

数字产业集聚对区域绿色创新效率的影响

李文川¹, 李培琴², 张安琪², 肖 满²

(1. 南昌航空大学文法学院, 南昌 330063; 2. 南昌航空大学经济管理学院, 南昌 330063)

摘要: 随着经济高质量发展,绿色创新已成为推动经济持续健康发展的关键力量。数字产业的集聚不仅能促进资源和要素的集中,还能推动产业的转型升级,从而提高区域绿色创新效率。基于 2012—2021 年 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港、澳、台地区)的面板数据,分别采用超效率-SBM 模型和区位熵对绿色创新效率和数字产业集聚评价指标进行测度,然后再检验数字产业集聚对绿色创新效率的影响及其作用机制。研究结果表明:数字产业集聚有助于提升区域绿色创新效率;因地理位置和科技投入水平的差异,数字产业集聚对区域绿色创新效率的提升效应在东部地区和高科技投入省份的作用更加显著。机制分析表明:数字产业集聚可以通过促进产业结构升级提高区域绿色创新效率。鉴于此,各省份积极推动数字产业集群的发展,科学制定差异化数字产业发展策略,促进产业结构升级,以此来助力区域绿色创新效率的稳步提升。

关键词: 数字产业集聚;绿色创新效率;产业结构升级;超效率-SBM 模型

中图分类号: F49 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)06-0113-08

党的二十大报告强调,绿色化和低碳化发展是推动经济社会向高质量发展的关键环节。随着经济的快速增长,资源消耗和环境问题日益严重,生态环境和经济发展之间的矛盾也变得愈发突出,已成为制约经济社会可持续发展的关键因素,为解决这一矛盾,绿色创新备受瞩目。作为“创新引领”和“绿色发展”的融合点,绿色创新兼顾了经济发展效益和生态保护效益,已成为突破资源环境约束,推动经济可持续发展的重要方式。为此,各地区积极探索提升绿色创新效率的途径,数字经济的蓬勃发展为其提供了可行方案。

近年来,由于云计算、大数据和互联网等新一代信息技术的迅猛发展,数字经济的发展规模持续扩大。根据中国数字经济发展研究报告中的数据^[1]显示,2021 年数字经济的发展规模为 45.5 万亿元,占 GDP 的 39.8%;2022 年为 50.2 万亿元,占 GDP 的 41.5%,可见数字经济已经成为国民经济不可或缺的一部分^[1]。加快发展数字经济,打造具有竞争力的数字产业集群,是把握新一轮科技革命和产业变革的战略选择,也是实现高质量发展的必由之路。

数字产业集聚作为数字经济发展的关键特征,使得数字企业和创新资源高度集中,不仅形成强大的协同创新网络,还促进了数字技术的迭代和应用,为绿色创新提供了良好的环境氛围和要素支撑。此外,数字产业集聚还促进了绿色创新系统的构建和产业结构的转型升级,一方面通过研发、推广和应用技术来降低研发绿色技术的成本和风险,推动绿色创新的蓬勃发展;另一方面通过提升资源的流动性和匹配度来优化资源配置,提升资源利用率,实现产业结构的转型升级。基于此,从数字产业集聚视角来研究区域绿色创新效率,选取了 2012—2021 年 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区)的面板数据为样本,探究数字产业集聚是否提升区域绿色创新效率,并进一步研究数字产业集聚对区域绿色创新效率的作用机制。

1 文献综述

绿色创新融合了绿色和创新双重属性,已成为中国实现经济可持续发展的必然选择。关于绿色创新的研究方法,现有研究主要采用指标法和效率

收稿日期: 2024-10-09

基金项目: 国家自然科学基金(71961021);江西省宣传思想文化领域高层次人才专题项目(24ZXRC10);江西省“双千计划”哲学社会科学领军人才(青年)项目(CR202009480);江西省高校人文社会科学研究规划项目(GL23101)

作者简介: 李文川(1983—),男,重庆人,博士,教授,研究方向为物流与供应链管理;李培琴(1999—),女,江西南昌人,硕士研究生,研究方向为区域与产业经济管理;张安琪(2000—),女,江西抚州人,硕士研究生,研究方向为物流与供应链管理;肖满(2001—),女,江西赣州人,硕士研究生,研究方向为物流与供应链管理。

