

“双碳”背景下数字经济赋能区域碳减排的 内在机理与效应评估

季佳圆, 田 发

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年11月10日; 录用日期: 2024年12月9日; 发布日期: 2024年12月16日

摘 要

数字经济作为推动经济高质量发展的重要抓手, 能否有效推动区域碳减排备受关注。本文基于2015~2021年的省级面板数据, 对我国数字经济发展水平与区域碳排放量之间的关系进行实证检验, 并构建了中介效应模型, 从政府、企业和个人三个层面分析了数字经济影响区域碳排放量的内在机理。研究发现: 现阶段数字经济的发展对区域碳排放量起到抑制作用, 两者在长期中呈现“U”型的非线性关系, 该结论通过了一系列稳健性检验。机制分析表明, 数字经济通过增加财政教育支出、促进产业结构升级、推动技术创新产出和提高公众环境污染关注度这四条路径降低区域碳排放量。异质性分析表明, 在高政府环保投资支出、低政府财政教育支出、高产业结构升级程度、高全要素生产率、高公众环境污染关注度的地区, 数字经济能够发挥更为显著的碳减排效应。本文从多个视角揭示了数字经济赋能区域碳减排的内在机理, 研究结论可为按期实现“双碳”目标提供政策参考。

关键词

数字经济, 碳排放量, 双碳政策

The Internal Mechanism and Effect Evaluation of Regional Carbon Emission Reduction Enabled by Digital Economy under the Background of “Dual Carbon”

Jiayuan Ji, Fa Tian

Business School, University of Shanghai Science and Technology, Shanghai

Received: Nov. 10th, 2024; accepted: Dec. 9th, 2024; published: Dec. 16th, 2024

文章引用: 季佳圆, 田发. “双碳”背景下数字经济赋能区域碳减排的内在机理与效应评估[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(6): 576-589. DOI: 10.12677/orf.2024.146558

Abstract

As an important starting point for promoting high-quality development, whether digital economy can effectively promote regional carbon emission reduction has attracted much attention. Based on the provincial panel data from 2015 to 2021, this paper empirically tests the relationship between the development level of China's digital economy and regional carbon emissions, and constructs an intermediary effect model to analyze the internal mechanism of the impact of digital economy on regional carbon emissions from three levels: government, enterprise and individual. The results show that, in the short term, the development of digital economy can inhibit regional carbon emissions. In the long run, the two show a U-shaped nonlinear relationship. The intermediary effect shows that the digital economy reduces regional carbon emissions by increasing education expenditure, promoting industrial structure upgrading, promoting technological innovation output and increasing public concern about environmental pollution. Heterogeneity analysis shows that the carbon emission reduction effect of digital economy is more significant in regions with high government environmental protection investment expenditure, low government financial education expenditure, high industrial structure upgrading degree, high total factor productivity, and high public environmental pollution concern. This paper reveals the internal mechanism of regional carbon emission reduction enabled by digital economy from multiple perspectives, and the research conclusions have important reference significance for deepening the green development strategy of realizing the "dual carbon" goal on time.

Keywords

Digital Economy, Carbon Emission, Dual Carbon Policy

Copyright © 2024 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

近年来,全球极端气候事件频发,给人类发展带来了严重影响,这也使得与之相关的碳排放量问题成为全球关注的焦点。我国作为全球碳排放总量最多的国家,始终积极采取行动。2020年9月,中国明确提出了“双碳”目标,即2030年实现“碳达峰”以及2060年实现“碳中和”,体现了中国努力推动人类命运共同体的构建、促进人与自然和谐共生的积极担当。但目前,“双碳”目标的实现依然任重道远(班楠楠,张潇月,2023)[1],新时期应该如何采取行动有效降低碳排放量成为亟待解决的问题。

