

# 数字经济、环境关注度与农业绿色全要素生产率\*

张鲜华,韩伟民,王小贞

(兰州财经大学 会计学院,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**为厘清数字经济对农业绿色全要素生产率的影响机制,基于我国2011—2023年省级面板数据展开实证检验。结果表明,数字经济可显著提升农业绿色全要素生产率。同时,机制检验表明,数字经济通过强化地方政府环境关注度提升农业绿色全要素生产率;异质性检验发现,东部地区、一线城市和主粮食产区更会受益于数字经济的发展,使其农业绿色全要素生产率得以提升。最后,门槛和空间模型揭示数字经济存在“边际效应”递增的非线性特征和空间溢出效应。据此,文章提出,应实施差异化数字赋能策略,以充分释放其对农业绿色发展的空间贡献,为培育农业新质生产力与推进乡村全面振兴提供政策参考。

**关键词:**数字经济;农业绿色全要素生产率;环境关注度;农业新质生产力;乡村振兴

**中图分类号:**F49;F323

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-0598(2026)02-0082-15

## 一、引言

数字经济以数据为关键生产要素,以信息技术为创新驱动动力,深刻变革了传统产业的生产方式与发展模式,已成为全球经济增长的核心引擎<sup>[1]</sup>。尤其在生态文明建设不断深入的农业领域,数字经济的渗透与融合为农业现代化提供了新势能,对提升农业绿色全要素生产率显现出了巨大潜力,成为农业实现可持续发展的关键。在此背景下,发达经济体已凭借其在信息技术领域的先发优势,率先实现了数字经济与农业的深度融合,为全球农业可持续发展提供了范本。与此同时,发展中国家虽面临数字基础设施薄弱与技术应用能力不足等挑战,但也纷纷将发展数字经济作为实现农业现代化的重要途径,通过强化环境治理、优化政策环境等措施,着力促进数字经济与农业绿色发展的深度融合。可见,数字经济不仅是农业绿色转型的技术载体,更是新质生产力在农业农村领域的内源性驱动力量,这为破解农业现代化进

\* 收稿日期:2025-07-29

**基金项目:**国家社会科学基金项目(20BGL130)“企业参与乡村振兴的行动逻辑及调适策略研究:基于企业社会责任视角”

**作者简介:**张鲜华(1971—),女,吉林延吉人;兰州财经大学会计学院教授,主要从事会计理论与方法、会计高等教育及企业社会责任研究。

韩伟民(1998—),男,甘肃兰州人;兰州财经大学会计学院硕士研究生,主要从事成本与管理会计研究。

王小贞(1999—),女,甘肃兰州人;兰州财经大学会计学院硕士研究生,主要从事成本与管理会计研究。

**本文引用格式:**张鲜华,韩伟民,王小贞.数字经济、环境关注度与农业绿色全要素生产率[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2026,43(2):82-96.

程中生产力代际更迭难题提供了理论依据,也为全面推进乡村振兴战略注入了新动能。

环境关注度则是地方政府环境治理导向的直观表征,可通过政府工作报告中“环保”相关词汇词频占比衡量,反映其对污染治理与生态保护的重视程度及政策倾向,核心目标是传递治理信号并引导市场主体绿色转型,实现环境与经济双赢。与此同时,我国《“十四五”数字经济发展规划》与《“十四五”全国农业绿色发展规划》均明确了推进农业数字化与绿色发展的要求。在此背景下,数字经济已成为国民经济核心增长极,其在乡村振兴中的广泛应用推动农业生产经营智能化与管理服务数据化,为农业绿色全要素生产率提升筑牢基础。

现有研究表明,数字经济能够赋能农业高效绿色发展,且技术革命和管理创新可有效提升农业绿色全要素生产率,减少农业生产对生态环境的不利影响。基于此,本文借鉴相关研究成果,采用2011—2023年省级面板数据,探究数字经济通过强化地方政府环境关注度驱动农业绿色全要素生产率提升的内在机理。边际贡献主要体现在:首先,运用熵值法和超效率SBM-GML指数法,分别构建数字经济与农业绿色全要素生产率的测算指标体系,基于大样本实证检验数字经济驱动农业绿色全要素生产率的作用机理;其次,通过异质性检验发现,东部地区、一线城市和主粮食产区邻近区域更可能受益于数字经济的发展,为制定动态化和差异化数字经济战略提供了精细化的政策依据;最后,采用门槛和空间模型检验,揭示数字经济“边际效应”递增的非线性溢出效应,为强化数字基础设施建设,充分释放其对区域农业绿色发展的空间贡献能力提供理论支持和经验证据。

## 二、理论分析与假设提出

农业绿色全要素生产率(*AGTFP*)是在资源环境约束下,衡量农业实现经济与生态协同增效的核心指标。它将能源消耗与环境污染等非期望产出纳入分析框架,通过绿色技术创新与要素优化配置,追求资源集约利用与生态效益的帕累托改进<sup>[2]</sup>。而数字经济以其信息跨时空传播、数据共享与降低交易成本等优势,为破解*AGTFP*提升所面临的要素约束与空间限制提供了新路径。本文从直接效应、间接效应、非线性特征与空间溢出4个维度,构建数字经济影响*AGTFP*的理论分析框架。