法。目前学者们大多从效率的视角对绿色创新能力进行研究,采用的是数据包络分析(DEA)及衍生模型,如DEA-BCC模型^[2]和SBM-DEA模型^[3];近年来,学者为了更加有效地测度绿色创新效率,把非期望产出指标纳入指标体系中,并采用超效率-SBM(slack-based measure)模型来解决效率测算结果为1时无法进行比较的问题。刘洁和李婧妹^[4]运用了超效率-SBM模型来测算省域绿色创新效率,并且实证检验结果表明了高技术产业集聚有利于区域绿色创新效率的提升。

产业集聚是经济发展到一定阶段的必然产物,数字产业集聚亦是如此。随着数字经济的快速发展,数字产业所形成的集聚效应受到学者关注,并对其进行深入研究,相关研究主要集中于测度、空间演化和影响因素等方面。关于数字产业集聚的测度,学者们大多采用区位熵对所选取的评价指标进行测量,如叶堂林^[5]选取企业的注册资本规模来衡量数字产业集聚水平;李栋等^[6]则通过数字经济核心产业增加值来反映集聚情况;袁歌骋等^[7]选取了计算机和软件信息传输等行业的就业人数作为衡量指标来进行评估。

产业集聚是推动绿色创新发展的重要动力,不仅可以促进创新要素的流动,还可以实现绿色创新资源的共享和技术优势的互补^[8]。王晗和何泉吟^[9]从竞争激励、协同合作和规模效应三方面分析了产业集聚有利于提升绿色创新效率。数字经济领域具有明显的绿色特征,与绿色发展天然耦合^[10]。吕岩威等^[11]认为数字经济的发展提升了企业的技术创新和生产效率,将成为推动绿色创新发展的引擎。数字产业集聚作为数字经济发展的重要表现形式,也会在一定程度上推动绿色创新的发展。焦焯等^[12]指出应加大对数字产业的投资规模,促进数字产业集聚化,从而推动经济的绿色低碳发展。此外,数字产业有着强渗透的特性^[13],可以与传统产业进行融合发展以此来提升生产的质量和效率,实现产业结构的转型升级。

综上,关于绿色创新、数字产业和产业集聚的相关研究比较丰富,为研究奠定了扎实的基础,但仍存在以下不足:一是现有研究主要集中数字产业集聚和绿色创新效率的单一方面,鲜有文献将两者纳入同一分析框架内进行考量,即探究数字产业集聚如何影响绿色创新效率。二是现有研究关注到了产业集聚、产业结构升级和数字经济在推动绿色创新发展中的重要作用,但对于数字产业集聚是否

可以通过产业结构升级这一中介变量来影响区域绿色创新效率的机制尚不明确。因此,选择产业结构升级来探讨数字产业集聚对区域绿色创新效率的作用机制。

2 理论分析和研究假设

2.1 数字产业集聚与区域绿色创新效率

数字产业的集聚能够产生规模经济效应、技术溢出效应以及降污减排效应,从而提高区域绿色创新效率。第一,规模经济效应。数字产业集聚会形成规模经济效应,可以通过降低搜寻和交易成本来扩大创新规模、加快绿色产出^[14];集聚区内的同一类型企业彼此互相熟悉,可以辨识出有绿色创新潜力的合作企业,减少搜寻时间,降低搜寻成本^[15];与此同时,数字产业集聚可以有效降低企业的生产交易成本,通过生产要素的集聚减少了运输和交易过程中的费用^[16],通过加速创新要素的流动来降低绿色创新生产和研发成本,从而增加区域绿色创新能力^[17]。第二,技术溢出效应。产业集聚往往伴随着技术的外部性特征,即知识溢出^[18],能够加快产业间知识、技术的扩散和交流^[19],进一步提高区域创新能力。数字产业的集聚使得各种资源汇聚在一定区域内,有利于实现资源共享,高效的整合和配置创新资源,发挥技术溢出效应,赋能绿色创新效率的提升。第三,降污减排效应。焦焯等指出了数字产业集聚有利于降低能源消耗的强度,减少污染排放,提高能源的利用效率,实现绿色发展^[12]。基于此,提出以下假设。

H1:数字产业集聚有利于促进区域绿色创新效率提升。

2.2 数字产业集聚、产业结构升级与区域绿色创新效率

数字经济的发展使得新兴产业和新业态应运而生,引导产业结构向更加绿色、高效的方向发展^[20]。通过数字产业化,也就是将数字化的产品和服务转化为产业的过程,数字经济为产业结构的升级注入了新的动力,推动了产业结构的优化与升级。李健指出数字产业化可以通过提供先进的数字技术、基础设施和创新服务,促进产业间的专业化分工与结构的重组^[21]。数字产业的集聚会吸引更多数字技术和高端人才涌入,为推动产业向技术密集型方向转移^[22],向高附加值、高技术含量方向发展提供技术知识基础,从而驱动产业结构的升级。产业结构的升级又对绿色创新效率的提升有显著的推动作用;一方

