

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.08.003

赵莹, 魏晓博. 数字经济赋能区域绿色发展的效应与机制研究——基于技术创新和产业升级的中介效应 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(8): 21-30.

# 数字经济赋能区域绿色发展的效应与机制研究

## ——基于技术创新和产业升级的中介效应

赵莹<sup>1</sup>, 魏晓博<sup>2</sup>

1. 西南大学 财务部, 重庆 400715; 2. 贵州财经大学 会计学院, 贵阳 550025

**摘要:** 本文基于技术创新和产业升级的中介效应, 根据我国 2011—2020 年其中 31 个省份面板数据, 运用熵值法测算数字经济发展水平和区域绿色发展水平, 并实证研究数字经济对区域绿色发展的影响及作用机制。研究表明: 数字经济发展水平显著促进了区域绿色发展水平, 技术创新和产业升级也有利于提高区域绿色发展水平; 从中介效应结果来看, 技术创新和产业升级为数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的部分中介变量, 并且, 技术创新还通过产业升级影响区域绿色发展水平; 从链式中介效应路径系数大小来看, 路径①数字经济发展水平→技术创新→区域绿色发展水平, 以及路径②数字经济发展水平→产业升级→区域绿色发展水平的影响系数较大, 为主要传导路径。

**关键词:** 数字经济; 绿色发展; 技术创新; 产业升级; 熵值法

中图分类号: F062.2; F492; X22

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2023)08-0021-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Effect and Mechanism of Digital Economy Empowering

### Regional Green Development

#### ——Based on the Mesomeric Effect of

#### Technological Innovation and Industrial Upgrading

ZHAO Xuan<sup>1</sup>, WEI Xiaobo<sup>2</sup>

1. Finance Department, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. School of Accounting, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550000, China

**Abstract:** Based on the Mesomeric effect of technological innovation and industrial upgrading, according to the panel data of 31 provinces in China from 2011 to 2020, this paper uses entropy method to calculate the digital economy development level and regional green development level, and then empirically studies the impact and mechanism of digital economy on regional green development. The results show that digital e-

收稿日期: 2022-09-26

基金项目: 重庆市社科规划项目(2016QNGL64).

作者简介: 赵莹, 博士, 高级会计师, 主要从事财务相关研究.

通信作者: 魏晓博, 博士, 副教授, 硕士研究生导师.

economy development level significantly promotes regional green development level. Technological innovation and industrial upgrading are also conducive to improving the level of regional green development. From the results of mesomeric effect, technological innovation and industrial upgrading are the partial mediating variables which impact the digital economy development level on regional green development level. In addition, from the perspective of the path coefficient of chain intermediary effect, the influence coefficients of path ① digital economy development level→technological innovation→regional green development level, and path ② digital economy development level→industrial upgrading→regional green development level are larger, which are the main transmission paths.

**Key words:** digital economy; green development; technological innovation; industrial upgrading; entropy method

目前,我国经济发展已转向高质量发展阶段,不再单纯追求经济高速增长,而是兼顾环境与经济效益.党的二十大报告明确指出,我们坚持可持续发展,坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针,像保护眼睛一样保护自然和生态环境.推进绿色发展、建设美丽中国迎来新机遇.由此可见,绿色发展是实现高质量发展、可持续发展的内在要求和必由之路<sup>[1]</sup>.以互联网和大数据为核心的数字技术作为经济发展的新动力,已成为促进绿色发展的重要驱动力量和引领经济高质量发展的重要引擎.《中国数字经济发展报告(2022年)》显示,2021年我国数字经济规模达到45.5万亿元,同比名义增长16.2%,占GDP比重为39.8%,数字经济作为国民经济的“稳定器”和“加速器”的贡献更加凸显,作用更加稳固.

数字经济的蓬勃发展显著提高了经济体的技术创新水平,而技术创新又是促进绿色发展的关键因素.数字经济还通过推动产业升级促进资源优化配置,实现经济增长向技术和知识密集型转变,有效提高资源利用率和降低环境污染,为新发展阶段的绿色发展提供新的路径.因此,着眼数字经济和绿色发展之间的内在逻辑,从数理上检验数字经济和绿色发展之间的内在关系,有利于推进生态文明建设,描绘“双碳”蓝图,对我国实现绿色发展、高质量发展具有重要的理论价值和现实意义.