### (一)数字经济对农业绿色全要素生产率的直接影响

数字经济通过技术渗透、产业赋能与流程重构,直接驱动*AGTFP*的提升。首先,物联网、大数据与智能农机等数字化基础设施,通过精准监测与动态调控水肥投入,提升了资源集约化水平,优化了农业生产要素配置效率<sup>[3]</sup>。同时,5G网络与云计算平台构建的农业数据共享机制,打破了信息孤岛,促进了土地与劳动力等传统要素的协同高效利用,极大地提升了农业绿色全要素生产率中的技术效率。

其次,数字产业化凭借技术创新驱动,赋能绿色生产。数字产业化是数字经济的重要组成部分,其通过技术研发与成果转化,直接为农业绿色生产赋能<sup>[4]</sup>。数字技术企业开发的环境监测算法与智能决策模型,能够精准识别农业生产中的污染源,并通过优化生产流程有效减少非期望产出。此外,区块链技术在农产品溯源中的应用,增强了绿色认证的可信度和透明度,促进了高附加值农产品的市场溢价,进而提升了期望产出的经济与环境效益。

最后,产业数字化通过驱动产业链重构,实现绿色转型。产业数字化是数字经济与实体经济深度融合的必然结果,其通过重构农业产业链,实现了全环节的绿色转型<sup>[5]</sup>。电子商务平台缩短了产销距离,降低了流通环节的能源消耗与损耗率,间接减少了非期望产出。同时,农业数字化转型催生的共享农机服务等新模式,通过资源复用降低了固定资产投资,显著提高了资本要素的绿色生产率。

由此,提出本文的假设1(H1)。

H1:数字经济有助于农业绿色全要素生产率的提升。

## (二) 数字经济对农业绿色全要素生产率的间接影响

地方政府环境关注度是调控农业绿色发展的关键变量。数字经济能够显著强化地方政府的环境关注度<sup>[6]</sup>。一方面,数字经济催生了大数据、人工智能及物联网等新一代信息技术,推动构建起天空地一体化的生态环境智能感知网络,使地方政府能够实时、精准地追踪污染源与环境质量的变化,实现从被动响应到主动预警的监管模式转型,增强了环境治理的科学性与前瞻性<sup>[7]</sup>。另一方面,数字技术通过驱动产业绿色低碳转型,将环境绩效深度嵌入地方发展评价体系,倒逼政府将环境治理从边缘议题提升为核心战略。此外,公众通过数字平台深度参与监督与决策,形成社会共治压力,可进一步强化地方政府履行环境责任的内生动力。

而地方政府环境关注度的强化,会进一步推动 *AGTFP* 的提升。作为农业可持续发展的外驱动力,环境关注度有助于打破“高投入、高排放、低效率”的传统农业发展模式,对优化资源配置、促进农业绿色转型、实现农业经济与环境双赢等高质量发展目标具有显著的促进作用<sup>[8]</sup>。特别是在推动农业绿色发展方面,不仅增强了农业生产者的环保意识,还提高了其采用绿色生产技术的积极性,从而促进农业生产的绿色化进程。同时,地方政府增强环境关注度还会引导政策资源向绿色农业倾斜,进一步激发农业绿色创新的活力,促进环保技术与传统农业深度融合,提升农业废弃物的资源化利用能力,充分发挥环境治理的绿色效应<sup>[9]</sup>。

由此,提出本文的假设 2(H2)。

H2: 数字经济有助于强化地方政府环境关注度,进而提升农业绿色全要素生产率。

## (三) 数字经济对农业绿色全要素生产率的非线性溢出效应

随着数字经济在农业领域的广泛应用,农业部门获取数字技术支持的成本显著降低,部门间联动边际成本持续下降,收益呈现几何式增长;同时,农业与其他产业经济活动边界逐渐模糊,农业部门在提升自身运作效率的同时,与各类创新主体携手营造全民参与农业创业、全面推动农业创新的良好氛围。在此情境下,数字经济受“梅特卡夫法则”“摩尔定律”及“达维多定律”三大定律驱动,呈现高渗透性、经济累积增值效应及边际收益递增特性,并在 *AGTFP* 的提升过程中得以体现,引发其溢出效应在更广阔的区域发生动态演变,且会随着数字经济水平的提升及农业创业活跃度的增强而愈发显著<sup>[10]</sup>。

由此,提出本文的假设 3(H3)。

H3: 数字经济对农业绿色全要素生产率具有边际效应递增的非线性影响。

## (四) 数字经济对农业绿色全要素生产率的区域溢出效应

在数字化技术支撑下,数字经济突破传统地理空间限制,其影响力并不局限于所在地区,更能够辐射至邻近地区,促进其 *AGTFP* 的同步增长<sup>[11]</sup>。一方面,数字经济的兴起为农业生产要素跨区域流动开辟了新路径,使得资本与劳动力等关键要素的地区间配置更为高效,促进了区域经济协同发展,*AGTFP* 也得以显著提升。另一方面,数字经济所具备的外溢性和共享性特质,使得周边地区可迅速吸纳其所带来的农业技术创新成果及市场动态信息,不仅有助于加速周边地区的农业技术进步,还可促进农业产业结构的优化升级,进一步提升 *AGTFP*。