面,产业结构升级会促使物质和人力资本流向知识技术密集型产业,创新资源倾向于高附加值产业,加速技术创新^[23],促进绿色发展效率;另一方面又通过作用于产业链,促进了产品的研发与生产技术的创新和迭代,在催生了绿色产业和绿色产品的同时,提升了绿色创新能力^[24]。基于此,提出以下假设。

H2:数字产业集聚能够通过推动产业结构升级来提升区域绿色创新效率。

3 研究设计

3.1 数据来源

根据数据的可得性,选用2012—2021年30个省份的数据作为样本。研究所使用的数据来源于《中国统计年鉴》、EPS数据平台和《中国环境统计年鉴》,部分数据来自各省份统计年鉴;对于个别省份数据的缺失用插值法对其进行补齐。

3.2 变量选取及测度

3.2.1 被解释变量:区域绿色创新效率(GIE)

1)区域绿色创新效率指标体系

借鉴薛丹和李现总^[25]和张宝俐等^[26]的做法,从投入、期望产出和非期望产出的角度来构建指标体系,并采用超效率SBM模型来测度各省份的绿色创新效率。具体指标如表1所示。

表1 区域绿色创新效率评价指标体系

类别	一级指标	二级指标
投入	劳动投入	规模以上工业企业R&D人员全时当量
	资金投入	规模以上工业企业R&D经费支出
	资源投入	电力消费量
产出	期望产出	规模以上工业企业专利申请数
		规模以上工业企业新产品销售收入
	非期望产出	废气中SO ₂ 排放量
		工业固体废物产生量
		废水中化学需氧量排放量

2)考虑非期望产出的超效率SBM模型

根据刘洁和李婧姝^[4]测算方法,采用超效率SBM模型来测度绿色创新效率,超效率测度可以对有效的决策单元进一步进行效率评价,提高评价的准确性。假设每个决策单元都包括3个向量:投入向量(\mathbf{X})、期望产出向量(\mathbf{Y}^g)以及非期望产出向量(\mathbf{Y}^b),具体单元用 x, y^g 和 y^b 来表示。每个决策单元都有 m 种投入、 s_1 种期望产出和 s_2 种非期望产出,则可定义矩阵 $\mathbf{X}, \mathbf{Y}^g, \mathbf{Y}^b$ 为: $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_m] \in \mathbf{R}^{m \times n}, \mathbf{Y}^g = [y_1^g, y_2^g, \dots, y_{s_1}^g] \in \mathbf{R}^{s_1 \times n}, \mathbf{Y}^b = [y_1^b, y_2^b, \dots, y_{s_2}^b] \in \mathbf{R}^{s_2 \times n}$ 。超效率SBM模型的表达式为

$$\rho = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{\bar{x}_i}{x_{i_0}}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{\bar{y}_r^g}{y_{r_0}^g} + \sum_{a=1}^{s_2} \frac{\bar{y}_a^b}{y_{a_0}^b} \right)}$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j; \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^g; \\ \bar{y}^b \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^b; \\ \bar{x} \geq x_0; \bar{y}^g \leq y_0^g; \bar{y}^b \geq y_0^b; \\ \bar{y}^g \geq 0; \lambda \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s_1; \\ a = 1, 2, \dots, s_2; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式中: n 为决策单元数(即区域个数), $\bar{x}, \bar{y}^g, \bar{y}^b$ 分别为投入、期望产出和非期望产出的松弛变量; x_0, y_0^g, y_0^b 分别为第0个决策单元的投入、期望产出以及非期望产出; λ 为权重向量; ρ 为绿色创新效率值。

3.2.2 解释变量:数字产业集聚(DIA)

由于区位熵所需的数据易获取,且能够反映各地区间的差异和特征性;因此,参考袁歌骋等^[7]的测算方式,运用区位熵来测度数字产业集聚情况。测算时选用各省份计算机、通信和其他电子设备制造业的就业人数,以及各省份信息传输、软件和信息技术服务业就业人数,用两者就业人数之和来代表数字产业的就业人数,以此来衡量各省份的数字产业集聚程度。区位熵计算公式如下:

$$\text{DIA}_{ij} = \frac{Q_{ij}/Q_i}{Q_j/Q} \quad (2)$$

式中: DIA_{ij} 为 i 省份的数字产业区位熵; Q_{ij} 为 i 省份数字产业的就业人数; Q_i 为 i 省份就业人数; Q_j 为数字产业就业人数; Q 为全国就业人数; DIA_{ij} 越大,表明该省份数字产业集聚的程度越高。