当前,随着信息技术的快速发展,数字经济为我国经济增长带来了新动能。2022年10月,党的二十大报告提出,要加快发展数字经济,促进数字经济和实体经济深度融合,这为实现“双碳”目标提出了新思路。不少学者通过实证研究也发现,数字经济是推动实体经济高质量发展的关键动力,其能够显著驱动实体经济质量提升(潘雅茹,龙理敏,2023;余东华,王爱爱,2023;鲁钊阳等,2023)[2]-[4]。政府工作报告也屡次提出与“数字经济”相关的战略方针。数字经济的相关政策与举措的不断发展体现了中国对实现经济高质量发展的强烈意愿,但数字经济在促进实体经济发展的同时,是否能够兼顾绿色低碳,实现经济与环境的同生共赢,目前仍未有确切答案。数字经济对区域碳排放量的影响作用,直接关系着数字经济是否助力“双碳”政策的实现,故新时期内对数字经济与区域碳排放量之间关系的研究不容忽视。

以往研究对数字经济和碳排放量展开了相关检验和讨论, 这为深入研究数字经济与碳排放量之间的关系提供了一定的基础, 但目前学术界对于数字经济与碳排放量之间的关系以及内在机制还未形成一致结论。此外, 大多数研究仅覆盖 2019 年之前的时间, 缺乏对 2019 年之后的时间区间的研究, 且研究仅从技术创新等单一视角或企业等单一主体进行机制分析。基于此, 本文选用了 2015~2021 年中国 30 个省份(西藏及港澳台地区除外)的数据, 通过熵权法构建起数字经济测度指标并核算出各省份相应的数字经济发展水平, 采用中国碳核算数据库(CEADs)提供的中国省级二氧化碳排放清单(IPCC 部门核算法), 实证分析了数字经济对碳排放量的影响, 并从政府、企业及个人这三个主体入手构建机制分析模型, 进而较为全面地研究数字经济影响碳减排过程的内在逻辑。

基于以上分析, 本文可能的边际贡献在于:

第一, 构建直接效应、固定效应以及非线性效应等多种经济计量模型, 对数字经济与区域碳排放量之间的关系进行综合检验, 以期能够明确数字经济对区域碳排放量的影响作用。

第二, 基于经济计量模型以及环境库兹涅兹曲线(EKC 曲线)等理论, 并结合国内外有关数字经济与区域碳排放量的实证研究, 从政府、企业及个人等多角度探讨数字经济碳减排效应的内在机制, 从而深化对数字经济与区域碳排放量之间关系的理论认识。

第三, 以数字经济碳减排效应的作用路径为导向, 评估不同区域数字经济的碳减排效应, 进而明晰碳减排效应的影响因素, 为制定与经济高质量发展相适应的低碳发展政策提供参考, 为制定与经济高质量发展相适应的低碳发展政策提供参考, 以期能够助力“双碳”政策的按期实现。

2. 文献综述与理论分析

(一) 文献综述

在数字经济与碳排放量的研究中, 讨论数字经济与碳排放量之间的关系最为广泛。大多数学者采用线性模型表示数字经济与碳排放量之间的关系, 少部分学者采用了非线性模型。

在关于数字经济对区域碳排放量的线性影响研究中, 一部分学者验证了两者间的负相关性, 即数字经济发展对区域碳排放量起到抑制作用, Song 等(2023)实证检验了数字经济水平与碳排放强度呈现显著负相关, 并进一步验证了数字经济的三个子维度都可以减少碳排放, 但使用深度维度的减排效果最大, 而覆盖广度维度略低[5]。另一部分学者则发现数字经济也会引起碳排放量的增加, Zaidi 等(2021)使用了 23 个经合组织国家 2004~2017 年期间的数据, 证实了数字普惠金融与区域碳排放量之间存在显著的正相关关系[6]; 易子忻(2024)通过广义矩估计模型和面板分位数回归模型发现, 在 2012~2017 年的样本期内, 数字经济的发展显著增加了区域碳排放量[7]。

