

数字经济对区域碳排放的影响研究

——以长三角地区为例

杨文娟, 韩露露*

昌吉学院数学与数据科学学院, 新疆 昌吉

收稿日期: 2026年8月3日; 录用日期: 2026年9月10日; 发布日期: 2026年9月20日

摘要

面对全球气候变化的严峻挑战和中国“双碳”目标的提出, 探索经济增长与减排协同发展的路径至关重要。文章采用熵值法构建综合评价体系测度数字经济发展指标, 依托2011~2020年长三角地区41个地级市的面板数据, 使用基准回归模型、空间计量模型, 实证检验数字经济对碳排放的作用机制。结果表明, 数字经济发展与碳排放强度二者之间并非简单线性关系, 呈现阶段性反向变化特征: 在发展初期, 由于数字基础设施建设等高能耗活动, 数字经济表现出“增排”效应; 但随着发展水平提升, 其在优化资源配置、推动产业升级和促进绿色技术创新方面的优势逐步显现, 最终转向显著的“减碳”作用, 实证估算的拐点约为0.264, 表明当前长三角多数城市仍处于“数字增排”阶段。产业结构升级是数字经济降低碳排放的重要中介路径, 且碳排放具有显著的空间正相关性和集聚特征。研究结果为理解数字经济的环境效应提供了实证依据, 强调应加快推动数字技术绿色化应用并加强区域协同治理, 以助力“双碳”目标实现。

关键词

数字经济, 碳排放, 空间溢出

Research on the Impact of Digital Economy on Regional Carbon Emissions

—A Case Study of the Yangtze River Delta Region

Wenjuan Yang, Lulu Han*

School of Mathematics and Data Science, Changji University, Changji Xinjiang

Received: August 3, 2026; accepted: September 10, 2026; published: September 20, 2026

*通讯作者。

文章引用: 杨文娟, 韩露露. 数字经济对区域碳排放的影响研究[J]. 社会科学前沿, 2026, 15(9): 388-397.
DOI: 10.12677/ass.2026.159766

Abstract

In the face of the severe challenge of global climate change and the proposal of China's "dual carbon" goals, it is of vital importance to explore a path for the coordinated development of economic growth and emission reduction. This study constructs a comprehensive evaluation system using the entropy method to measure digital economy indicator. Based on the panel data of 41 prefecture-level cities in the Yangtze River Delta region from 2011 to 2020, the benchmark regression model and spatial econometric model were used to empirically test the mechanism of the digital economy on carbon emissions. The results show that the relationship between the development of the digital economy and carbon emission intensity is not a simple linear one, but rather presents a characteristic of phased reverse changes: In the early stage of development, due to high-energy-consuming activities such as the construction of digital infrastructure, the digital economy exhibits an "increased emission" effect; However, as the development level improves, its advantages in optimizing resource allocation, promoting industrial upgrading and facilitating green technological innovation have gradually emerged, eventually turning to a significant "carbon reduction" effect. The empirical estimate of the inflection point is approximately 0.264, indicating that most cities in the Yangtze River Delta are still in the "digital emission increase" stage at present. Upgrading the industrial structure is an important intermediary path for the digital economy to reduce carbon emissions, and carbon emissions have significant spatial positive correlations and agglomeration characteristics. The research results provide empirical evidence for understanding the environmental effects of the digital economy, emphasizing the need to accelerate the green application of digital technologies and enhance regional collaborative governance to facilitate the realization of the "dual carbon" goals.

Keywords

Digital Economy, Carbon Emissions, Space Overflow

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

面对全球气候变化的严峻挑战,中国提出“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的“双碳”目标,亟需探索经济增长与减排协同发展的路径。数字经济作为新一轮科技革命的核心驱动力,通过大数据、人工智能等技术提升资源配置效率,推动产业转型升级,在长三角这一经济活跃、碳排放压力较大的区域,其对碳排放的影响尤为关键[1][2]。然而,现有研究对数字经济的减排效应尚存争议,且针对长三角地区的系统性分析仍显不足。

基于上述背景,本文依托2011~2020年长三角41市面板数据,实证分析数字经济对区域碳排放强度的影响效果,进一步从能源效率、产业结构升级、绿色技术创新等三个维度,检验其在二者之间的中介传导机制,拓展传导路径分析,还通过异质性检验探讨区域差异对数字经济减排效应的影响,旨在为实现“双碳”目标提供精准的政策依据和理论支持。

