑,然后基于2011—2023年中国大陆30个省份的面板数据,实证分析二者之间的关系及其背后的作用机制。实证结果表明:第一,数字乡村建设有利于促进农业减污降碳协同,且该结论通过了内生性和稳健性检验。第二,机制分析表明,数字乡村建设能够提升农业科技水平和规模化经营水平,进而有效促进农业减污降碳协同。第三,异质性分析表明,在粮食主产区、高横向集聚和高纵向集聚地区,数字乡村建设对农业减污降碳协同的促进作用较大。

根据上述研究结论,本文提出如下政策建议:

第一,推进数字乡村建设与农业减污降碳协同。在数字经济与实体经济融合的背景下,必须把握数字革命和绿色低碳发展的时代机遇,将数字乡村建设作为农业减污降碳协同的重要引擎。加强乡村数字基础设施建设,升级数字农业技术装备,引进秸秆农膜回收处理、畜禽粪污资源化利用等新技术,实时监测农业面源污染和碳排放的动态变化,借助数字化技术对农业生产环节、经营模式进行赋能,以数字化推动农业绿色低碳转型。

第二,注重技术效应和规模效应在数字乡村建设对农业减污降碳协同中的作用。政府应加强对农业科技创新的支持力度,鼓励科研机构和企业开展农业减污降碳技术研发和模式创新,进而为农业减污降碳协同提供技术保障。另外,地方政府要完善农村土地流转市场化机制,发展多种形式适度规模经营,加强数字技术与规模化经营的融合,发挥农业规模经营在减污降碳协同方面的优势。

第三,准确认识和把握数字乡村建设对不同地区农业减污降碳协同的作用,并采取差异化的发展策略。对于粮食主产区而言,应大力推动数字技术在农林牧渔产业的综合运用,推广施肥、灌溉等环节的自动化管控,实现农业机械与5G、机器人等技术的深度融合,进一步提升数字乡村建设对农业减污降碳协同的积极作用。对于非粮食主产区,利用数字技术挖掘特色农产品的市场需求,减少农业环境治理和碳减排的压力,更好地发挥数字乡村的农业减污降碳协同作用。对于农业产业集聚水平较高的地区,应强化其对周边地区的带动效应,引导周边地区优化农业生产流程并降低资源消耗,形成可复制和推广的农业减污降碳协同示范效应。对于农业产业集聚水平较低的地区,应根据当地资源和产业优势,引导农业产业向特定区域集中,发展农产品深加工产业,促进农业产业链纵向延长,减少能源消耗与污染排放。

[参 考 文 献]

- [1] 刘华军,田震. 绩效视角下减污降碳协同效应的量化评估及提升路径[J]. 资源科学,2024,46(07):1239-1251.
- [2] 闫坤,唐丹彤,甘天琦. 中国农业减污降碳协同效应的量化评估与动态演化——基于边际减排成本的分析[J]. 中国农村经济,2024(09):22-41.
- [3] 王雅楠,李冰迅,张艺芯,等. 中国减污降碳协同效应时空特征与影响因素[J]. 环境科学,2024,45(09):4993-5002.
- [4] 李俏,肖忠毅. 农业生产数字化转型的实践探索与机制创新——基于浙江的典型案例分析[J]. 江南大学学报(人文社会科学版),2023,22(05):64-76.
- [5] 何可,朱润. 数字技术赋能粮食系统绿色低碳转型[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2025,25(01):55-67.
- [6] 吴义根,冯开文,李谷成. 人口增长、结构调整与农业面源污染——基于空间面板STIRPAT模型的实证研究[J]. 农业技术经济,2017(03):75-87.
- [7] 赵霞,陶梓秋,韩经纬. 降低无效碳排放的重要环节:水稻产后减损的模拟效应分析[J]. 江南大学学报(人文社会科学版),2023,22(06):88-104.
- [8] 吴贤荣,张俊飏. 中国省域农业碳排放:增长主导效应与减排退耦效应[J]. 农业技术经济,2017(05):27-36.
- [9] 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(03):104-127.
- [10] IPCC. Climate Change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability. Summary for policymakers. Report of working group II of the intergovernmental panel on climate change[R]. Cambridge Cambridge University Press, 2001.
- [11] Zhu J P, Wu S H, Xu J B. Synergy between pollution control and carbon reduction: China's evidence[J]. Energy Economics, 2023,119:106541.
- [12] 张德钢,唐瑜梳. 粮食主产区政策对农业减污降碳协同的影响[J]. 资源科学,2025,47(06):1358-1373.
- [13] 朱洋洋,齐振宏,王璐,等. 中国农业减污降碳协同效应的时空演进及驱动因素研究[J]. 生态与农村环境学报,2024,40(09):1201-1212.