由此,提出本文的假设 4(H4)。

H4: 数字经济通过空间溢出效应促进了邻近区域农业绿色全要素生产率的提升。

# 三、研究设计

## (一) 变量与模型

### 1. 被解释变量:农业绿色全要素生产率指数(*AGTFP*)

借鉴刘慧敏<sup>[12]</sup>等的做法,利用 SBM 与 GML 模型测度农业绿色全要素生产率。计算公式如下:

$$P = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \times \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{X_i}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \times \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{S_r^g}{Y_r^g} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{S_k^b}{Y_k^b} \right)} \quad (1)$$

其中,  $i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, s_1; k=1, 2, \dots, s_2$

$$\begin{aligned} \text{subject to } X_0 &= X \times \lambda + S^- \\ Y_0^g &= Y^g \times \lambda - S^g \\ Y_0^b &= Y^b \times \lambda + S^b \\ S^- &\geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $P$  为决策单元的效率,  $m$  是投入指标个数,  $s_1$  是期望产出个数,  $s_2$  是非期望产出个数,  $S_i^-$  和  $X_i$  分别为投入冗余及投入变量,  $S_r^g$  和  $Y_r^g$  分别为期望产出不足以及期望产出变量,  $S_k^b$  和  $Y_k^b$  则分别为非期望产出过剩以及非期望产出变量, 而  $\lambda$  为权重向量,  $X_0, Y_0^g, Y_0^b$  分别为模型决策单元所对应的实际投入变量、期望产出变量和非期望产出变量值,  $X, Y^g, Y^b$  分别为决策单元估计需要的投入变量、期望产出变量和非期望产出变量值,  $S^-, S^g, S^b$  分别表示决策单元对应的投入冗余、期望产出不足与非期望产出过剩。

用于测度农业绿色全要素生产率的变动情况为 GML 指数模型, 公式如下:

$$\begin{aligned} AGTFPGML^{t,t+1}(x^t, y^t, b^t, x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}) &= \frac{1 + D_t(x^t, y^t, b^t)}{1 + D_{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \\ &\left[ \frac{\frac{1 + D^G(x^t, y^t, b^t)}{1 + D_t(x^t, y^t, b^t)}}{\frac{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{1 + D_{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}} \right] = \frac{TE^{t+1}}{TE^t} \times \frac{BPG_{t+1}^{t+1}}{BPG_t^{t+1}} = GEC^{t+1} \times GTC^{t+1} \end{aligned} \quad (3)$$

其中,  $AGTFPGML$  表示农业绿色全要素生产率指数。若该指数大于 1, 则表明农业绿色全要素生产率有所提升; 反之, 则表明农业绿色全要素生产率下降;  $GEC$  和  $GTC$  为技术效率和技术进步;  $t$  是年份,  $x$  是投入,  $y$  是期望产出,  $b$  为非期望产出,  $TE$  为综合技术效率,  $BPG$  是全局技术参照集与有效生产前沿面的距离。其中,  $D^G(x^t, y^t, b^t)$  为参照集方向向量, 指  $x$  和生产结构  $p(x)$  沿着距离函数指定产出向量  $g = (g_y, g_b)$  方向, 可增减生产最大  $\lambda$  倍的产出。该模型中所需要的指标构成如表 1 所示。

表 1 农业绿色全要素生产率模型计算所需指标构成

指标	变量	变量定义
投入要素	劳动力投入	种植业从业人数(万人)
	土地投入	农作物播种总面积(千公顷)
	农业机械投入	农业机械总动力(万千瓦时)
	化肥投入	农用化肥投入(万吨)
	农药投入	农药使用量(万吨)
	农膜投入	农用塑料薄膜使用量(万吨)
	灌溉投入	农业有效灌溉面积(千公顷)
期望产出	农业总产值	以 2011 年为基准的种植业总产值(亿元)
	农业碳汇	农作物固碳总量(万吨)
非期望产出	农业碳排放	种植业碳排放总量(万吨)
	农业面源污染	种植业面源污染排放量(万吨)

## 2. 解释变量:数字经济(Dig)

借鉴邵莹莹<sup>[13]</sup>等的研究框架,构建数字经济发展水平的评价指标体系,并运用熵值法进行指标权重赋值(见表2)。

表 2 数字经济发展水平测度体系和权重

一级指标	二级指标	三级指标	指标定义	属性	权重
		互联网宽带接入率	互联网宽带接入端口数/地区常住人口数	+	0.031 2
	数字化	互联网宽带普及率	互联网宽带接入用户数/地区常住人口数	+	0.031 0
	基础设施	移动电话设施规模	移动电话交换机容量	+	0.053 3
		长途光缆线路长度	长途光缆线路长度	+	0.044 6
		人均电信业务总量	电信业务总量/地区常住人口数	+	0.110 1
		移动电话普及率	直接数据	+	0.007 8
	数字	信息传输、软件和信息技术	直接数据	+	0.158 4
数字经济	产业化	服务业法人单位数	直接数据	+	0.158 4
		信息软件业就业人员占比	信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人员/城镇单位就业人员	+	0.057 6
		有电子商务交易活动的企业数比重	直接数据	+	0.040 9
		电子商务销售额	直接数据	+	0.201 6
	产业	每百家企业拥有网站数	直接数据	+	0.008 0
	数字化	二三产业增加值	第二产业增加值+第三产业增加值	+	0.088 3
		科技创新投入	规模以上工业企业 R&D 经费	+	0.167 2

## 3. 中介变量:环境关注度(ER)

借鉴陈诗一<sup>[14]</sup>等的做法,以地方政府工作报告中环保相关词汇词频占比衡量。通过 Python 对 2011—2023 年 30 个省级行政区政府工作报告进行分词处理,剔除停顿词后,统计环境保护、污染、减排、生态和绿色等关键词出现频次,并计算其占全文词频总数的比例。