而关于数字经济对区域碳排放量的非线性影响研究中, 主要以环境库兹涅兹曲线(EKC 曲线)假说为理论基础。EKC 曲线假说认为在社会发展的初期, 环境污染程度会随着经济水平的提升而加剧, 但随着经济发展到一定水平后, 环境质量会随着经济增长得到改善(Grossman and Krueger, 1995) [8]。但由于研究对象选取的不同, 研究结论主要分为两种。一部分学者证实了 EKC 曲线的存在, 张丽峰(2013)利用北京 1981~2010 年的数据, 验证了北京经济增长与碳排放之间存在倒 U 型关系[9]; 王菲等(2018)发现中国 2009~2014 年有 27 个省份经济发展与碳排放量之间满足 EKC 假说中的倒“U”型曲线[10]。同时, 也有一部分学者证实了 EKC 曲线不存在, 何飞扬等(2024)基于脱钩模型和因素分解法分析发现, 我国浙江、安徽两省碳排放与经济增长 EKC 不符合传统倒“U”型曲线, 均经历两次拐点[11]; 位华和李依禾(2023)通过构建动态面板联立方程模型, 证实了在绿色金融的作用下, 经济增长与环境恶化程度呈现倒“N”型关系[12]; 周少甫等(2015)采用 Gregory-Hansen 协整检验方法结合结构突变分析, 实证检验了中国碳排放环境库兹涅兹曲线为正 U 型[13]; Abid (2015)实证研究了 1980~2009 年期间, 突尼斯经济增长与碳排放

量之间长期处于单调递增的关系, 指出了 EKC 假说的不成立, 同时证明了两者的存在双向因果关系[14]。另外, 也有不少学者发现 EKC 曲线在不同区域检验的结果不同, 存在区域异质性现象。朱磊和张建清(2017)通过测算我国 2000~2014 年期间各阶段中不同地区的脱钩弹性系数, 发现我国满足 EKC 假说的仅有东部和东北两个地区, 而中西部地区因为产业结构等原因并不满足 EKC 曲线[15]; Narayan 和 Narayan(2010)从短期和长期收入弹性的角度出发, 检验了 43 个发展中国家的 EKC 曲线假设, 结果表明其中约有 35% 的样本国家存在 EKC 假说[16]。

综上, 由于现有数字经济与碳排放量相关研究的结论中存在较多分歧, 本文通过构建数字经济指标, 测算各省份的数字经济发展水平, 采用多种经济计量模型核算其与区域碳排放量之间的关系, 以探究数字经济的推广是否有助于区域碳减排, 能否助力“双碳”目标的实现。

(二) 研究假设

如前文所述, 数字经济对碳排放的影响是复杂的, 数字经济可以对区域碳排放量产生促进效应, 也可以对此产生抑制效应。

首先, 数字经济会增加区域碳排放量。数字产业自身的发展产生了更多的能源需求(樊铁侠, 徐昊, 2021)[17]; 同时, 数字经济作为以数据资源为关键要素、以现代信息网络为主要载体的新经济形态, 可以实现信息的快速交换, 减少行业间的信息不对称问题, 有效提升实体经济效率, 进而促进实体经济发展(李国荣等, 2024)[18], 但 Li 等(2020)实证研究发现, 经济增长对我国区域碳排放量的增加存在促进作用[19]。因此, 数字经济的发展会带动实体经济的发展, 促使能源需求增加, 碳排放量可能会随之增加。

其次, 数字经济也会减少区域碳排放量。从政府层面来看, 数字经济会促使信息技术向政府部门的渗透, 提升政府对环境的监管效率, 从而有效监督并推动企业绿色转型, 实现碳排放效率的提升(白雄等, 2024)[20]。数字经济发展也为政府带来了环境治理模式的创新, 增加了政府投资效益, 促使政府加大环保投资力度, 使得更多资金流入绿色创新企业, 支持企业进行技术创新与转型升级, 从而减少环境污染和温室气体的排放(张传兵等, 2023)[21], p. 91)。从企业层面来看, 数字经济发展可以通过提高能源利用效率以及优化能源消费结构, 进而降低区域碳排放水平(杨昕和, 赵守国, 2022)[22]。数字化平台的应用可以优化企业生产服务过程, 减少过程中能源的无谓损耗, 同时也可以减少信息传递与交流成本(韦施威等, 2022)[23], 数字经济通过数据要素的利用有效降低信息不对称, 促进生产要素在市场中的自由流动, 从而缓解要素配置扭曲, 达到城市减碳效果(甘天琦, 2023)[24]。从个人层面来看, 互联网信息技术的逐步推广使得公众对环境的关注度日益增强, 提高了其践行绿色发展理念的积极性(陈宝东, 王颖鹏, 2021)[25]; 同时, 公众关注和参与能够促进绿色技术创新(徐乐, 2022)[26], 从而对区域碳减排产生正向影响。