那么,数字经济能否赋能区域绿色发展?其作用机制是什么?近年来,学界关于数字经济、技术创新、产业升级与绿色发展内容的相关研究日益增多,主要聚焦于探讨以下内容:一是数字经济对绿色发展的影响,研究发现数字经济显著促进了绿色发展<sup>[2-3]</sup>,而且这种作用随着数字经济发展水平的提高呈现不断增强的非线性特征<sup>[4]</sup>;二是技术创新、产业升级对绿色发展的影响,认为技术创新和产业升级均有利于绿色发展水平的提高<sup>[5]</sup>;三是数字经济对技术创新、产业升级的影响,认为数字经济能够促进技术创新和产业结构升级<sup>[6-7]</sup>;四是在数字经济影响绿色发展的作用机制方面,产业升级<sup>[8]</sup>,试错成本降低,生产工艺流程优化,资源利用率和设备运行效率提高,供应链绿色化及回收绿色化等发挥着重要作用<sup>[9]</sup>.以往研究总体上认为数字经济、技术创新、产业升级有利于促进绿色发展,数字经济对技术创新和产业升级具有正向作用,为本文研究提供了前期参考.虽然研究数字经济与绿色发展的文献呈增长趋势,研究视角多元,但实证研究两者之间的作用机理的文献相对较少,并且将多个中介变量纳入同一模型中,同时检验数字经济影响绿色发展的作用机理的文献尚不多见.

鉴于此,本文利用2011—2020年我国31个省份面板数据(未含港澳台数据),在运用熵值法分别测算数字经济发展水平和区域绿色发展水平的基础上,实证研究数字经济对区域绿色发展的影响,并引入技术创新和产业升级两个中介变量构建链式中介模型,探究数字经济影响区域绿色发展的作用机理,以期为经济绿色发展提供意见参考.本文创新之处在于,考虑技术创新和产业升级两个中介变量之间存在影响关系,更加直观反映数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的路径畅通性和影响系数大小,找出主要传导路径,并采用链式多重中介效应检验其中的传导路径.

## 1 理论分析与模型构建

### 1.1 理论分析

我国数字经济发展进入快车道,已成为国民经济的核心增长点之一<sup>[10]</sup>,从多个方面提升了经济绿色发

展水平. 在参与经济活动的过程中, 数字经济使用数据要素突破了传统要素的约束, 转变了以往高能耗、高污染的经济增长方式, 而且数据要素与劳动、土地、资本等传统生产要素的高度融合有利于提高资源利用率, 从而有效促进了绿色发展. 同时, 数字经济与传统经济形式不同, 前者以现代信息网络为载体, 具有虚拟性, 本身对环境的危害较小, 而且以知识和信息作为关键生产要素, 通过对传统产业的智能化改造, 降低资源消耗和环境污染, 从而促进绿色发展.

数字经济的发展除了直接影响绿色发展以外, 还具有一定的间接影响. 具体表现在, 数字技术本身作为一项通用技术, 具有技术创新、技术积累等特征. 数字经济有利于加速信息的流动, 使得知识溢出效应和交互效应的成本更低、速度更快<sup>[11]</sup>, 能够实现高效率、低成本和较少资源损耗的技术创新<sup>[12]</sup>, 从而提升整体社会创新水平. 由此, 数字经济作为资源集约、产出高效、效率提升和经济结构优化的重要推动力, 有利于推动技术创新, 在全社会范围内形成绿色生产方式和生活方式, 减轻生态环境的负担, 进而推动绿色发展<sup>[13]</sup>.

另外, 数字经济以数据、信息为关键生产要素, 一方面可以衍生出一批新业态、新产业以调整产业结构, 另一方面可以通过数据要素与劳动、土地和资本等传统要素的高度融合, 促进产业数字化转型<sup>[14]</sup>, 优化产业结构, 进而通过边际成本递减、边际效益递增、规模经济、精准配置、效率提升和创新赋能等路径促进产业结构升级<sup>[15]</sup>, 而产业机构的合理化、高级化、生态化和高效化有利于实现高质量的绿色发展<sup>[16]</sup>. 而且, 技术创新还有力推动了产业升级, 引导传统产业向战略性新兴产业转型升级, 不断优化产业结构, 达到提高资源利用率和减少污染的效果, 实现绿色发展<sup>[17]</sup>. 因此, 本文提出数字经济可通过促进技术创新和产业升级的路径推动区域绿色发展.

## 1.2 模型构建

为了实证研究数字经济对区域绿色发展的影响, 首先构建基准回归模型对其进行检验, 模型如下:

$$ECO_{it} = \alpha + \beta DE_{it} + \chi \sum CONTRONLS + \delta \quad (1)$$

式中,  $ECO_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年的绿色发展水平;  $DE_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年的数字经济发展水平;  $\sum CONTRONLS$  为各控制变量;  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\chi$  为待估参数;  $\delta$  为随机误差项.