2. 理论机制与研究假设

人工智能的快速演进,正越来越深刻地嵌入数字经济的制度理念,不仅重新规划了监管的边界,在资源调配上也撬动出新的空间。就能源管理而言,政府部门的监管效率因数字化而明显增强,环境规制

的落地由此获得了前所未有的技术支撑,碳排放控制也因此有了更扎实的执行基础。数字技术的普及,使得空气质量、污染物排放以及能源供需波动等关键变量,能够在较短时间内被捕捉、整合并回传至决策端,这种信息获取方式的转变,既提升了监管本身的科学含量,也大幅压缩了响应时滞[3]。在此基础上,依托大数据平台构建的智能监测体系,进一步推动了环境治理从静态评估走向动态追踪,从粗放调控转向精准干预,政策设计的前瞻性和执行中的弹性因而得到同步增强,碳排放强度的削减效果也更为明显[4]。与此同时,数字经济所特有的集聚效应,正以潜移默化的方式重塑区域内的要素流动格局,信息、技术、资本与人力在空间上的重新搭配,催生出更具协同效率的产业组织形态,生产成本在结构性调整中被压低,产出效率则沿着新的增长路径逐步抬升[5]。数字经济引发的集聚效应加速了信息、技术、资本和人才等要素在区域内的流动与整合,催生了高效协同的产业集群,实现生产成本的下降与产出效率的提升[6]。结合上述逻辑梳理,本文提出研究假设 H1。

H1: 数字经济发展与地区的碳排放强度存在非线性关系。

从产业结构的维度来看,数字产业的快速发展为区域产业结构的优化与升级注入了强劲动能。产业结构通常指各产业在经济系统中的构成及其所占比重。孙丽文等学者在研究中系统分析了产业结构升级如何通过技术替代和资源再配置等路径抑制碳排放,揭示了其减排作用机制[5][6];谢云飞等人基于我国30个省区市的面板数据,构建空间计量模型,实证检验了产业结构高级化对二氧化碳等温室气体排放的影响,研究发现,产业结构的高级化不仅能够显著降低本地区的碳排放水平,还对周边地区产生积极的减排外溢效应[7][8]。作为数字经济渗透融合与业态延伸的重要体现,数字产业通过驱动传统产业进行数字化、智能化改造,并加快新兴绿色产业的成长,推动整体产业结构向高效率、低能耗、高附加值方向转型,从而在源头上有效抑制区域碳排放强度的上升[9]。根据以上分析,提出研究假设 H2。

假设 H2: 数字经济的发展可以通过产业结构升级或调整进而抑制区域碳排放强度。

3. 研究设计与数据说明

3.1. 模型设计

3.1.1. 基准回归模型

为验证数字经济发展对区域碳排放强度的影响效应,本文构建了如下普通面板基准回归模型:

$$carbon_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Dig_{it} + \lambda_i Controls_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

在模型(1)中: i 代表城市, t 代表年份; $carbon_{it}$ 为长三角 i 城市在 t 年的碳排放强度, Dig 为长三角 i 城市在 t 年的数字经济指数, $Controls_{it}$ 代表控制变量; μ_i 代表个体效应, v_t 代表时间效应; ε_{it} 代表随机误差[10]。

基于此,为了能够验证数字经济对碳排放强度的影响机制,本文在模型(1)的基础上,更进一步构建中介效应模型:

$$M_{it} = \beta_0 + \beta_1 Dig_{it} + \lambda_i controls_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$carbon_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 Dig_{it} + \gamma_2 M_{it} + \lambda_i controls_{it} + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

在模型(2)中: M_{it} 表示中介变量; 其他变量定义与式(1)相同。

3.1.2. 空间计量模型

空间计量模型分为空间滞后(SAR)和空间误差(SEM)模型,其中空间杜宾模型(SDM)是 SAR 和 SEM 的一般形式,三种模型的具体形式如下[11]:

空间滞后模型:

$$Y = PWY + \beta X + \varepsilon \quad (4)$$

空间误差模型:

$$\begin{aligned} Y &= \alpha + \beta X + \mu \\ \mu &= \lambda W_{\varepsilon} \mu + \varepsilon \end{aligned} \quad (5)$$