基于上述分析可以看出, 数字经济的发展会对我国区域碳排放量产生两方面的影响作用: 一是促进效应, 二是抑制效应。数字经济对区域碳排放量的影响取决于这两种效应的叠加, 如果数字经济的减排效应强于促进效应, 则数字经济在该阶段对区域碳排放量起到抑制作用, 反之亦然。本文认为数字经济对区域碳排放量的影响较为复杂, 现阶段我国数字经济对区域碳排放量的减排作用大于促进作用, 但在较长的时间跨度上, 两者之间可能存在非线性关系。因此, 本文提出以下假设:

H1: 短期内, 数字经济对区域碳排放量起到抑制作用; 长期内, 数字经济与区域碳排放量之间呈现非线性关系。

3. 研究设计

(一) 样本与数据

本文以我国 30 个省份(西藏及港澳台地区除外)为研究样本, 选择 2015~2021 年作为样本区间。本文涉及的数据主要包括区域碳排放数据以及其他省级数据, 前者主要根据中国碳核算数据库(CEADs)提供

的中国省级二氧化碳排放清单(IPCC 部门核算法), 后者主要来源于中国统计年鉴。

(二) 模型设计与变量定义

基于上述理论分析, 为了检验数字经济对于区域碳排放量的作用情况, 构建如下计量模型:

$$\ln pce_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 dig_{it} + \alpha_2 dig_{it}^2 + \alpha Controls_{it} + FixedEffect + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 是省份, t 为年份, 被解释变量 pce 表示碳排放量, 核心解释变量 dig_{it} 表示数字经济发展水平, 考虑到数字经济发展对我国碳排放量的非线性影响, 本文同时选取数字经济发展水平的平方 dig_{it}^2 为解释变量。

根据 G20 杭州峰会签署的《二十国集团数字经济发展与合作倡议》关于数字经济的概念界定和数据可得性, 本文从发展载体和发展动力两个维度构建指标体系。在发展载体维度, 本文借鉴黄群慧等(2019) ([27], p. 13)的思路, 采用互联网普及率、移动电话普及率、相关产出情况和相关从业人员情况四个方面的指标。以上 4 个指标对应的分别是: 百人中互联网宽带接入用户数、百人中移动电话用户数、信息技术服务收入和计算机服务和软件业从业人员占城镇单位从业人员比重。在发展动力维度, 本文借鉴王维国等(2023) [28]的思路, 采用数字创新能力以及数字应用水平两个方面的指标, 分别选取技术市场成交额与数字普惠金融指数。上述指标的原始数据均可从《中国统计年鉴》中获取, 而中国数字普惠金融指数由北京大学数字金融研究中心和蚂蚁金服集团共同编制(郭峰等, 2020) [29]。通过熵权法将以上 6 个指标的数据标准化后降维处理, 得到数字经济发展水平指数, 并记为 dig 。

$Controls$ 表示控制变量, 参考已有文献(缪陆军等, 2022; 谢云飞, 2022; 崔惠玉等, 2023) [30]-[32]做法, 本文在回归模型中控制了如下变量: 对外开放程度($\ln fdi$)、财政投入力度(gov)、人口规模($\ln people$)、市场化程度($\ln sale$)和地区生产总值($\ln gdp$), 分别用外商投资企业进出口总额按人民币兑美元汇率进行转化并取对数, 地方财政一般预算支出与地区生产总值的比值, 各地区年末常住人口总数取对数, 社会消费品零售额取对数, 以及地区生产总值取对数表示。

变量描述性统计见表 1。

Table 1. Descriptive statistics

表 1. 描述性统计

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
VARIABLES	N	mean	sd	min	max
<i>year</i>	210	2018	2.005	2015	2021
<i>lnpce</i>	210	5.631	0.733	3.685	6.853
<i>dig</i>	210	0.141	0.139	0.0148	0.982
<i>dig</i> ²	210	0.0391	0.103	0.000218	0.963
<i>lnpeople</i>	210	8.216	0.742	6.358	9.448
<i>lnsale</i>	210	9.052	0.933	6.543	10.70
<i>gov</i>	210	0.264	0.110	0.105	0.753
<i>lngdp</i>	210	9.986	0.872	7.606	11.73
<i>lnfdi</i>	210	6.540	2.625	-1.237	10.55