进一步, 为检验技术创新和产业升级在数字经济影响区域绿色发展中是否存在中介效应, 设置如下模型:

$$ECO_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DE_{it} + \alpha_2 \sum CONTRONLS + \delta_1 \quad (2)$$

$$M_{it}^n = \beta_0 + \beta_1 DE_{it} + \beta_2 \sum CONTRONLS + \delta_2 \quad (3)$$

$$ECO_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 DE_{it} + \gamma_2 M_{it}^n + \gamma_3 \sum CONTRONLS + \delta_3 \quad (4)$$

式中,  $ECO_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年的绿色发展水平;  $DE_{it}$  表示  $i$  省份第  $t$  年的数字经济发展水平;  $M$  表示中介变量(本文为技术创新和产业升级);  $\sum CONTRONLS$  为控制变量;  $\alpha_0$ 、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 、 $\beta_0$ 、 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\gamma_0$ 、 $\gamma_1$ 、 $\gamma_2$ 、 $\gamma_3$  分别为待估系数;  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$  为随机误差项.

本文采用中介效应检验流程<sup>[18]</sup>, 使用 Bootstrap 法替代 Sobel 法. 采用 Bootstrap 法检验系数乘积, 即  $\beta_1 \times \gamma_2$  的显著性水平. 若系数乘积  $\beta_1 \times \gamma_2$  的结果显著, 则认为数字经济在影响区域绿色发展的过程中存在显著的间接效应; 但如果系数乘积  $\beta_1 \times \gamma_2$  的结果不显著, 则认为数字经济在影响区域绿色发展的过程中不存在显著的间接效应, 即不存在中介效应. 检验数字经济影响区域绿色发展的系数  $\gamma_1$  的显著性. 若系数  $\gamma_1$  不显著, 则认为数字经济在影响区域绿色发展的过程中不存在显著的直接效应, 即只存在间接效应; 若影响系数  $\gamma_1$  显著, 则认为数字经济在影响区域绿色发展的过程中除了存在显著的直接效应之外, 可能还存在其他中介变量. 比较系数乘积  $\beta_1 \times \gamma_2$  和系数  $\gamma_1$  的符号方向. 若两者正负号相同, 意味着数字经济影响区域绿色发展的中介效应显著, 存在部分中介效应, 中介效应占直接效应的比例为  $\beta_1 \times \gamma_2 / \gamma_1$ ; 反之, 若两者正负号相反, 则意味着数字经济影响区域绿色发展的中介效应不显著, 存在遮掩效应, 间接效应占直接效应比例的绝对值为  $|\beta_1 \times \gamma_2 / \gamma_1|$ .

考虑到技术创新和产业升级两个中介变量之间可能存在影响关系, 为更加直观反映数字经济发展水平

影响区域绿色发展水平的路径畅通性和影响系数大小,找出主要传导路径,本文采用链式多重中介效应检验其中的传导路径,其表现形式如图 1 所示。

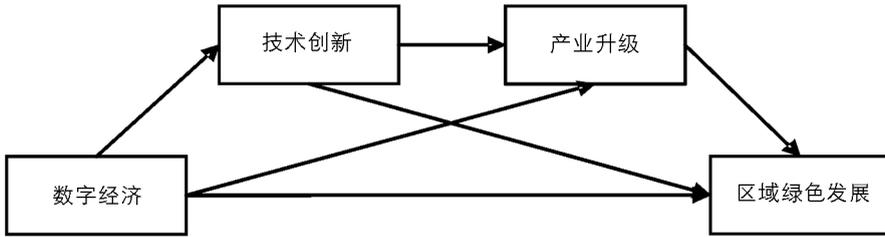


图 1 链式多重中介表现形式

## 2 数据来源与变量说明

本文以 2011—2020 年我国其中 31 个省份为研究对象,研究数字经济对区域绿色发展情况的影响及作用机制。文中所用数据来源于 2011—2020 年《中国统计年鉴》,各省份《统计年鉴》,《中国科技统计年鉴》和 Wind 数据库。对于部分缺失值的处理参照学界常见做法,采用插值法对其补足。

### 2.1 被解释变量

被解释变量为区域绿色发展水平(ECO)。绿色发展着眼于解决人与自然的和谐问题,本文参考相关文献,从单位 GDP 能耗(反映生产产出的能源消耗情况)、能源消费弹性系数(反映能耗情况)、单位产出的废水和单位产出的废气(反映生产产出对环境的污染情况)等指标综合评价区域绿色发展水平<sup>[19]</sup>,具体见表 1。