3.2.3 中介变量:产业结构升级(Str)

关于测度产业结构升级,根据刘志华等^[27]的衡量方法从合理化、高级化以及高效化3个维度来构建产业结构升级的评价指标(表2),并运用熵值法对各指标赋予权重,以此得到各省份产业结构升级水平。具体计算步骤如下。

第一步:对原始数据进行标准化。

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (3)$$

式中: Z_{ij} 为标准化的 i 地区 j 项指标值; x_{ij} 为 i 地区 j 项指标的原始值; $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

表 2 产业结构升级评价指标及权重

一级指标	二级指标	三级指标	单位	权重
产业结构升级	产业结构合理化	泰尔指数	—	0.178 2
	产业结构高级化	高技术产业/地区生产总值	%	0.343 4
		(第二产值+第三产业产值)/地区生产总值	%	0.078 2
	产业结构高效化	第二产业从业者人均产值	亿元/万人	0.198 2
		第三产业从业者人均产值	亿元/万人	0.207 4

第二步:计算第 j 项指标下, i 地区所占该指标的比例 P_{ij} 。

$$P_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=1}^n Z_{ij}} \quad (4)$$

第三步:计算第 j 项指标的熵值 e_j 。

$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (5)$$

式中: n 为研究样本个数。

第四步:计算各项指标的权重 w_j 。

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (6)$$

第五步:计算综合得分 S_i 。

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j Z_{ij} \quad (7)$$

3.2.4 控制变量

参考焦焘等^[12]和常哲仁和郑梦^[8]选取以下控制变量:对外开放水平(FDI),用各省份进出口总额与GDP的比值来表示;政府干预程度(GOV),用各省份财政总支出占GDP的比值来表示;信息化水平(POST),采用各省份邮政业务总量和电信业务总量之和与GDP的比值来衡量;经济发展水平(ECO),用各省份人均GDP的对数值来表示。

以上变量描述性统计结果如表3所示。

3.3 模型设定

基于前文的分析,构建模型进行检验各省份数字产业集聚对区域绿色创新效率的影响,具体模型如下所示:

$$GIE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 DIA_{it} + \alpha_2 Control_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式中: i 为各省份; t 为年份; GIE_{it} 为 t 年 i 省份的绿色创新效率; DIA_{it} 为 t 年 i 省份数字产业集聚; $Control_{it}$ 为研究所涉及的控制变量; ε_{it} 、 μ_i 、 v_t 分别为随机干扰项、个体和时间固定效应。

4 基准回归实证分析

4.1 基准回归

为了保证回归结果的有效,对所有研究变量进

表 3 变量描述性统计结果

变量	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
绿色创新效率(GIE)	300	0.550	0.338	0.087	1.495
数字产业集聚(DIA)	300	0.933	1.180	0.140	6.287
对外开放水平(FDI)	300	0.246	0.253	0.007	1.358
政府干预程度(GOV)	300	0.524	0.225	0.209	1.517
信息化水平(POST)	300	0.065	0.056	0.017	0.290
经济发展水平(ECO)	300	10.871	0.435	9.849	12.142
产业结构升级(Str)	300	0.270	0.156	0.000	0.738

行了 VIF 检验,检验结果显示 VIF 的最大值为 4.89,且各变量的值均小于 5,表示模型没有多重共线性。具体回归结果如表 4 所示。

由表 4 可知,列(2)~列(5)是在列(1)的基础上依次加入控制变量后,数字产业集聚对绿色创新效率的回归结果。结果显示,数字产业集聚对区域绿色创新效率的影响至少在 5%的水平上显著为正;由列(5)可知,数字产业集聚(DIA)的回归系数是 0.193,并在 1%的水平上显著为正。这表明数字产业集聚对提升区域绿色创新效率有积极的影响,因此 H1 得证。