## 4. 控制变量

借鉴秦天<sup>[15]</sup>等的研究,设定以下控制变量:以税收收入/地区生产总值的比重代理税负水平(TBL);以第三产业产值/第二产业产值的比重代理产业结构(IS);以外商直接投资/地区生产总值的比重代理对外开放程度(OPEN);以人均 GDP 的对数代理经济发展水平(EDL);以年末常住人口/土地面积的比重来代理人口密度(PD)。

## (二) 模型设计

由于 Hausman 检验得到的 P 值均小于 0.05,故采用双固定效应模型。据此,构建模型(4):

$$AGTFP_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 Dig_{i,t} + \alpha_2 Control_{i,t} + Year_i + U_i + \xi_{i,t} \quad (4)$$

其中,  $AGTFP_{i,t}$  为  $i$  地区  $t$  时期的农业绿色全要素生产率,  $Dig_{i,t}$  为  $i$  地区  $t$  时期的数字经济水平,  $\alpha$  为待估参数,  $control$  为控制变量,  $Year$  为时间固定效应,  $U_i$  为省份固定效应,  $\xi$  为随机误差项。

为检验环境关注度的中介作用,参考江艇<sup>[16]</sup>的中介效应检验,在模型(4)的基础上构建模型(5):

$$ER_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{i,t} + \beta_2 Control_{i,t} + Year_i + U_i + \xi_{i,t} \quad (5)$$

在式(5)中,  $ER_{i,t}$  为中介变量环境关注度。

随后,为进一步分析数字经济对农业绿色全要素生产率的提升是否存在非线性动态影响,依据 Wang<sup>[17]</sup>的做法构建模型(6):

$$AGTFP_{i,t} = \phi_0 + \phi_1 Dig_{i,t} \times I(M \leq \theta_1) + \phi_2 Dig_{i,t} \times I(\theta_1 < M \leq \theta_2) + L + \phi_n Dig_{i,t} \times I(\theta_{n-1} < M \leq \theta_n) + \phi_{n+1} Dig_{i,t} \times I(M > \theta_n) + \phi_c Control_{i,t} + Year_i + U_i + \xi_{i,t} \quad (6)$$

在式(6)中,  $M$  为门槛变量,具体是数字经济发展水平( $Dig$ );  $I(\cdot)$  为指示函数;  $\theta$  为待估门槛值。其余变量含义与基准回归模型相同。

为进一步分析数字经济对农业绿色全要素生产率的影响是否存在空间溢出效应,在模型(4)的基础上构建空间杜宾模型(SDM):

$$AGTFP_{i,t} = \alpha_0 + \rho W \times AGTFP_{i,t} + \varphi_1 W \times Dig + \alpha_1 Dig + \varphi_c W \times Control_{i,t} + \alpha_2 Control_{i,t} + Year_i + U_i + \xi_{i,t} \quad (7)$$

在式(7)中,  $\rho$  为空间自回归系数,  $W$  为空间权重矩阵,  $\varphi$  为空间交互项的系数。

### (三) 样本选取与数据来源

选取 2011—2023 年间的省级面板数据,数字经济发展水平指标来自《中国统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》;农业绿色全要素生产率指标来自《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》以及《中国环境统计年鉴》,其他数据均来自《中国统计年鉴》。部分缺失值采用线性插值法予以补充。描述性统计结果如表 3 所示。

表 3 描述性统计

变量	变量符号	样本量	均值	标准误	最小值	中位数	最大值
农业绿色全要素生产率	$AGTFP$	390	0.70	0.24	0.26	0.67	1.05
数字经济	$Dig$	390	0.14	0.11	0.02	0.10	0.65
环境关注度	$ER$	390	0.13	0.12	0.01	0.09	0.78
税负水平	$TBL$	390	0.08	0.03	0.04	0.08	0.17
产业结构	$IS$	390	1.37	0.75	0.64	1.22	5.23
对外开放程度	$OPEN$	390	0.02	0.02	0.00	0.02	0.10
经济发展水平	$EDL$	390	4.74	0.20	4.31	4.72	5.27
人口密度	$PD$	390	5.47	1.29	2.08	5.66	8.28

## 四、实证检验与结果分析

### (一) 基准回归

针对数字经济对农业绿色全要素生产率的影响展开基准回归,结果如表 4 所示。其中,列 1 表示在未考虑控制变量的前提下,数字经济的回归系数为 0.516,在 1% 水平上显著为正,表明数字经济对农业绿色全要素生产率具有显著的促进作用。列 2 和列 3 是在列 1 的基础上逐步加入了税负水平、产业结构和对外开放程度等三个控制变量,回归结果仍显著为正。最后,增加经济发展水平和人口密度两个变量后,数字经济的回归系数仍旧显著为正(列 4),表明假设 1 通过了验证,并初步确保回归结果稳健。