- [14] 慕娟,马立平. 中国农业农村数字经济发展指数测度与区域差异[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2021,20(04):90-98.
- [15] 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(01):21-40.
- [16] 张应良,杨飞韵. 数字经济、农村要素配置与农户共同富裕——基于增收和缩距双重目标的审视[J]. 南京农业大学学报(社会科学版),2025,25(03):132-149.
- [17] 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(09):84-99.
- [18] 王凤婷,王浩,孔凡斌. 农村数字化发展对农业全要素碳生产率的提升效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2024,34(03):79-90.
- [19] 史常亮. 农业数字化的碳减排效应:理论分析与经验证据[J/OL]. 华中农业大学学报(社会科学版),1-13.
- [20] 韩海彬,龚亚双. 数字乡村建设对农业碳排放的空间溢出效应[J]. 农业工程学报,2025,41(01):298-307.
- [21] 吴昊玥,陈锐,何艳秋,等. 中国农业减污降碳协同效应量化及时空特征:基于减排绩效视角[J/OL]. 环境科学,1-14.
- [22] 黄群慧,余泳泽,张松林. 互联网发展与制造业生产率提升:内在机制与中国经验[J]. 中国工业经济,2019(08):5-23.
- [23] 郭沛,王光远. 数字经济的减污降碳协同作用及机制——基于地级市数据的实证检验[J]. 资源科学, 2023,45(11):2117-2129.
- [24] 王珊珊,许雨萱,王陆陆,等. 农业产业集聚对农业产业韧性的影响研究——基于横向集聚和纵向集聚的双重视角[J]. 经济经纬,2024,41(06):71-82.

(责任编辑:刘浏)

The Synergistic Effect and Mechanism of Agricultural Pollution Reduction and Carbon Reduction in Digital Rural Construction

LI Gu-cheng¹, LI Qian-nan², TIAN Yun³

(1. College of Economics & Management/ Digital Agriculture Research Institute, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; 2. College of Economics & Management, Hubei University of Arts and Science, Xiangyang 441053; 3. School of Business Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073)

Abstract: Promoting the synergy of agricultural pollution reduction and carbon reduction is the key to achieving green and low-carbon transformation in agriculture, and the construction of digital villages provides new opportunities for the synergy of agricultural pollution reduction and carbon reduction. This article theoretically analyzes the impact of digital rural construction on the synergistic effect of agricultural pollution reduction and carbon reduction, and empirically tests their relationship and underlying mechanisms based on panel data from 30 provinces from 2011 to 2023. The findings are: firstly, the construction of digital rural areas has a significant promoting effect on the synergy of agricultural pollution reduction and carbon reduction, which still holds true after endogeneity and robustness tests; secondly, the construction of digital rural areas can promote the synergy of agricultural pollution reduction and carbon reduction through technological and scale effect; thirdly, the synergistic effect of agricultural pollution reduction and carbon reduction in digital rural construction is more pronounced in major grain producing areas, regions with high horizontal and vertical agglomeration. Based on this, it is recommended to promote the synergy of agricultural pollution reduction and carbon reduction through digitization, focus on leveraging the effects of technology and scale, and adopt differentiated development strategies to promote the green and low-carbon transformation of agriculture.

Key words: digital rural construction; reduce pollution and carbon emissions; synergy effect; technological effect; scale effect