关于控制变量方面,对外开放对区域绿色创新效率的回归系数在 1%的水平上显著为负,可能原因是对外贸易可能引发环境污染和资源消耗,若进口产品属于高污染、高能耗产品,则会阻碍绿色可持续发展。同时,高对外开放水平可能意味着区域对外部技术的依赖增加,而内部自主创新能力不足,从而影响各省份绿色创新效率的提升;政府干预的回归系数在 1%的水平上显著为负,说明政府干预不利于提升绿色创新效率,且在支持各省份研发活动方面存在脱节,一定程度上会导致政府干预抑制创新能力提升;此外,在当前官员晋升体制上,地方官员会将政策和各种资源倾向那些周期较短、技术成熟和短期回报率高的传统耗能高的产业,而非回报较低的创新产业^[28]。信息化水平的回归系数在 1%的水平上显著为正,表明邮电业务的发展促进了信息资源的流通和共享,从而推动区域绿色创新效率提高,通过邮电业务,企业和研发机构可以更加快速地获取最新的技术信息、市场动态和政策导向,加快绿色创新成果的转化和应用。

表 4 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
DIA	0.139** (2.52)	0.171*** (3.11)	0.170*** (3.09)	0.161*** (2.98)	0.193*** (3.56)
FDI		-0.603*** (-3.10)	-0.648*** (-3.31)	-0.732*** (-3.78)	-0.839*** (-4.33)
GOV			-0.400 (-1.63)	-0.420* (-1.75)	-0.835*** (-3.06)
POST				1.812*** (3.36)	1.907*** (3.59)
ECO					-0.755*** (-3.03)
常数项	0.427 (1.40)	0.471 (1.57)	0.661** (2.06)	0.721** (2.29)	9.385*** (3.26)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	300	300	300	300	300
R ²	0.761	0.769	0.772	0.781	0.789
调整后 R ²	0.725	0.734	0.735	0.745	0.753

注: *、**、*** 分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平; 括号中为 t 值。

4.2 稳健性检验

为了确保实证结果的科学可靠,使用滞后一期解释变量、对数据进行缩尾以及改变模型的方式进行稳健型检验。

(1)滞后一期解释变量。数字产业集聚是个动态的过程,需要时间来形成和完善,考虑到这一过程所带来的影响可能存在一定时间上的滞后,因此将数字产业集聚的数据滞后一期在进行回归,由表 5 列(2)中结果可知,数字产业集聚对区域绿色创新效率的显著性和回归系数符号与上文一致。

(2)缩尾处理。为了避免极端值影响回归结果,对所有变量的原始数据进行缩尾,由表 5 列(1)结果可知,数字产业集聚的回归系数在 1% 的水平上显著为正,与前文的结果一致,表明前文的回归结果是稳健的。

(3)Tobit 模型。为进一步验证上述结果的稳健型,进一步采用 Tobit 模型对数字产业集聚和绿色创新效率进行了回归,如表 5 列(3)结果所示,显著性及系数符号同样与前文的分析结果一致,说明前文的结果是稳健的。

4.3 异质性检验

4.3.1 地区异质性

因为各地区的地理位置、经济发展水平、政策环境等方面都存在差异,各地区的数字产业集聚对区域绿色创新效率影响程度也不一样。因此,根据国家统计局对东部、中部和西部地区的划分,将各

表 5 稳健型检验结果

变量	缩尾	滞后一期解释变量	Tobit
	(1)	(2)	(3)
L. DIA		0.197*** (3.51)	
DIA	0.172*** (3.02)		0.193*** (3.85)
FDI	-0.782*** (-3.88)	-0.830*** (-3.64)	-0.839*** (-4.68)
GOV	-0.659** (-2.33)	-0.854*** (-2.79)	-0.835*** (-3.31)
ECO	-0.572** (-2.28)	-0.922*** (-3.11)	-0.755*** (-3.28)
POST	1.982*** (3.51)	1.908*** (3.46)	1.907*** (3.89)
常数项	7.313** (2.51)	11.385*** (3.30)	9.385*** (3.53)

注: *、**、*** 分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平; 括号中为 t 值。

省份分为东部和中西部地区,进行地区异质性检验。由表 6 列(1)和列(2)结果可知,数字产业集聚对绿色创新效率的影响存在明显的地区差异。东部地区的数字产业集聚在 1% 的水平上对绿色创新效率有显著的正面影响,而中西部地区的系数未通过显著性检验,这说明东部地区的数字产业集聚有助于提升绿色创新效率,而在中西部地区,这种影响尚不明显。与中西部地区相比,东部地区的经济发展水平、对外开放程度、信息化水平明显高于中西部地区,且可以凭借其地理位置和经济发展水平的优势吸引大量的数字人才、数字产业、创新项目