表 4 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>AGTFP</i>	<i>AGTFP</i>	<i>AGTFP</i>	<i>AGTFP</i>
	0.516***	0.482***	0.892***	0.722***
<i>Dig</i>	(3.729)	(3.453)	(6.199)	(4.623)
	(-1.537)	(-0.330)	(-5.022)	(2.210)
<i>TBL</i>		1.060	1.519**	1.680***
		(1.593)	(2.368)	(2.635)
<i>IS</i>			-0.199***	-0.183***
			(-6.122)	(-5.372)
<i>OPEN</i>			-2.031***	-2.271***
			(-4.839)	(-5.313)
<i>EDL</i>				-0.011
				(-0.044)
<i>PD</i>				0.575***
				(2.845)
<i>_cons</i>	0.622***	0.468***	1.223***	-2.878*
	(13.050)	(4.349)	(7.096)	(-1.783)
省份/年份效应	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	390	390	390	390
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.845	0.846	0.867	0.870

注: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ 。

## (二) 稳健性检验与内生性处理

### 1. 稳健性检验

#### (1) 改变核心被解释变量的量度

采用数据包络分析(DEA)方法替代非期望产出 SBM 模型与 GML 模型测度被解释变量农业绿色全要素生产率(*AGTFP*)。在改变被解释变量的量度方法后,数字经济的系数仍在 1% 的水平上显著为正(如表 5 第 1 列所示),表明基准回归结果通过了此稳健性检验。

#### (2) 改变核心解释变量的量度

采用主成分分析法替换基于熵值法所构建的数字经济指标体系,对其进行重新赋权。在改变解释变量的量度方法后,数字经济的系数仍在 1% 的水平上显著为正(如表 5 第 2 列所示),再次验证了基准回归结果的稳健性。

#### (3) 缩尾处理

表 5 第 3 列的结果表明,对数据进行 1% 的缩尾处理后,核心解释变量的系数显著为正,表明该模型具有稳健性,进一步验证了假设 1 成立。

## (4) 剔除直辖市样本

鉴于直辖市所具有的独特行政属性,其数字经济发展水平及政治、人口、地域面积等要素与一般地级市存在着显著差异。由此,排除北京、上海、天津及重庆的数据再次进行回归检验,其结果与基准回归分析保持了一致,验证了基准回归结果的稳健(如表 5 第 4 列所示)。

表 5 稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)
	替换被解释变量	替换解释变量	缩尾处理	剔除直辖市样本
<i>Dig</i>	0.458*** (2.950)	0.153*** (4.282)	0.722*** (4.623)	0.703*** (4.273)
<i>_cons</i>	-1.540 (-0.887)	-3.191** (-1.981)	-2.878* (-1.783)	-3.428** (-2.505)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
省份/年份效应	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	390	390	390	338
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.860	0.869	0.870	0.877

注: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ 。

## 2. 内生性处理

## (1) 滞后回归

为解决检验结果可能存在反向因果的问题,以及数字经济对农业绿色全要素生产率的影响可能存在着滞后性,将模型(1)中的解释变量和被解释变量分别滞后一期对模型(4)再次进行回归(见表 6 的第 1、2 列)。结果表明,无论是解释变量滞后一期(*L. Dig*),还是被解释变量滞后一期(*F. AGTFP*),回归系数依然在 1% 水平上显著为正,再次验证假设 1 成立。

## (2) 工具变量法

借鉴黄群慧<sup>[18]</sup>等的做法,选取 1984 年我国城市人均固定电话拥有量作为数字经济发展的工具变量,且通过了有效性检验。原因在于,一方面,数字经济的增长显著依赖于通信业务的普及,而区域通信业务的发展水平对数字经济具有推动作用,且往往通过技术水平、用户习惯等途径得以体现;另一方面,通信业务的历史数据固定不变,与农业绿色全要素生产率并无关联,能够保证工具变量的外生性。因此,以 1984 年城市每百人固定电话数量与全国信息技术服务收入的乘积对数(*lnIV*)作为衡量数字经济发展的工具变量,展开两阶段最小二乘法(2SLS)回归分析。基于工具变量估计结果(见表 6 中的第 4 列),在有效控制内生性问题后,数字经济对乡村产业振兴的影响系数依然显著为正,表明了基准回归结果的稳健性。

表 6 内生性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)
			first	second
	<i>AGTFP</i>	<i>F. AGTFP</i>	<i>Dig</i>	<i>AGTFP</i>
<i>L. Dig</i>	0.6868*** (4.0794)			

续表6

	(1)	(2)	(3)	(4)
			first	second
	<i>AGTFP</i>	<i>F. AGTFP</i>	<i>Dig</i>	<i>AGTFP</i>
<i>Dig</i>		0.739 8*** (4.398 7)		0.895*** (3.52)
<i>lnIV</i>			0.321*** (5.36)	
<i>_cons</i>	-2.947 7 (-1.590 1)	-3.471 0** (-2.035 6)	-0.052*** (-2.81)	-3.125* (-1.89)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
省份/年份效应	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	360	360	390	390
<i>adj. R</i> <sup>2</sup>	0.848	0.855	0.314	0.402

注: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ 。

### (三) 异质性分析

#### 1. 邻近城市区位异质性分析

我国各区域农业发展在资源禀赋、发展阶段以及历史因素等方面存在着较大的差异,有可能导致数字经济与农业绿色全要素生产率之间的关联呈现出空间异质性,有必要将省级样本城市按东部和西部两大区域进行分类后展开对比分析。结果表明(见表7第1、2列),处在不同区位,数字经济对农业绿色全要素生产率的影响存在着显著的差异。在东部地区,数字经济的发展显著促进了农业绿色全要素生产率;而西部地区,数字经济对农业绿色全要素生产率的影响系数不够显著,表明数字经济发展对农业绿色全要素生产率的正向促进作用有待加强。原因可能在于,东部地区数字化基础设施较为完善,在推动农业绿色全要素生产率提升方面可释放的红利远超过西部;而西部地区的数字经济发展起步较晚,发展水平也相对较低,促进农业绿色全要素生产率的潜力尚未得到充分释放。