表 1 区域绿色发展水平和数字经济发展水平衡量指标

	衡量指标	指标说明	指标属性
区域绿色发展水平	单位 GDP 能耗	煤炭基础储量/GDP	-
	能源消费弹性系数	单位 GDP 能耗增速	-
	单位产出的废水	废水排放总量/GDP	-
	单位产出的废气	废气中二氧化硫排放量 /GDP	-
数字经济发展水平	互联网用户数	互联网普及率	+
	互联网从业人员占比	计算机和软件从业人员占比	+
	互联网产出	人均电信业务总量	+
	移动互联网用户数	移动电话普及率	+
	数字普惠金融指数	数字化设施水平	+

### 2.2 核心解释变量

核心解释变量为数字经济发展水平(DE)。数字经济以网络、信息为载体,本文参考相关文献,数字经济发展水平指标包括:互联网用户数(反映网络规模)、互联网从业人员占比(反映与网络相关的行业规模)、互联网产出(反映用户利用网络情况)、移动互联网用户数(反映移动网络规模)和数字普惠金融指数(反映地区数字化设施水平)<sup>[20]</sup>,具体见表 1。

本文采用熵值法对数字经济发展水平和区域绿色发展水平进行综合评价,其方法及步骤如下:

首先,对指标进行标准化处理。由于反映数字经济发展水平和区域绿色发展水平的指标中有绝对量、相对量、占比量、综合指数等不同量纲和单位,无法统一计算和比较,为使结果具有可比性,需要对各个指标进行标准化处理。借鉴相关研究成果的改进功效系数法,各指标取值范围为[40, 100]。

正向指标标准化:

$$x'_{ijk} = \frac{x_{ijk} - x_{\min k}}{x_{\max k} - x_{\min k}} \times 60 + 40 \quad (5)$$

负向指标标准化:

$$x'_{ijk} = \frac{x_{\min k} - x_{ijk}}{x_{\min k} - x_{\max k}} \times 60 + 40 \quad (6)$$

式中  $x_{\min k}$ ,  $x_{\max k}$ , 分别表示第  $k$  个指标在  $n$  个省市  $r$  个年份中的最小值与最大值。

其次,计算指标的比重:

$$y_{ijk} = x'_{ijk} / \sum_i \sum_j x'_{ijk} \quad (7)$$

再次,计算第  $k$  项指标的熵值:

$$S_k = -\frac{1}{\theta} \sum_i \sum_j y_{ijk} \ln(y_{ijk}) \quad (8)$$

计算第  $k$  项指标的信息效用值:

$$g_k = 1 - S_k \quad (9)$$

计算第  $k$  项指标的权重:

$$\omega_k = g_k / \sum_k g_k \quad (10)$$

最后,计算各省份每年的综合得分:

$$h_{ij} = \sum_k \omega_k x'_{ijk} \quad (11)$$

### 2.3 中介变量

中介变量包括技术创新( $TI$ )和产业升级( $IU$ )。技术创新反映科技水平,以各省份发明专利授权量作为技术创新的代理变量,并取对数处理。产业升级反映产业结构情况,借鉴常用量化方式,以第三产业增加值与第二产业增加值之比表示。

### 2.4 控制变量

参考相关研究成果和根据本文研究目的,选取主要控制变量如下:

- 1) 经济增长水平( $ED$ )。反映区域经济发展状况,以人均 GDP 衡量。
- 2) 政府规模( $SG$ )。反映区域政府能力,以地方政府财政支出衡量,并取对数处理。
- 3) 基础设施建设水平( $ISL$ )。反映区域发展能力,以人均道路面积衡量。
- 4) 人力资本水平( $HC$ )。反映区域劳动力质量,以普通高等学校在校学生数占常住人口数的比重衡量。

各变量描述统计如表 2 所示。区域绿色发展水平的均值为 83.309,整体来看我国生态文明建设取得显著性成就,但最大值为 97.225,最小值仅为 54.750,区域差异较大,区域绿色发展不平衡现象突出。各省份数字经济发展水平最大值高达 95.189,最小值仅为 41.155,区域数字经济发展水平也参差不齐。中介变量技术创新的最大值为 13.473,最小值为 4.796,均值为 9.964,说明大部分省份的技术创新水平较高,我国创新能力显著增强。中介变量产业升级的最大值为 5.297,最小值为 0.527,均值仅为 1.335,说明整体上我国产业升级仍处于较低水平。从控制变量来看,区域基础设施建设水平差异也较大。

表 2 变量描述性统计

变量	符号	均值	标准差	最小值	最大值
区域绿色发展水平	$ECO$	83.309	6.420	54.750	97.225
数字经济发展水平	$DE$	54.790	9.881	41.155	95.189
技术创新	$TI$	9.964	1.620	4.796	13.473
产业升级	$IU$	1.335	0.721	0.527	5.297
经济增长水平	$ED$	10.780	0.448	9.691	12.013
政府规模	$SG$	8.339	0.614	6.559	9.766
基础设施建设水平	$ISL$	15.901	4.768	4.040	26.780
人力资本水平	$HC$	1.968	0.554	0.805	4.125