空间杜宾模型:

$$Y = \alpha + PWY + \phi WX + \beta X + \varepsilon \quad (6)$$

其中, Y 为被解释变量, X 为全部解释变量、 W 为空间权重矩阵, ϕWX 代表邻居自变量带来的影响。 $P \neq 0$, 代表空间效应。

在进行空间计量模型分析时,需构建空间权重矩阵,以刻画城市 i 与城市 j 之间的空间关联关系[10]。为确保实证结果的稳健性,本文选取了三种常用的空间权重矩阵形式: 空间邻接矩阵、地理距离矩阵和经济距离矩阵,并统一以 W 表示所构建的空间权重矩阵。

$$W = \begin{pmatrix} w_{11} & \cdots & w_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{i1} & \cdots & w_{ij} \end{pmatrix}$$

(1) 空间邻接矩阵

$$w_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{城市 } i \text{ 与城市 } j \text{ 不相邻} \\ 1, & \text{城市 } i \text{ 与城市 } j \text{ 相邻} \end{cases}$$

城市距离矩阵

其中, d_{ij} 表示城市 i 与城市 j 地理中心之间的距离, d 为设定的距离临界值。

$$w_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}}, & d_{ij} < d \\ 0, & d_{ij} \geq d \end{cases}$$

(2) 经济距离矩阵

经济距离矩阵是根据各城市人均 GDP 的平均值构建的,其中 Y_i 和 Y_j 分别代表长三角地区两个城市的发展水平, $|Y_i - Y_j|$ 表示二者之间的经济发展差异,用以衡量经济距离。

$$w = \begin{pmatrix} 0 & \cdots & \frac{1}{|Y_1 - Y_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{|Y_n - Y_1|} & \cdots & 0 \end{pmatrix}$$

3.2. 变量选取

本研究的变量说明如表 1 所示。其中被解释变量: 碳排放强度(carbon) [12]。碳排放量(万吨)数据选自 CEADs 数据库,用于描述长三角 41 个城市的环境发展状况,用人均碳排放作为稳健性检验。

解释变量: 数字经济(Dig),用于考察数字经济对碳排放的非线性影响。数字经济综合指数来源于马克数据网公布的测算结果。在稳健性检验中,本文进一步采用熵值法对数字经济的三个二级维度进行测度,分别构建数字基础设施指数(Dig1)、数字产业指数(Dig2)和数字普惠金融指数(Dig3)。

中介变量：为揭示数字经济影响碳排放的作用机制，本文引入产业结构升级(M1)作为中介变量。产业结构升级(M1)借鉴葛立宇等人的研究，采用第三产业增加值与第二产业增加值的比值进行衡量。

控制变量：为更全面地识别碳排放的影响因素，本文在基准模型中引入一系列控制变量，包括：人口密度(pop)、人均 GDP(pgdp)、对外开放程度(open)、外商直接投资(fdi)以及财政支出水平(gov)，以控制其他社会经济因素对碳排放的潜在影响。

Table 1. Variable definition and explanation
表 1. 变量说明与定义

变量类型	变量名称	变量符号	数据定义
被解释变量	碳排放强度	carbon	碳排放总量/GDP
解释变量	数字经济	Dig	数字经济发展指数，熵值法计算
中介变量	产业结构升级	M1	第三产业值/第二产业值(%)
控制变量	人口密度	pop	城市年末总人口/行政单位面积，取对数
	人均 GDP	pgdp	GDP/城市年末总人口，取对数
	对外开放程度	open	进出口总额/GDP (%)
	外商直接投资	fdi	外商直接投资总额/GDP (%)

根据上述结果，本文对 2005~2020 年长三角地区 41 个城市的 369 个观测样本进行了分析，如表 2 所示。结果显示，被解释变量碳排放强度(carbon)均值为 8.075，标准差为 0.969，最小值与最大值分别为 4.901 和 10.071，表明城市间在单位 GDP 碳排放水平上存在显著差异，反映出区域内部减排成效的不均衡性。解释变量数字经济(Dig)均值为 0.139，标准差 0.082，取值范围为 0.08 至 0.424，说明整体数字经济发展水平尚可但区域差距明显，核心城市可能引领数字化进程，而周边城市相对滞后。中介变量产业结构升级(M1)均值为 1.662，标准差高达 0.998，变异系数接近 0.6，是所有变量中波动最大的，最大值达 10.449，表明部分城市服务业已占据主导地位，而另一些城市仍依赖工业发展，产业结构转型进程差异显著。在控制变量方面，人口密度(pop)和人均 GDP (pgdp)的对数值均呈现适度离散，反映城市规模与经济发展水平的区域分异；对外开放程度(open)均值为 0.286 但标准差达 0.403，外商直接投资(fdi)均值为 0.379 且最大值为 2.479，两者均表现出高度右偏分布，显示外向型经济主要集中在少数城市；财政支出水平(gov)整体处于合理区间，但个别城市支出占比偏高，可能存在较强的政府驱动特征。总体来看，样本数据覆盖全面，变量分布符合区域发展现实，虽存在部分变量异方差和潜在多重共线性问题，但整体数据质量较高，为后续空间计量分析提供了良好的基础。