在此落地发展。由于中西部地区的数字经济发展比东部地区较晚,数字产业集聚可能还未形成一定的规模,所以对绿色创新效率的影响还不明显。

4.3.2 科学技术投入异质性

科学技术为数字产业集聚和绿色创新提供了强大的技术支撑和动力源泉。一方面数字产业是以数字技术和信息资源为基础的新兴产业,具有高度的技术性和创新性,科学技术的快速发展可以促进数字产业集聚;另一方面,科学技术可以促进绿色创新的发展,通过对生产技术的研发和清洁能源的使用,减少能源和资源浪费,进而推动了绿色创新的进程。

因此,根据刘震等^[29],采用各省份2012—2021年研究与试验(R&D)发展经费投入强度来表示各地区科学技术投入情况,并以其平均值为依据,将30个省份划分为高科学技术投入组和低科学技术投入组。由表6列(3)和列(4)结果可知,在高科学技术投入组,数字产业集聚的系数在1%的水平上显著为正,低科学技术投入组未通过显著性检验,说明在高科学技术投入的支持下,数字产业集聚可以推动绿色创新效率的提升。高科学技术投入为数字产业集聚提供了强大的技术支撑和创新环境,不仅能够引入更多先进的技术、设备和人才,推动数字产业发展;还可以通过引入先进的技术更加高效地利用各类资源,减少浪费和污染,从而推动绿色创新效率的提升。

表6 异质性回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	东部地区	中西部地区	高科技投入	低科技投入
DIA	0.204*** (5.32)	-0.212 (-0.81)	0.212*** (5.30)	-0.034 (-0.14)
GOV	0.773* (1.94)	-1.440*** (-3.87)	1.460*** (3.55)	-1.644*** (-4.46)
FDI	-0.945*** (-5.21)	-0.158 (-0.23)	-0.619*** (-3.94)	-0.749 (-1.19)
ECO	-0.537 (-1.52)	-1.300*** (-3.61)	-0.597** (-2.14)	-1.311*** (-3.70)
POST	-0.380 (-0.44)	1.595** (2.08)	-0.162 (-0.17)	1.099 (1.35)
常数项	6.311 (1.54)	14.396*** (3.82)	6.516** (2.06)	14.521*** (3.88)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	110	190	130	170
R ²	0.924	0.667	0.909	0.596
调整后R ²	0.903	0.599	0.885	0.509

注:*、**、***分别表示10%、5%、1%的显著性水平;括号中为t值。

5 作用机制检验

为了检验数字产业集聚对绿色创新效率的作用机制,构建中介效应检验模型为

$$\text{Str}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{DIA}_{it} + \beta_2 \text{Control}_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

$$\text{GIE}_{it} = \theta_0 + \theta_1 \text{DIA}_{it} + \theta_2 \text{Str}_{it} + \theta_3 \text{Control}_{it} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

式中:Str_{it}为i省份t年份的产业结构升级水平;μ_i、ν_t分别为个体和时间固定效应;ε_{it}为随机干扰项;β₀、θ₀为截距项;β、θ为相关系数。若β₁、θ₂均显著,表明产业结构升级是数字产业集聚促进绿色创新效率提升的重要作用路径。

由表7列(1)的结果可知,数字产业集聚(DIA)的回归系数为0.063,在1%的水平上显著为正,检验结果证明数字产业集聚能够有效地推动各省的产业结构升级。为进一步研究,把数字产业集聚和产业结构升级同时纳入模型中,由表7列(2)的结果可知,数字产业集聚(DIA)和产业结构升级(Str)的系数分别为0.126和1.058,且都在1%的水平上显著为正。这表明,数字产业集聚不仅可以有效地促进产业结构升级,还能通过产业结构升级这一变量进一步提升绿色创新效率,H2得证。分析其根本原因所在,数字产业集聚具有规模经济和技术溢出效应,促进了技术、知识和要素资源的交流和共享,不仅有利于推动先进技术与传统产业的融合,还能优化资源的合理配置,提升能源的利用效率,推动产业向高附加值和高技术方向发展,从而助力产业结构升级。与此同时,产业结构升级提升了产业高级化、绿色化和智能化的水平,使产业逐步向低耗能行业集中,创新技术向高效率部门流动,从而推动绿色创新的发展。

表7 作用机制检验的回归结果

变量	Str	GIE
	(1)	(2)
DIA	0.063*** (4.13)	0.126*** (3.66)
Str		1.058*** (3.16)
常数项	-3.665*** (-5.76)	13.263*** (4.33)
控制变量	控制	控制
个体固定效应	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes
观测值	300	300
R ²	0.964	0.795
调整后R ²	0.958	0.760