### 3 实证结果与分析

#### 3.1 结果分析

考虑到数字经济发展水平与区域绿色发展水平之间可能存在如遗漏变量、反向因果等问题引起的结果偏误,为处理该问题,本文使用工具变量对模型进行两步 GMM 估计,以作为稳健性检验.以各省份人均移动短信业务量和同年度其他省份数字经济发展水平的均值作为工具变量,其合理性在于,一方面数字经济发展具有空间溢出性,其他省份数字经济发展水平与本省份数字经济发展水平相关,但另一方面与本省份绿色发展水平之间没有直接联系.估计结果如表 3 所示.

表 3 数字经济发展水平对区域绿色发展水平影响的回归结果

变量	模型(1)	模型(2)	模型(3)
<i>DE</i>	0.262*** (0.049)	0.319*** (0.049)	0.338*** (0.049)
<i>TI</i>		7.209*** (1.438)	7.944*** (1.475)
<i>IU</i>			3.454* (1.953)
<i>ED</i>	15.877*** (5.480)	12.660** (5.287)	14.518*** (5.324)
<i>SG</i>	22.124*** (3.908)	16.125*** (3.938)	11.813*** (4.600)
<i>ISL</i>	1.255*** (0.213)	1.207*** (0.205)	1.218*** (0.204)
<i>HC</i>	6.257** (2.792)	3.585 (2.719)	2.112 (2.870)
<i>Sargan</i>	0.887	0.607	0.393
<i>Hansen J</i>	0.874	0.576	0.362

注:括号里为标准误,\*、\*\*、\*\*\*分别代表在10%、5%、1%水平上差异具有统计学意义;*Hansen J*和*Sargan*的输出结果为相应检验的*p*值.后表同.

从检验结果来看,模型工具变量的使用是有效的,两步 GMM 模型所得检验结果具有一定可信度.结果显示,数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的回归系数在1%的水平上差异具有统计学意义,数字经济的发展能够正向促进区域绿色发展.

从表 3 模型(1)至(3)中可以看出,数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的系数均显著为正,符合理论预期.说明数字经济发展水平的提高显著地促进了区域绿色发展水平,数字经济呈现出了一定的绿色效应.原因在于数字经济以信息和知识为关键生产要素,具有高附加性、价值增值性、边际成本递减、边际效益递增、可持续性特征,能够在促进经济发展的同时,减少传统产业对资源的过度消耗和对环境造成的损害,从而实现绿色发展,能够兼顾经济效应和环境效应.同时,从模型(2)和(3)中还可得出,技术创新和产业升级对区域绿色发展水平的影响系数也均为正,说明技术创新和产业升级能够促进区域绿色发展.其原因在于技术创新使资源利用效率进一步提升,有利于减少环境污染和生态破坏,提高环境质量;而产业升级通过结构效应实现生产要素的优化组合,改变产业能源消耗与环境污染分布,进而影响各地区绿色发展水平.

### 3.2 中介效应

进一步地,以数字技术为依托的数字经济发展,有效推动了技术创新水平.而且数字经济本身作为一种经济形式,是市场经济的重要组成部分,直接促进了产业升级,技术创新和产业升级正是影响区域绿色发展水平的重要因素.因此,本文认为数字经济可通过促进技术创新和产业升级影响区域绿色发展.同时,技术创新还可推动产业升级,引导传统产业迈向战略性新兴产业,进而达到提高资源利用率和减少污染的效果,促进区域绿色发展.鉴于此,本文利用中介效应模型进一步分析数字经济如何赋能区域绿色发展.表4根据Bootstrap法检验了系数乘积 $\beta_1 \times \gamma_2$ 的显著性情况,结果显示, $\beta_1 \times \gamma_2$ 在95%的置信区间不包括0,表明系数乘积 $\beta_1 \times \gamma_2$ 显著,数字经济发展水平与区域绿色发展水平之间存在中介效应.

表4 系数乘积 $\beta_1 \times \gamma_2$ 的Bootstrap检验

变量	中介变量	估计系数	Bootstrap 标准误	z 值	95%置信区间
DE	TI	0.107	0.018	6.07	[0.073, 0.142]
DE	IU	0.125	0.017	7.19	[0.091, 0.159]
TI	IU	0.108	0.014	7.45	[0.079, 0.136]

注:Bootstrap次数选取500次.