#### 2. 邻近城市等级异质性分析

根据中国信通院发布的《中国城市数字经济指数蓝皮书(2023)》,将样本分为一线城市(包括新一线城市)和其他城市两组,针对数字经济发展对其近郊农业绿色全要素生产率的影响展开对比分析(如见表7第3、4列所示)。结果表明,邻近一线城市的区域,数字经济发展对其农业绿色全要素生产率的提升发挥了显著的促进作用。这说明,紧邻一线城市的区域更具农业绿色发展意识,拥有较为完善的产业基础和市场优势,也较好地落实了国家绿色发展相关政策。与之不同,非一线城市的数字经济发展对其邻近农业绿色全要素生产率的积极影响有限。其原因在于,一线城市的技术扩散效应和资源配置功能,一方面有助于邻近区域内的农业绿色全要素生产率提升;另一方面,会对非一线城市的资源形成“虹吸效应”,致使强者愈强。

#### 3. 数字经济水平分维度异质性分析

以数字经济发展水平的三个维度对被解释变量进行回归,深入探究数字经济发展的各维度对农业绿色全要素生产率的影响是否存在异质性。由分组回归结果来看(如表7第5、6、7列),数字化基础设施、数字产业化和产业数字化对于农业绿色全要素生产率的影响存在差异,数字化基础设施和数字产业化的

回归系数显著为正,但数字化基础设施的系数更大,表明数字产业化的转型升级亟待进一步增强;同时,产业数字化的回归系数虽为正,但仅通过了5%水平的显著性检验,表明产业数字化对农业绿色全要素生产率的促进作用有限,其原因可能在于,一方面,尽管数字技术能够优化资源配置与提高生产效率,但在农业领域的应用深度和广度仍有待提升;另一方面,农业绿色全要素生产率的提升受到多种因素的制约,因此,需要加大数字技术在农业领域的应用力度,并综合考虑多种因素,协同推动农业绿色全要素生产率的提升。

#### 4. 省级农业粮食水平等级异质性分析

依据《国务院关于进一步深化粮食流通体制改革的意见》将样本分为主粮食产区和非主粮食产区进行差异性分析(结果如表7第8、9列所示)。结果表明,主粮食产区与非主粮食产区内的数字经济发展均会对农业绿色全要素生产率形成显著的促进作用,但主粮食产区的系数更为显著,表明此类区域通常具有规模化种植优势,农业基础设施和政策支持也更为集中,数字经济的“技术溢出效应”也更容易与现有资源形成适配,通过数据要素配置优化生产决策,从而降低了绿色技术的应用成本。同时,对于非主粮食产区来说,土地碎片化程度较高,而作物的种类又多样,数字技术的规模化应用面临适配性门槛,导致其对农业绿色全要素生产率的边际贡献相对较弱。

表7 异质性检验

	AGTFP								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	临近城市区位		临近城市等级		数字经济维度			临近城市农业属性	
	东部	西部	一线城市	非一线城市	数字化基础设施	数字产业化	产业数字化	主粮食产区	非主粮食产区
<i>Dig</i>	0.613*** (2.784)	2.426** (2.446)	0.840*** (3.336)	0.574* (1.723)	0.085*** (4.239)	0.081*** (3.631)	0.036** (2.187)	1.268*** (2.890)	0.627*** (3.775)
<i>_cons</i>	-3.901** (-2.029)	6.079* (1.771)	2.847 (1.278)	-9.336*** (-3.013)	-3.099* (-1.916)	-3.515** (-2.175)	-5.371*** (-3.260)	2.857 (0.491)	-4.128*** (-2.989)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
省份/年份效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	247	143	169	221	390	390	390	130	260
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.870	0.879	0.833	0.909	0.869	0.867	0.864	0.851	0.891
系数差异 <i>p</i> 值	0.039		0.048					0.021	

注: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ 。

#### (四) 机制检验

根据中介效应的分析结果,数字经济(*Dig*)对环境关注度(*ER*)的回归系数在1%的水平上显著为正(见表8中的第2列),表明数字经济的快速增长会显著提升地方政府的环境关注度。环境关注度(*ER*)对农业绿色全要素生产率的回归系数也显著为正(见表8中的第3列)。在引入中介变量环境关注度之后,数字经济的回归系数为0.534,且在1%的水平上显著,较未引入中介变量时的系数有所下降。这一结果证实了环境关注度在数字经济对农业绿色全要素生产率的影响中发挥着显著的中介作用。由此,假设2( $H_2$ )得到了验证。