4. 实证结果与分析

(一) 基准回归结果分析

数字经济发展水平对于区域碳排放量的基准回归结果如表 2 所示。在第(1)列中，模型中加入了控制变量，但并未加入个体和时间固定效应，可以发现 dig 的系数为-1.435，在 1%水平上显著，说明现阶段我国数字经济发展对于区域碳排放量产生抑制作用，支持了本文的预期假设；在第(2)列中，模型在上述基础上，还加入了个体和时点的固定效应，此时 dig 的系数为-0.692，在 1%水平上显著，说明考虑了不同地区时变和非时变差异后，本文的假设预期仍然成立。在第(3)列中，模型中加入解释变量 dig^2 ，并控制了前文提到的控制变量，结果显示 dig 的估计系数与前两列保持一致，仍在 1%的水平上显著为负，说明数字经济发展对于区域碳排放量产生抑制作用；与此同时， dig^2 的系数在 10%的水平显著为正，系数为 1.055，说明数字经济与区域碳排放量之间存在非线性关系，曲线呈“U”型。

Table 2. Baseline regression model
表 2. 基准回归模型

	(1)	(2)	(3)
	<i>lnpce</i>	<i>lnpce</i>	<i>lnpce</i>
<i>dig</i>	-1.435*** (-7.18)	-0.692*** (-3.91)	-3.299*** (-5.69)
<i>dig</i> ²			1.055* (1.78)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes
<i>FixedEffect</i>	No	Yes	No
N	210	210	210
R ²	0.7226	0.6081	0.701
F	82.23	21.15	122.3

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平，括号内为 t 值。

(二) 稳健性检验

基准回归结果虽然证实了本文的研究假设，但是遗漏变量等潜在的内生性问题可能会导致回归结果产生估计偏误。因此，为检验基准回归结果是否稳健有效，接下来本文将从分位数回归、工具变量法、排除政策干扰等方法，对基准回归结果进行稳健性检验。

1) 分位数回归

为了更为全面估计模型，本文还采用了分位数回归方法，实证结果见表 3。结果显示，在不同分位数处， dig 系数均在 1%的水平上显著为负，与前文的实证结果保持一致。

Table 3. Quantile regression results
表 3. 分位数回归结果

	分位数 0.10	分位数 0.20	分位数 0.30	分位数 0.40	分位数 0.50	分位数 0.60	分位数 0.70	分位数 0.80	分位数 0.90
<i>dig</i>	-1.642 (0.000***)	-1.654 (0.000***)	-1.886 (0.000***)	-1.52 (0.000***)	-1.635 (0.000***)	-1.74 (0.000***)	-1.619 (0.000***)	-1.75 (0.000***)	-1.624 (0.000***)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R ²	0.68	0.591	0.53	0.493	0.478	0.464	0.453	0.442	0.454

因变量：*lnpce*

注：***、**、*分别代表 1%、5%、10%的显著性水平，括号内为对应 p 值。

2) 工具变量法

由于数字经济对区域碳排放量的影响可能会受到遗漏变量等影响，从而影响回归结果。故为了解决内生性问题，本文借鉴黄群慧等(2019) ([27], p. 16)的做法，选取 1999 年各省份每万人固定电话数量与上一年移动互联网用户人数的交乘项，作为各省数字经济发展水平的工具变量，记为 *tel*。其中，选择 1999 年的数据是由于 1999 年《中国统计年鉴》的最早年份，样本期间间隔较久；同时，固定电话的丰裕程度与数字经济发展程度相关，但与目前区域碳排放量关系并不紧密。因此，其较好满足了工具变量的使用条件。如表 4 第(1)列所示，通过添加控制变量，数字经济与区域碳排放量在 1%的水平下显著为负，说明数字经济对区域碳排放量依然起到显著的抑制效应，与前文预期相符。