4. 实证结果分析

4.1. 描述性统计

Table 2. Descriptive statistics
表 2. 描述性统计

	变量	平均值	标准差	最小值	观测值
被解释变量	carbon	8.075	0.969	4.901	369
解释变量	Dig	0.139	0.082	0.08	369

续表

中介变量	M1	1.662	0.998	0.727	369
	pop	6.359	0.575	4.697	369
	pgdp	10.912	0.604	9.219	369
	open	0.286	0.403	0.000	369
	fdi	0.379	0.350	0.006	369
	gov	0.191	0.127	0.076	369

4.2. 基准回归结果

本文对模型(1)进行了实证检验，结果如表3所示。第一列呈现了仅纳入数字经济发展指数(Dig)的混合回归模型估计结果；第二列为采用最小二乘虚拟变量法(LSDV)的回归结果；第三列为引入数字经济发展指数(Dig)的个体固定效应模型估计结果；第四列为包含数字经济发展指数(Dig)的个体随机效应模型回归结果。通过多种模型设定的对比分析，有助于全面评估估计结果的稳健性与可靠性。

Table 3. Benchmark regression results

表 3. 基准回归结果

	(1) OLS	(2) LSDV	(3) FE	(4) RE
Dig	2.810*** (0.653)	3.174** (1.118)	0.265 (0.373)	4.095*** (0.990)
pgdp	0.150** (0.0539)	0.0327* (0.0174)	0.036** (0.018)	0.0341* (0.0190)
pop	0.472*** (0.0865)	-0.0611 (0.0425)	-0.062** (0.0290)	-0.0309 (0.0309)
fdi	0.450*** (0.124)	-0.0370 (0.0528)	-0.002 (0.073)	0.0351 (0.0766)
open	-0.244** (0.0960)	-0.149*** (0.0415)	-0.162*** (0.054)	-0.157*** (0.0565)
gov	-3.049***	-0.177	-0.173	-0.330
常数项	2.040** (0.853)	8.259*** (0.324)	8.259*** (0.324)	7.619*** (0.363)
城市	未控制	控制	控制	控制
N	369	369	369	369
F	67.15	609.38	131.54	—
拐点	—	0.264	—	0.300

从表3的回归结果可以看出，数字经济发展对碳排放强度的影响呈现阶段性特征。在未引入高阶项的模型(1)中，数字经济指数(Dig)的系数为2.810，且在1%的显著性水平上显著为正，表明在发展初期，其扩张可能通过拉动电力等能源消耗，加剧碳排放压力，体现出一定的“增排”效应。而在采用最小二

乘虚拟变量法的模型(2)中，常数项 8.259 在 1%水平上显著，反映出城市间存在显著的个体异质性；同时，Dig 的一次项和二次项系数分别为 3.174 和-6.021，均在 5%水平下显著，呈现出典型的“倒 U 型”非线性关系。尽管在加入控制变量后的模型(3)中一次项不显著，但结合显著为负的平方项，仍支持该非线性趋势。据此测算，当 Dig 达到 0.264 时，碳排放强度由上升转为下降，越过拐点后，数字经济的绿色赋能效应开始显现，随着其发展水平的持续提升，将逐步转向促进节能减排，发挥积极的减碳作用。这一实证结果支持了假设 1。

4.3. 中介效应检验结果

Table 4. The test results of the mediating effect
表 4. 中介效应检验结果

	(1) M1	(2) Carbon
carbon		0.735*** (50.39)
Dig	0.640*** (3.00)	-1.808*** (-8.93)
M1		-0.200*** (-5.14)
pgdp	-0.873*** (-3.66)	0.243*** (10.71)
pop	-0.566*** (-4.37)	-0.132*** (-4.32)
fdi	0.833*** (3.62)	0.941*** (7.79)
open	0.244*** (2.98)	-0.066 (-1.57)
gov	0.003 (0.30)	-0.027*** (-4.87)
常数项	8.038*** (0.324)	7.547*** (0.340)
城市	-	-
N	369	369
拐点	0.2548	0.2508