从表5可以看出,在不考虑其他变量影响的情况下,模型(1)(3)和(6)中, $\alpha_1$ 均在1%的水平上显著为正,说明数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的总效应显著; $\beta_1$ 均在1%的水平上显著为正,表明数字经济发展水平显著促进了技术创新; $\gamma_2$ 均在1%的水平上显著为正,这意味着数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的间接效应显著,技术创新为数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的中介变量. $\gamma_1$ 均在1%的水平上显著为正,这意味着数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的直接效应显著.同时,系数乘积 $\beta_1 \times \gamma_2$ 与 $\gamma_1$ 符号一致,均为正,说明技术创新为数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的部分中介变量,中介效应为28.28%.原因在于,数字经济加速了信息传播和流动的速度,使得知识和技术具有较强的溢出效应,从而推动了核心技术创新,而技术创新有利于实现资源集约化和生产高效化,从而实现区域绿色发展.

表5 中介效应估计结果

变量	ECO		TI		IU		ECO	
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)	模型(5)	模型(6)	模型(7)	模型(8)
DE	0.379*** (0.030)		0.847*** (0.058)	0.041*** (0.003)		0.272*** (0.038)	0.254*** (0.038)	
TI		0.256*** (0.024)			0.029*** (0.002)	0.126*** (0.028)		0.149*** (0.028)
IU							3.063*** (0.598)	3.772*** (0.585)

同理,模型(1)(4)和(7)结果显示,产业升级为数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的部分中介变量,中介效应为32.95%.原因在于,数字经济的发展不仅促进了虚拟经济形态产业的发展,还推动了数字经济与实体经济的深度融合,有利于优化产业结构、促进产业升级,而产业升级有利于形成绿色生产方式和生活方式,减轻生态环境的负担,以提高区域绿色发展水平.

模型(2)(5)和(8)结果显示,产业升级为技术创新影响区域绿色发展水平的部分中介变量,中介效应为41.93%.原因在于,技术创新实现了产业内部扩张,还创造了新的产业体系,有利于提高整体产业发展水平和结构层次,推动产业升级,进而实现区域绿色发展.结合模型(1)(3)和(6)的结论,技术创新为数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的部分中介变量,可推断数字经济通过技术创新推动产业升级进而影响区域绿色发展,但实际结论有待进一步验证.

### 3.3 链式中介效应

一方面考虑到技术创新和产业升级之间存在影响关系,另一方面,为更加直观地反映数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的路径畅通性和影响系数大小,找出主要传导路径,为数字经济如何更好地推动区域绿色发展提供针对性建议,本文进一步采用链式多重中介效应检验分析数字经济发展水平、技术创新、产业升级、区域绿色发展水平之间可能存在的传导路径。根据前文理论分析,将检验路径①数字经济发展水平→技术创新→区域绿色发展水平,路途②数字经济发展水平→产业升级→区域绿色发展水平,路途③数字经济发展水平→技术创新→产业升级→区域绿色发展水平,共 3 条链式过程的畅通性和重要性。

表 6 为数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的路径检验,包括直接效应与间接效应。路径系数及检验结果显示,数字经济发展水平对区域绿色发展水平的直接效应系数为 0.203,置信区间检验为 $[0.135, 0.272]$ 。数字经济发展水平对区域绿色发展水平的总间接效应系数为 0.145,置信区间检验为 $[0.109, 0.181]$ 。检验区间均不包括 0 值,由此表明数字经济发展水平影响绿色发展水平的直接效应与总间接效应显著,而且从系数大小来看,直接效应大于间接效应。

表 6 数字经济发展水平对绿色发展水平影响路径系数及检验结果

	影响路径	路径系数	95%置信区间
直接效应	数字经济发展水平→区域绿色发展水平	0.203*** (0.035)	[0.135, 0.272]
总间接效应	数字经济发展水平→区域绿色发展水平	0.145*** (0.018)	[0.109, 0.181]
路径①	数字经济发展水平→技术创新→区域绿色发展水平	0.076*** (0.018)	[0.041, 0.110]
路径②	数字经济发展水平→产业升级→区域绿色发展水平	0.069*** (0.015)	[0.039, 0.098]
路径③	数字经济发展水平→技术创新→产业升级→区域绿色发展水平	0.001*** (0.001)	[0.001, 0.002]

在数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的间接效应中,路径①②③置信区间检验均不包括 0 值,表明这 3 条路径显著畅通。从影响路径的系数大小来看,数字经济发展水平通过促进技术创新进而影响区域绿色发展水平的路径系数为 0.076;数字经济发展水平通过推进产业升级进而促进区域绿色发展水平的路径系数为 0.069;数字经济发展水平通过促进技术创新从而推动产业升级,进而影响区域绿色发展水平的路径系数为 0.001。其中,路径①数字经济发展水平→技术创新→区域绿色发展水平的系数最大,是数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的主要传导路径;路径②数字经济发展水平→产业升级→区域绿色发展水平的系数略低于路径①,也是主要传导路径。由此可见,在数字经济赋能区域绿色发展过程中,我们既要重视技术创新,也要推动产业升级,多措并举,打好组合拳,实现经济效益和环境效益的统一。而路径③数字经济发展水平→技术创新→产业升级→区域绿色发展水平虽然畅通,但系数较小,不是主要路径。