表 8 机制检验

	(1)	(2)	(1)
	<i>AGTFP</i>	<i>ER</i>	<i>AGTFP</i>
<i>Dig</i>	0.722*** (4.623)	0.598*** (4.860)	0.534*** (3.217)
<i>ER</i>			0.326** (2.154)
<i>TBL</i>	1.680*** (2.635)	-0.029 (-0.057)	1.672*** (2.618)
<i>IS</i>	-0.183*** (-5.372)	0.035 (1.307)	-0.178*** (-5.129)
<i>OPEN</i>	-2.271*** (-5.313)	-0.352 (-1.047)	-2.258*** (-5.286)
<i>EDL</i>	-0.011 (-0.044)	-0.205 (-1.089)	-0.087 (-0.352)
<i>PD</i>	0.575*** (2.845)	-0.574*** (-3.610)	0.592*** (2.913)
<i>_cons</i>	-2.878* (-1.783)	4.900*** (3.857)	-3.012* (-1.856)
省份效应	Yes	Yes	Yes
年份效应	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	390	390	390
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.870	0.691	0.875

注: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ 。

### (五) 门槛效应检验

为验证数字经济发展对农业绿色全要素生产率影响的非线性特征,采用面板门槛模型进行分析。在数字经济发展水平(*Dig*)的门槛值 LR 图中(见图 1),似然函数最低点的对应值即为门槛值。

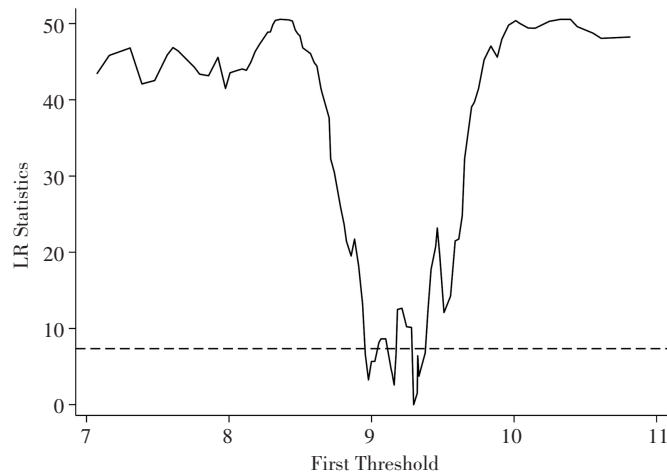


图 1 数字经济的 LR 图

由表9可知,以数字经济为门槛变量仅通过了单一门槛检验,其门槛值为9.2953。当数字经济的发展水平低于门槛值时,其回归系数为0.944,且在1%的水平上显著;当数字经济的发展水平高于门槛值时,其回归系数为1.113,且依旧在1%的水平显著,表明数字经济的蓬勃发展对农业绿色全要素生产率影响的溢出效应呈现显著的边际效用递增的非线性特征。由此,假设3得到了验证。

表9 门槛效应检验

门槛数	门槛值	F值	P值	10%临界值	5%临界值	1%临界值	95%的置信区间
单一门槛	9.2953	51.52	0.0000	21.89757	25.2313	35.3731	(9.1718, 9.3204)
							(1)
							AGTFP
							0.944***
							(0.261)
							1.113***
							(0.256)
							-6.659***
							(1.614)
							Yes
							390
							0.714

注: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ 。

### (六) 空间溢出效应

为检验农业绿色全要素生产率的空间溢出效应,本文构建空间杜宾模型进行实证分析。结果表明(见表10),第一,空间自回归系数(Spatial- $\rho$ )为0.381且在1%水平上显著,证实了特定地区农业绿色全要素生产率对邻近地区存在显著的正向空间溢出。第二,数字经济变量的直接效应系数为0.557且在1%水平显著,表明在控制空间效应后,数字经济仍是促进本地区农业绿色全要素生产率的关键驱动力。第三,数字经济变量的空间滞后项系数同样显著为正,揭示出本地区的数字经济发展能够显著提升邻近地区的农业绿色全要素生产率。

为进一步精确刻画空间效应的构成,本文基于偏微分方法将总效应分解为直接效应与间接效应。结果显示,数字经济对农业绿色全要素生产率的直接效应系数为0.623,间接效应系数高达1.217,二者均在1%水平上显著。这表明数字经济不仅对本地区农业绿色全要素生产率具有显著促进作用,其产生的空间溢出效应对邻近地区的影响更为强劲。综上,假设4得到充分验证。

表10 空间杜宾模型回归结果

	地理距离空间权重矩阵
	0.557***
Dig	(0.161)

续表10

	地理距离空间权重矩阵
$W * Dig$	0.623* (0.306)
$Spatial-rho$	0.381*** (0.067)
控制变量	Yes
省份固定	Yes
直接效应	0.623*** (0.164)
溢出效应	1.217*** (0.464)
总效应	1.840*** (0.501)
$Log-L$	398.417
$N$	390
$R^2$	0.005

注: \* $p < 0.1$ , \*\* $p < 0.05$ , \*\*\* $p < 0.01$ 。

## 五、研究结论与政策启示

### (一) 研究结论

基于 2011—2023 年省级城市的数字经济和农业绿色全要素生产率的综合水平,运用面板固定效应模型、门槛模型、空间模型和中介效应模型多维度实证检验了数字经济对农业绿色全要素生产率的影响及其内在机制。主要结论有:

第一,数字经济的发展会显著促进农业绿色全要素生产率的提升,环境关注度在其中发挥着显著的中介效应,且该结论通过了一系列的稳健性检验。第二,异质性检验发现,相较于西部地区、非一线城市和非粮食主产区,东部地区、一线城市和主粮食产区内的数字经济发展能够更显著地促进农业绿色全要素生产率的提升。其中,数字化基础设施和数字产业化水平在提升农业绿色全要素生产率过程中发挥了更为显著的作用,而产业数字化水平所发挥的积极效应还不显著,尚有提升空间。第三,数字经济发展的溢出效应呈现出“边际效应”递增的非线性变化趋势,且具有空间溢出效应,表明数字经济的发展还能够促进周边邻近地区农业绿色全要素生产率的提升,带动更广泛区域的农业绿色发展。