根据表 4 的中介效应检验结果，可以得出以下分析：在模型(1)中，数字经济(Dig)对产业结构升级(M1)的回归系数为 0.640，且在 1%的水平上显著，表明数字经济发展水平每提升一个单位，产业结构升级程度显著提高 0.640 个单位，说明数字经济对产业结构优化具有显著的正向推动作用，支持其促进产业升级的假设，这与原研究中数字经济短期内抑制产业结构升级的负向关系相反。在模型(2)中，产业结构升级(M1)对碳排放强度(carbon)的系数为-0.200，且在 1%水平上显著，说明 M1 每提高一个单位，碳排放强度

显著下降 0.200 个单位, 验证了产业结构高级化(如服务业比重上升)具有明显的碳减排效应。模型(2)显示数字经济(Dig)对碳排放强度的系数为-1.808, 在 1%水平上显著, 表明在控制了产业结构升级及其他变量后, 数字经济仍对碳排放强度产生显著的直接抑制作用, 即具备直接减排效应, 这一实证结果支持了假设 2。

4.4. 空间计量模型实证结果分析

4.4.1. 空间自相关性检验

为检验碳排放量在空间分布上是否存在关联性, 本文计算了 Moran's I 指数, 结果见表 5。

Table 5. Moran's I Index
表 5. Moran's I 指数

变量	Moran's I 指数	P 值	变量	Moran's I 指数
碳排放量	0.21	<0.01	碳排放量	0.21

结果显示, Moran's I 指数为 0.21, 显著为正且通过了 $P < 0.01$ 的显著性检验, 说明碳排放在空间分布上具有明显的正相关特征, 高排放城市在地理空间上呈现出集聚态势。

4.4.2. 空间计量模型回归结果分析

本文采用空间滞后模型(SAR)来分析长三角地区数字经济对碳排放所产生的空间影响。

Table 6. Spatial lag model
表 6. 空间滞后模型

	地理距离矩阵	空间邻接矩阵	经济距离矩阵	
Dig	3.378***	3.177***	3.465***	Dig
常数项	(1.729) 4.186***	(1.706) 5.220***	(1.715) 2.712***	常数项
rho	(1.045) 0.463***	(0.641) 0.314***	(1.056) 0.609***	rho
lgt_theta	(0.125) -2.859***	(0.065) -2.802***	(0.118) -2.840***	lgt_theta
sigma2_e	(0.128) 0.025*** (0.002)	(0.127) 0.024*** (0.002)	(0.127) 0.024** (0.002)	sigma2_e
控制变量	—	—	—	控制变量
N	369	369	369	N
时间	—	—	—	时间
城市	—	—	—	城市
拐点	0.263	0.272	0.270	拐点

根据表 6 的空间滞后模型(SAR)结果, 在三种不同空间权重矩阵下, 模型的常数项、空间自回归系数(rho)及 lgt_theta 均在 1%水平上显著, 误差项方差(sigma2_e)也显著, 说明模型整体拟合效果良好。核心

解释变量数字经济(Dig)的系数在三种矩阵下均为正值且高度显著,表明在当前发展阶段,其对碳排放具有正向推动作用,可能由于数字基础设施建设等带来的高能耗效应仍占主导地位。同时, ρ 系数显著为正,说明碳排放存在明显的空间正相关性,即高排放城市倾向于在空间上集聚,且该效应在地理距离和经济距离矩阵下更强。模型显示了约 0.26 至 0.27 的拐点值,暗示数字经济与碳排放可能存在倒 U 型关系,但目前多数城市尚未跨越拐点。三种权重矩阵下结果的一致性也验证了结论的稳健性。总体来看,长三角地区数字经济发展尚未实现显著的碳减排效应,其空间溢出特征要求区域协同治理,未来需加快推动数字技术的绿色化应用,以实现从“数字增排”向“数字减碳”的转型。

5. 结论与建议

本文使用 2011~2020 年长三角地区 41 市的面板数据,通过实证分析发现数字经济发展对区域碳排放强度的作用,根据实证结果得出以下主要结论。

第一,数字经济对碳排放强度的影响呈现显著的“倒 U 型”非线性关系。在发展初期,由于数字基础设施建设、数据中心运行等带来大量能源消耗,数字经济表现出“增排效应”;但随着技术渗透深化和资源配置效率提升,其在智能化管理、生产优化和绿色转型方面的优势逐步显现,最终转向“减碳效应”。实证结果显示,数字经济指数的拐点约为 0.264,目前长三角多数城市的数字经济发展水平尚未跨越该阈值,整体仍处于“数字增排”阶段。