注:*、**、***分别表示10%、5%、1%的显著性水平;括号中为t值。

6 结论与启示

以2012—2021年30个省份为研究对象,采用超效率-SBM模型对各地区绿色创新效率进行测算,然后再使用区位熵计算数字产业集聚程度,最后通过基准回归和机制检验分析各地区数字产业集聚对绿色创新效率的影响。得出以下结论:第一,数字产业集聚有利于促进区域绿色创新效率的提升。第二,异质性分析结果显示,东部地区数字产业集聚对区域绿色创新效率的促进效应显著,而中西部地区不明显;与低科学技术投入地区相比,高科学技术投入地区的数字产业集聚对提升绿色创新效率具有显著的影响,并且表现出明显的异质性特征。第三,机制检验表明,产业结构升级在数字产业集聚与区域绿色创新效率之间起到了明显的中介作用,即数字产业集聚能够促进产业结构升级,从而提升绿色创新效率。

根据研究结论,提出以下启示和建议。

第一,积极地促进数字产业集群的发展。各省份出台相应的支持政策,加大对数字产业的创新投入,助力数字产业的发展。例如,积极实施财政支持和税收优惠等政策,降低数字产业的运营成本,增加其盈利空间,吸引更多的数字产业入驻,形成产业集群,以此来完善产业链、创新链和价值链,推动数字产业与绿色创新的深度融合发展,从而提升绿色创新效率。

第二,科学制定差异化数字产业发展策略。各地区结合现有产业基础和发展需求,制定差异化政策助力数字产业的发展;针对东部地区,各省份充分利用经济基础好、创新能力强和人才资源丰富等优势,深化数字产业集聚;对于中西部地区,虽然数字产业集聚对绿色创新效率的影响不明显,但可以通过加强各地区基础设施建设和优化营商环境等方式,为数字产业的发展创造有利条件。同时,对于低科学技术投入地区,各省份增加科学技术研发的投入,提升企业的技术水平和创新能力,使数字产业集聚能够更有效地提升绿色创新效率。

第三,促进产业结构升级。各省份重视产业结构升级在数字产业集聚和区域绿色创新效率间的作用。通过制定相应的政策,鼓励企业进行技术改造和产业升级,促进传统产业向数字化和智能化方向转型;此外,还要加强数字技术与传统产业融合,借助数字化转型之力,提升传统产业的生产效率,激发其创新发展能力。

参考文献

- [1] 中国信息通信研究院. 中国数字经济发展研究报告(2023年)[EB/OL]. [2024-09-30]. http://www.caict.ac.cn/kxyj/qwfb/bps/202304/t20230427_419051.htm.
- [2] 梁中, 昂昊. 中国绿色技术创新效率演化及其空间治理[J]. 财贸研究, 2019, 30(8): 16-25.
- [3] 陈春香, 邓峰. 产业转移对区域绿色创新效率的空间效应分析[J]. 生态经济, 2020, 36(9): 72-77.
- [4] 刘洁, 李婧姝. 高技术产业集聚对区域绿色创新效率的影响研究[J]. 生态经济, 2023, 39(9): 68-74.
- [5] 叶堂林, 刘哲伟, 张京亮. 数字产业空间集聚影响因素探析[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(15): 75-82.
- [6] 李栋, 张映芹, 李开源. 中国省际数字经济核心产业集聚度、非平衡性与动态演进[J]. 统计与决策, 2023, 39(18): 103-108.
- [7] 袁歌骋, 潘敏, 覃凤琴. 数字产业集聚与制造业企业技术创新[J]. 中南财经政法大学学报, 2023(1): 146-160.
- [8] 常哲仁, 郑梦. 产业协同集聚对绿色创新效率的影响研究——基于空间溢出视角[J]. 财经问题研究, 2023(10): 53-67.
- [9] 王晗, 何泉吟. 产业集聚、环境规制与绿色创新效率[J]. 统计与决策, 2022, 38(22): 184-188.
- [10] 何增华, 陈升, 李金林, 等. 数字经济对地区绿色创新的影响及空间效应分析——基于中国271个城市的经验证据[J/OL]. 科学学与科学技术管理: 1-30[2024-10-1]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1117.G3.20240312.1110.002.html>.
- [11] 吕岩威, 王文强, 张晋宁. 数字经济对区域绿色创新效率的影响效应及其传导机制[J]. 统计与决策, 2023, 39(20): 120-124.
- [12] 焦焘, 郭金花, 赵国浩. 数字产业集聚、地方政府竞争与城市绿色经济效率[J]. 经济经纬, 2023, 40(6): 51-60.
- [13] 王俊豪, 周晟佳. 中国数字产业发展的现状、特征及其溢出效应[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(3): 103-119.
- [14] 宋晓玲, 李金叶. 产业协同集聚、制度环境与工业绿色创新效率[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(4): 56-65.
- [15] 王彦杰, 高启杰, 杨瑞. 我国数字经济产业集聚测度及时空演化特征研究[J]. 工业技术经济, 2023, 42(2): 134-145.
- [16] 辛璐璐. 数字产业集聚、颠覆式技术创新与城市绿色经济效率[J]. 学习与实践, 2023(10): 71-80.
- [17] 李华一. 产业协同集聚与区域绿色创新能力——理论机制与空间经验证据[J]. 技术经济与管理研究, 2024(2): 62-68.
- [18] 刘亮, 蒋伏心, 王钺. 产业集聚对绿色创新的影响——抑制还是激励? [J]. 科技管理研究, 2017, 37(6): 235-242.
- [19] 苏丹妮, 盛斌. 产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据[J]. 经济学(季刊), 2021, 21(5): 1793-1816.