### (二) 政策启示

基于以上研究结论,本文提出以下政策启示:

第一,实施数字经济区域差异化发展战略。东部地区应着力推动数字技术与农业的深度融合,发展

智慧农业;西部地区应将建设重点放在完善农村数字基础设施上,降低技术应用门槛;主粮食产区则应聚焦规模化、集约化的数字农业应用,提升要素配置效率。

第二,构建环境关注的长效制度转化机制。建议将环境关注度纳入地方政府绩效考核体系,激励其出台绿色发展专项基金与数字技术环保应用标准等具体举措。同时,建立跨区域生态协同治理机制,以增强数字经济的正向空间溢出效应。

第三,破解农业数字化的主体与场景瓶颈。针对小农主体,应加强数字技能培训与普惠性补贴,提升其采纳意愿与应用能力。同时,应拓展农产品溯源与农机共享等多元化应用场景,提高农业全产业链的数字化水平。

第四,优化与协同数字经济支持政策。依据数字经济发展的门槛特征,对已跨门槛的地区强化技术创新支持;对未跨门槛的地区优先补齐基础设施短板,推动其跨越发展门槛。政策资源应适度向非主粮食产区和西部欠发达地区倾斜,以更大范围释放数字红利,赋能农业新质生产力培育与乡村全面振兴。

#### 参考文献:

- [1] 孙畅,孙笑笑,张妮.数字经济、创新驱动与成渝地区双城经济圈城市经济韧性[J].重庆工商大学学报(社会科学版),2025(2):13-28.
- [2] 刘静.以农业新质生产力提升农业绿色全要素生产率[J].中州学刊,2024(12):23-29.
- [3] LIU J, FENG X, LIU J, et al. Digital Economy and Industrial Structure Transformation: Mechanisms for High-Quality Development in China's Agriculture and Rural Areas [J]. Agriculture, 2024(10): 1769-1769.
- [4] SONG Y G, ZHANG B C, WANG J H, et al. The impact of climate change on China's agricultural green total factor productivity [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 185: 122054.
- [5] 李健旋.农村金融发展与农业绿色全要素生产率提升研究[J].管理评论,2021(3):84-95.
- [6] 宋美喆,柴江艺.数字经济背景下环境规制对绿色全要素生产率的影响——基于城市面板数据的分析[J].中国流通经济,2023(6):14-26.
- [7] 刘海霞,马恬.数字技术赋能生态文明建设:价值、困境与进路[J].长沙理工大学学报(社会科学版),2025(6):59-64.
- [8] 徐永慧,尹朝静.环境规制下中国农业绿色全要素生产率的测算[J].统计与决策,2021(18):50-54.
- [9] 马国群,谭砚文.环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究——基于面板门槛模型的分析[J].农业技术经济,2021(5):77-92.
- [10] 李本庆,岳宏志.数字经济赋能农业高质量发展:理论逻辑与实证检验[J].江西财经大学学报,2022(6):95-107.
- [11] 傅华楠,李晓春.数字经济驱动中国农业现代化的机制与效应[J].华南农业大学学报(社会科学版),2023(3):18-31.
- [12] 刘慧敏,尚杰.农地流转对农业绿色全要素生产率的影响研究:兼论门槛效应与空间效应[J].中国生态农业学报(中英文),2023(9):1482-1495.
- [13] 邵莹莹,花俊国,李冰冰.数字经济对城乡融合发展的赋能效应与机制研究[J].农业现代化研究,2024(3):477-487.
- [14] 陈诗一,陈登科.雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J].经济研究,2018(2):20-34.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] WANG Q Y. Fixed-effect panel threshold model using Stata [J]. Stata Journal, 2015, 15: 121-134.
- [18] 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(8):5-23.

## Digital Economy, Environmental Concerns, and Agricultural Green Total Factor Productivity

ZHANG Xianhua, HAN Weimin, WANG Xiaozhen

(School of Accounting, Lanzhou University of Finance and Economics, Lanzhou 730020, Gansu, China)

**Abstract:** To clarify the impact mechanism of the digital economy on agricultural green total factor productivity, this paper conducts empirical tests based on provincial panel data from China spanning 2011 to 2023. The results indicate that the digital economy significantly enhances agricultural green total factor productivity. Furthermore, mechanism tests reveal that the digital economy improves agricultural green total factor productivity by strengthening local governments' environmental concerns. Heterogeneity analysis shows that the eastern region, first-tier cities, and major grain-producing areas benefit more from the development of the digital economy, leading to greater improvements in agricultural green total factor productivity. Finally, threshold and spatial models unveil that the digital economy exhibits nonlinear characteristics of increasing "marginal effects" and spatial spillover effects. Accordingly, the paper proposes implementing differentiated digital empowerment strategies to fully unleash its spatial contributions to agricultural green development, providing policy references for fostering new quality productive forces in agriculture and promoting comprehensive rural revitalization.

**Keywords:** digital economy; agricultural green total factor productivity; environmental concerns; new quality productive forces in agriculture; rural revitalization

(责任编辑:邓龙奎)