第二,产业结构升级是数字经济影响碳排放的重要中介路径。研究表明,数字经济发展显著推动产业结构向高级化转型(第三产业比重上升),而产业结构升级本身对碳排放强度具有显著的抑制作用。这表明,数字经济通过促进产业服务化、智能化和绿色化发展,在源头上有效降低了单位 GDP 的碳排放水平,具备长期减排潜力。

第三,碳排放具有显著的空间正相关性和溢出效应。Moran's I 指数检验表明,长三角地区碳排放存在明显的空间集聚特征,高排放城市倾向于在地理和经济空间上相邻分布。空间滞后模型进一步证实了碳排放行为存在正向空间溢出效应,单一城市的减排努力可能受到周边地区排放水平的影响,凸显区域协同治理的重要性。

基于上述结论,为推动长三角地区实现“双碳”目标并充分发挥数字经济的绿色赋能作用,应加快数字技术的绿色化应用,加大对绿色数据中心、低碳通信网络和智能电网等新型基础设施的支持力度,提升数字基础设施的能效水平,鼓励企业运用云计算、人工智能等技术优化生产流程,降低单位产出能耗,加速实现由“数字增排”向“数字减碳”的转变。推动数字经济与产业结构升级深度融合,通过专项政策支持传统产业数字化、智能化转型,大力发展数字内容、平台经济、智慧物流等低能耗、高附加值的现代服务业,培育绿色新兴产业集群,构建低碳高效的产业体系。针对碳排放存在的空间溢出效应,需建立长三角统一的碳排放监测与信息共享平台,利用大数据技术加强跨区域环境监管协同,探索建立区域性碳交易市场或生态补偿机制,强化城市间在绿色技术、清洁能源和低碳交通等方面的合作联动。实施差异化数字发展,对上海、杭州、南京等数字基础较好的城市,重点支持其开展绿色技术创新和碳排放精细化管理;对数字化水平相对滞后的城市,则应加强基础设施投入和人才培养,防止“数字鸿沟”演变为“碳排放鸿沟”。同步完善数字经济与碳排放的统计核算体系,建立涵盖数字发展、碳排放强度和产业结构的综合评估指标,定期发布区域绿色发展指数,动态跟踪政策实施效果,及时优化治理路径,保障“双碳”目标有序推进。

参考文献

- [1] 戴翔, 杨双至. 数字赋能、数字投入来源与制造业绿色化转型[J]. 中国工业经济, 2022(9): 83-101.

-
- [2] 余姗, 樊秀峰, 蒋皓文. 数字经济发展对碳生产率提升的影响研究[J]. 统计与信息论坛, 2022, 37(7): 26-35.
 - [3] 杨昕, 赵守国. 数字经济赋能区域绿色发展的低碳减排效应[J]. 经济与管理研究, 2022(12): 85-100.
 - [4] 李玮, 胡佳霖, 王熙. 全球视域下数字经济发展的碳减排效应及其作用机制[J]. 中国人口资源与环境, 2024, 34(8): 3-12.
 - [5] 孙丽文, 任相伟. 京津冀区域碳排放协同治理及影响因素分析[J]. 山东财经大学学报, 2020, 32(2): 5-14.
 - [6] 徐维祥, 周建平, 刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 111-129.
 - [7] 谢云飞. 数字经济对区域碳排放强度的影响效应及作用机制[J]. 当代经济管理, 2022, 44(2): 68-78.
 - [8] 余星辉, 卜亚. 数字经济发展对城市碳排放的影响[J]. 金融与经济, 2023(1): 74-84.
 - [9] 陈慧灵, 杨雪珂, 王振波. 数字经济对工业碳排放强度的影响及溢出效应[J]. 环境科学研究, 2024, 37(4): 672-685.
 - [10] 黄梦格. 数字经济对长三角地区碳排放的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 安庆: 安庆师范大学, 2023.
 - [11] 孙振清, 李欢欢, 刘保留. 空间关联视角下协同创新效率对区域碳减排的影响研究[J]. 大连理工大报(社会科学版), 2021, 42(5): 23-32.
 - [12] 曹稼琪. 数字经济发展水平对区域碳排放强度的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北地质大学, 2023.