3) 排除政策干扰

2019 年 10 月 20 日，河北省(雄安新区)、浙江省、福建省、广东省、重庆市、四川省等 6 个国家数字经济创新发展试验区接受授牌，启动试验区建设工作。考虑到外生政策冲击可能会对回归结果产生一定影响，本文采取剔除相关省份的方式重新进行回归，回归结果见表 4 第(2)、(3)列，*dig* 的系数显著为负，*dig*² 的系数在 10%的水平上显著为正，与前文预期保持一致，说明了基准回归结果具有较好的稳健性。

Table 4. Robustness test results
表 4. 稳健性检验结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	工具变量法	剔除相关省份	剔除相关省份	替换被解释变量 <i>cei</i>	替换核心解释变量	替换核心解释变量
<i>dig</i>	-1.509*** (-3.58)	-1.797*** (-8.11)	-3.445*** (-6.35)	-.0166*** (-5.28)		
<i>dig</i> ²			1.007* (1.80)			
<i>digi</i>					-1.453*** (-7.60)	-3.244*** (-5.78)
<i>digi</i> ²						1.003* (1.74)
Controls	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
N	210	168	168	210	210	210
R ²	0.6772	0.6997	0.6875	0.4714	0.7238	0.7026
F		92.97	238.81	60.97	85.60	129.88
Ward F	254.33					

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平，括号内为 t 值。

4) 替换核心解释变量和被解释变量

为了变量测度误差的干扰，文本还变换了被解释变量和核心解释变量的测度方式，如表 4 后三列所示，其中第(4)列将被解释变量替换为碳排放强度 *cei*，即区域碳排放量与 GDP 的比值；第(5)、(6)列将核心解释变量替换为经优劣解距离法(TOPSIS)核算的数字经济发展水平 *digi*。结果与前文保持一致，即数字经济发展对区域碳排放量存在非线性影响作用，呈“U”形，而现阶段数字经济发展对我国区域碳排放量起到抑制作用，处于“U”形曲线拐点的前半部分，上述研究结果均与前文保持一致，验证了基准回归

的可靠性。

5. 进一步分析

前文验证了数字经济发展对区域碳排放量的影响，并通过分位数回归等方法，对基准回归的稳健性进行了检验。为了进一步研究数字经济发展影响区域碳排放的内在逻辑，揭开两者间存在的作用机制，接下来本文将应用中介效应模型，从政府、企业和个人三个层面，对数字经济与区域碳排放量的关系进行分析与检验，构建如下计量模型：

$$Mec_{it} = \beta_0 + \beta_1 dig_{it} + \alpha Controls_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$lnpce_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 MEC + \gamma Controls_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中， MEC 表示机制变量，参考已有文献(郭沛和王光远，2023；钟文等，2023；白丽飞，2023) [33]-[35]，本文选取了政府、企业和个人三个维度的指标。在政府层面，采用地方财政环境保护支出的对数表征政府环保投资($lnepi$)，选用地方财政教育支出的对数表征政府教育投资($lnedu$)；在企业层面，选取了第二产业生产总值占国民生产总值的比重表征产业结构升级(is)，选取了专利申请数量表征科技创新产出($Intio$)；在个人层面，选取了生活垃圾无害化处理率表征公众环境污染关注度(Htw)。

如果系数 γ_1 显著，说明中介变量能够影响被解释变量。本文综合了上述两种模型。如果 β_1 和 γ_1 均显著，则表明中介变量通过影响解释变量 dig_{it} 进一步影响被解释变量 $lnpce_{it}$ 。如果 β_1 和 γ_1 的系数均不显著，则说明不存在中介作用。

(一) 机制分析

1) 政府层面

数字经济的不断发展为数字化治理模式带来了更多创新，促使地方政府加大投资力度，地方政府通过直接或间接的方式影响市场主体的决策行为，从而实现碳减排。彭昱(2013)通过改进的 STIRPAT 模型实证研究发现我国地方政府投资有助于降低碳排放，地方政府可以通过对相关产业的投资和引导，影响企业的生产活动，从而实现区域碳减排[36]。政府投资行为也会影响到民间投资决策，扈文秀和孔婷婷(2014)发现在政府稳健的宏观经济政策的作用下，政府投资行为会影响民间投资，会对民间投资起到较大的拉动作用[37]。与此同时，数字经济的发展也为教育体系带来了更多变革，互联网信息技术的应用一定程度上打破了教育资源的区域壁垒，激活了更多教育资源的流动功能。钱嫦萍和蔡烨(2024)研究发现可以通过逐步配备必要数字化基础设施是促进教育公平的重要且有效的机制[38]。人口素质与受教育程度之间存在密切的关系，而人口素质的差异直接影响了低碳理念的接受与普及，进而影响到低碳经济发展的整体进程(郭一文，2011) [39]。故本文基于以往研究，选用政府环保投资和地方财政教育支出作为政府层面衡量数字经济影响区域碳排放的指标。