- [20] 张红伟, 罗晓慧, 陈小辉. 数字经济与产业结构清洁化[J]. 证券市场导报, 2023(1): 56-68.
- [21] 李健. 数字经济、要素市场化与产业结构转型升级[J]. 统计与信息论坛, 2024, 39(5): 31-44.
- [22] 徐丹, 于渤. 空间溢出视角下长三角城市群高技术产业集聚与城市创新——产业结构优化升级的中介效应与时空异质性分析[J]. 研究与发展管理, 2023, 35(2): 15-29.
- [23] 周杰琦, 陈达, 夏南新. 人工智能、产业结构优化与绿色发展效率——理论分析和经验证据[J]. 现代财经(天津财经大学学报), 2023, 43(4): 96-113.
- [24] 黄寰, 黄辉, 肖义, 等. 产业结构升级、政府生态环境注意力与绿色创新效率——基于中国 115 个资源型城市的证据[J]. 自然资源学报, 2024, 39(1): 104-124.
- [25] 薛丹, 李现总. 人口老龄化对中国绿色创新效率的影响研究[J]. 西北人口, 2024, 45(3): 92-103.
- [26] 张宝俐, 肖雁飞, 胡立涛. 中国省域绿色创新效率测评、空间关联及影响因素[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2023, 38(3): 106-114.
- [27] 刘志华, 徐军委, 张彩虹. 科技创新、产业结构升级与碳排放效率——基于省际面板数据的 PVAR 分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(2): 508-520.
- [28] 吕鲲, 潘均柏, 周伊莉, 等. 政府干预、绿色金融和区域创新能力——来自 30 个省份面板数据的证据[J]. 中国科技论坛, 2022(10): 116-126.
- [29] 刘震, 张晓星, 魏威岗. 农村数字经济发展对农业碳排放的影响——基于 29 个省份的面板数据分析[J]. 江苏大学学报(社会科学版), 2023, 25(3): 20-32, 47.

Impact of Digital Industry Agglomeration on Regional Green Innovation Efficiency

LI Wenchuan¹, LI Peiqin², ZHANG Anqi², XIAO Xiao²

(1. School of Humanities and Law, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2. School of Economics and Management, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

Abstract: With high-quality development of economy, green innovation has emerged as a crucial driving force for fostering sustainable and healthy economic growth. Digital industry agglomeration can promote the agglomeration of factor resources and industrial transformation and upgrading, thereby enhancing regional green innovation efficiency. Based on the panel data of 30 provinces (due to the lack of data, the statistical data mentioned here do not include the Tibet Autonomous Region, the Hong Kong Special Administrative Region, the Macao Special Administrative Region and Taiwan Province) from 2012 to 2021, the Super-SBM model and location entropy were used to measure the evaluation indicators of green innovation efficiency and digital industry agglomeration, subsequently, the effects and mechanism of digital industry agglomeration on green innovation efficiency were examined. The results indicate that digital industry agglomeration contributes to the enhancement of regional green innovation efficiency. Due to the differences in geographical location and technology input level, the enhancement effect of digital industry agglomeration on regional green innovation efficiency is more significant in the eastern region and high-tech input provinces. Mechanism analysis shows that digital industry agglomeration can improve regional green innovation efficiency by promoting the upgrading of industrial structure. In view of this, each province should actively promote the development of digital industry clusters, scientifically formulate differentiated digital industry development strategies and promote the upgrading of industrial structure, so as to help the steady improvement of regional green innovation efficiency.

Keywords: digital industry agglomeration; green innovation efficiency; industrial structure upgrading; super-SBM model