结合前文研究,技术创新在数字经济发展水平影响区域绿色水平发展中的中介效应为 28.28%,产业升级在数字经济发展水平影响区域绿色发展水平中的中介效应为 32.95%,产业升级在技术创新影响区域绿色发展水平中的中介效应为 41.93%,中介效应显著,但数字经济发展水平通过促进技术创新从而推动产业升级,进而影响区域绿色发展水平的路径系数仅为 0.001,说明在数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的过程中,技术创新和产业升级分别作为中介变量发挥作用,影响路径的链条较短,由此要重视技术创新与产业升级的联动作用,发挥乘数效应。

### 3.4 稳健性检验

为进一步验证“数字经济发展水平显著促进了区域绿色发展水平”这一结论是否稳健,通过分区域和

替换区域绿色发展水平的衡量指标进行检验,结果如表 7 所示。

表 7 稳健性检验结果

变量	区域			替换变量
	东部	中部	西部	区域绿色发展水平
	模型(1)	模型(2)	模型(3)	模型(4)
数字经济发展水平	0.167** (0.071)	0.449*** (0.083)	0.274*** (0.105)	0.254*** (0.038)
控制变量	是	是	是	是
<i>Sargan</i>	0.29	0.211	0.245	0.615
<i>Hansen J</i>	0.269	0.263	0.325	0.634

表 7 中模型(1)至(3)将区域划分为东部、中部、西部地区后,数字经济发展水平依然显著正向促进区域绿色发展水平。从影响系数来看,中部地区数字经济发展水平促进区域绿色发展水平的程度最高,其次是西部地区,最后是东部地区。原因在于,东部地区省份数字经济发展水平和区域绿色发展水平普遍较高,两者的影响程度较其他地区而言较低;中部地区省份数字经济发展水平和区域绿色发展水平正快速提高,两者的关系更为突出。总体而言,各地区的数字经济发展水平显著促进了区域绿色发展水平。

模型(4)采用主成分分析法重新衡量数字经济发展水平,并参照《中国绿色发展指数报告——区域比较》的绿色发展指数指标体系,从经济增长绿化度、资源环境承载潜力和政府政策支持度 3 个一级指标衡量各省份绿色发展水平。结果显示,数字经济发展水平显著促进了区域绿色发展水平,结果具有较强稳健性。

## 4 结论和启示

本文基于 2011—2020 年我国其中 31 个省份面板数据,首先运用熵值法测算出各省份的数字经济发展水平和区域绿色发展水平,在此基础上实证研究数字经济发展水平对区域绿色发展水平的影响及作用路径。研究结果表明:(1)数字经济发展水平在一定程度上显著促进区域绿色发展水平,数字经济呈现出一定的绿色效应。同时,技术创新和产业升级也促进了区域绿色发展水平。(2)从中介效应结果来看,技术创新和产业升级都是数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的部分中介变量,由此说明数字经济发展水平可通过促进技术创新和推动产业升级进而影响区域绿色发展水平;并且,产业结构升级为技术创新影响区域绿色发展水平的部分中介变量,技术创新还通过产业升级影响区域绿色发展水平。(3)从链式中介效应结果来看,数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的直接效应与总间接效应皆为显著,从系数大小来看,直接效应大于间接效应。另外,根据间接效应的显著性,数字经济发展水平影响区域绿色发展水平的作用路径有以下 3 条:①数字经济发展水平→技术创新→区域绿色发展水平,②数字经济发展水平→产业升级→区域绿色发展水平,③数字经济发展水平→技术创新→产业升级→区域绿色发展水平。其中,路径①数字经济发展水平→技术创新→区域绿色发展水平,以及路径②数字经济发展水平→产业升级→区域绿色发展水平的影响系数较大,为主要作用路径;路径③数字经济发展水平→技术创新→产业升级→区域绿色发展水平虽然畅通,但系数较小,不是主要路径。

基于以上研究结论,得到如下政策启示:

第一,稳步加大新型基础设施建设,夯实数字经济发展载体。数字经济在推动区域绿色发展方面具有重要作用,政府要统筹全局,明晰数字经济未来发展方向和目标,加大对互联网、5G、人工智能、区块链等新型基础设施建设,推动数字化基础设施的全面覆盖,不断优化数据、信息、劳动和资本等要素的合理流动,推动区域数字经济发展。当前,在推进新型基础设施建设的过程中要考虑各区域的现实情况和资源禀赋,提高区域数字经济发展水平,实现由数字经济发展带来的经济、环境双重效益。

第二,持续加强“数字中国”建设,扩大信息、知识的溢出效应,提高社会技术创新水平。依托数字化基础设施,加大自主创新和研发力度,鼓励社会群体探索数字经济在推动技术创新方面的积极作用,以及加大创新技术应用和产品结构调整,推动创新成果转化,进而促进区域绿色高质量发展。

第三,充分发挥数据的生产要素作用,提高数字化产业、产业数字化比重,促进产业结构升级。一方面,利用数据、信息生产要素催生出一批环境友好型新业态、新产业,降低资源消耗和环境污染;另一方面将数据、信息新型生产要素融入劳动、资本等传统生产要素中,加大数字经济与传统产业的深度融合,提高数字化产业、产业数字化比重,优化国民经济产业结构,实现区域绿色发展。此外,在数字经济影响区域区域绿色发展过程中,要重视技术创新与产业升级的联动作用,发挥乘数效应。

### 参考文献:

- [1] 何维达,温家隆,张满银. 数字经济发展对中国绿色生态效率的影响研究——基于双向固定效应模型 [J]. 经济问题, 2022(1): 1-8, 30.
- [2] 周磊,龚志民. 数字经济水平对城市绿色高质量发展的提升效应 [J]. 经济地理, 2022, 42(11): 133-141.
- [3] ULUCAK R, DANISH, KHAN S U D. Does Information and Communication Technology Affect CO<sub>2</sub> Mitigation under the Pathway of Sustainable Development during the Mode of Globalization? [J]. Sustainable Development, 2020, 28(4): 857-867.
- [4] 王庆喜,胡安,辛月季. 数字经济能促进绿色发展吗? ——基于节能、减排、增效机制的实证检验 [J]. 商业经济与管理, 2022(11): 44-59.
- [5] 逯进,李婷婷. 产业结构升级、技术创新与绿色全要素生产率——基于异质性视角的研究 [J]. 中国人口科学, 2021(4): 86-97, 128.
- [6] 胡艳,王艺源,唐睿. 数字经济对产业结构升级的影响 [J]. 统计与决策, 2021, 37(17): 15-19.
- [7] 熊励,蔡雪莲. 数字经济对区域创新能力提升的影响效应——基于长三角城市群的实证研究 [J]. 华东经济管理, 2020, 34(12): 1-8.
- [8] 孙耀武,胡智慧. 数字经济、产业升级与城市环境质量提升 [J]. 统计与决策, 2021, 37(23): 91-95.
- [9] 陈素梅,李晓华. 数字经济驱动制造业绿色发展的作用机理 [J]. 企业经济, 2022, 41(12): 140-150.
- [10] 韩晶,陈曦,冯晓虎. 数字经济赋能绿色发展的现实挑战与路径选择 [J]. 改革, 2022(9): 11-23.
- [11] 魏丽莉,侯宇琦. 数字经济对中国城市绿色发展的影响作用研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(8): 60-79.
- [12] 韦施威,杜金岷,潘爽. 数字经济如何促进绿色创新——来自中国城市的经验证据 [J]. 财经论丛, 2022(11): 10-20.
- [13] CHIOU T Y, CHAN H K, LETTICE F, et al. The Influence of Greening the Suppliers and Green Innovation on Environmental Performance and Competitive Advantage in Taiwan [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2011, 47(6): 822-836.
- [14] 史丹. 数字经济条件下产业发展趋势的演变 [J]. 中国工业经济, 2022(11): 26-42.
- [15] 徐晓慧. 数字经济与经济高质量发展: 基于产业结构升级视角的实证 [J]. 统计与决策, 2022, 38(1): 95-99.
- [16] 顾剑华,王亚倩. 产业结构变迁对区域高质量绿色发展的影响及其空间溢出效应——基于我国省域面板数据的实证研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(8): 116-128.
- [17] 蔡延泽,龚新蜀,靳媚. 数字经济、创新环境与制造业转型升级 [J]. 统计与决策, 2021, 37(17): 20-24.
- [18] 温忠麟,叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展 [J]. 心理科学进展, 2014, 22(5): 731-745.
- [19] 孙豪,桂河清,杨冬. 中国省域经济高质量发展的测度与评价 [J]. 浙江社会科学, 2020(8): 4-14, 155.
- [20] 赵涛,张智,梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据 [J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.

责任编辑 任剑乔