政府层面的机制分析如表 5 所示，结果显示，数字经济对机制变量均产生显著的影响，从而影响区域碳排放量。其中，(1)、(3)列报告了数字经济对政府环保投资与地方财政教育支出的影响均在 1% 水平上显著，说明数字经济的发展会对政府行为产生积极影响，促进政府在环保方面及教育方面的投资；第(2)列报告了政府环保投资对区域碳排放量的影响，在 5% 的统计水平上显著为正，说明目前我国的政府环保方面的投资缺乏效率，并未对碳排放量起到抑制作用；第(4)列结果显示，地方财政教育支出对区域碳排放量的影响在 1% 水平上显著为负，即数字经济的发展可以促使政府增加教育财政支出，通过促进教育公平，提高人口素质，进而促进区域碳减排。

2) 企业层面

数字经济的发展可以通过影响产业结构和技术创新，间接实现区域碳减排。首先，数字经济改变了传统产业，同时推动形成并促进了新兴产业的发展，由此引起劳动生产率的提高和产业比例关系的改变，

进而影响产业结构(李治国等, 2021) [40]; 数字经济也使得生产要素具备了更高的流动性, 推动生产要素往高效率部门转移, 从而推动产业结构升级(张修凡, 范德成, 2022) [41]。其次, 数字经济的开放性特征促进了技术传播, 提高了行业吸纳新生产技术的能 力, 降低了企业的技术转型门槛(孙全胜, 2022) [42]; 与此同时, 数字经济也降低了企业的创新成本, 企业可以基于行业生产技术开拓创新, 从而增加行业的科技创新产出。故本文基于以往研究, 选用产业结构升级和科技创新产出作为企业层面衡量数字经济影响区域碳排放的指标。

Table 5. Results of mechanism analysis at the government level
表 5. 政府层面机制分析结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>lnepi</i>	<i>lnpce</i>	<i>lnedu</i>	<i>lnpce</i>
<i>dig</i>	0.739*** (3.24)		0.550*** (6.27)	
<i>lnepi</i>		0.227** (2.54)		
<i>lnedu</i>				-1.063*** (-5.13)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	210	210	210	210
<i>R</i> ²	0.7417	0.7078	0.9695	0.7299
<i>F</i>	175.08	76.00	2188.57	71.25

注: ***, **, *分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平, 括号内为 t 值。

企业的机制分析如表 6 前四列所示。其中, 从第(1)、(2)列的回归结果可以看出, 随着数字经济发展水平与产业结构升级在 1% 的水平上显著为负, 而产业结构升级与区域碳排放量在 5% 的水平上显著为正, 说明随着数字经济发展水平的提高, 第二产业的比重不断降低, 从而引起区域碳排放量的降低; 第(3)、(4)列可以看出, 数字经济发展水平与科技创新产出在 5% 的水平上显著为正, 而科技创新产出与区域碳排放量在 1% 的水平上显著为负, 这说明数字经济的发展也可以通过促进技术进步带动区域碳减排。

3) 个人层面

数字经济的发展也会影响个人的决策行为。一方面, 互联网的普及提高了环保的宣传普及力度及效果, 从而影响个人的环保观念及行为; 另一方面, 由环境污染引起的极端气候问题等新闻内容的发布, 也会迫使人们意识到保护环境的重要性, 从而改变自身的决策行为。数字经济的发展带来了环保观念的改变, 提高了公众对于环保的诉求, 从而对全区域碳排放量产生影响(张传兵等, 2023) ([21].p. 93)。故本文基于以往研究, 选用公众对于环境污染的关注度作为个人层面衡量数字经济影响区域碳排放的指标。

个人层面的机制分析如表 6 的第(5)、(6)列所示, 数字经济发展水平与公众环境污染关注度在 10% 的水平上显著为正, 公众环境污染关注度与区域碳排放量在 5% 的水平上显著为负。这说明, 数字经济的发展使得公众可以借助各种新媒体等渠道了解环境污染情况, 提高了公众对于环境污染的关注度, 提高了公众自身的环保意识, 从而对区域碳排放量起到抑制作用。

Table 6. Results of institutional analysis at the firm and individual levels
表 6. 企业和个人层面机制分析结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>Is</i>	<i>Inpce</i>	<i>Intio</i>	<i>Inpce</i>	<i>Htw</i>	<i>Ln pce</i>
<i>dig</i>	-0.402*** (-7.66)		0.728** (2.38)		0.049* (1.81)	
<i>Is</i>		2.720** (6.09)				
<i>Intio</i>				-0.360*** (-3.82)		
<i>Htw</i>						-1.358** (-2.24)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	210	210	210	210	210	210
<i>R</i> ²	0.4357	0.7538	0.9145	0.5961	0.1719	0.5647
<i>F</i>	20.84	99.33	422.78	47.48	7.32	43.78

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平，括号内为 t 值。

(二) 异质性分析
1) 政府层面异质性分析

从政府的财政支出情况来看，根据地方财政教育支出高低，可以划分为低地方财政教育支出区域和高地方财政教育支出区域，分别进行回归。表 7 的第(1)列报告了以低地方财政教育支出省份为样本的回归结果，此时 *dig* 的系数为-5.596，在 1%水平上显著；表 7 的第(2)列报告了以高地方财政教育支出省份为样本的回归结果，此时 *dig* 的系数为-1.49，且在 1%水平上显著。这两列的系数差异显示，在低地方财政教育支出的区域，数字经济的减排作用更加显著。根据政府环保投资支出高低，可以划分为低政府环保投资支出区域和高政府环保投资支出区域，分别进行回归，表 7 第(3)列报告了以低政府环保投资支出省份为样本的回归结果，此时 *dig* 的系数为-1.606，统计结果不显著；表 7 第(4)列报告了以高政府环保投资支出省份为样本的回归结果，此时 *dig* 的系数为-1.757，在 1%水平上显著。从两列回归结果的差异可以看出，当区域政府环保投资支出较高时，数字经济更能够发挥碳减排效应。

Table 7. Heterogeneity test results at the government level
表 7. 政府层面异质性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>Inpce</i>	<i>Inpce</i>	<i>Inpce</i>	<i>Inpce</i>
	低地方财政教育支出	高地方财政教育支出	低政府环保投资支出	高政府环保投资支出
<i>dig</i>	-5.596*** (-4.18)	-1.490*** (-9.43)	-1.606 (-1.02)	-1.757*** (-7.79)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
<i>N</i>	84	126	77	133
<i>R</i> ²	0.7243	0.8093	0.6486	0.7468
<i>F</i>	40.48	144.21	28.80	129.27

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平，括号内为 t 值。

2) 企业层面异质性分析

考虑到全要素生产率作为衡量技术进步的重要指标。本文借鉴魏楚(2007) [43]的方法，以 2015~2021 年期间中国 30 个省的资本存量、劳动力和能源消费量为投入要素，以各省当年的国内生产总值 GDP 作为产出要素，采用 DEA-Malmquist 方法测算各省份不同年份的全要素生产率。其中，本文选用全社会固定资产投资代表社会资本存量投入情况，选用城镇就业成员代表劳动力投入情况，选取了地区电力消费量作为能源消费量的代理指标。根据测算的全要素生产率将各省划分为低全要素生产率区域和高全要素生产率区域，分别进行回归。表 8 的第(1)列报告了以低全要素生产率省份为样本的回归结果，结果显示 *dig* 的系数为-2.174，在 1%水平上显著；第(2)列报告了以高全要素生产率省份为样本的回归结果，结果显示 *dig* 的系数为-2.389，且在 1%水平上显著。这两列系数的差异显示，当位于高全要素生产率区域，*dig* 的系数绝对值较大，说明当企业位于高全要素生产率的区域，数字经济能够发挥更大的减排作用。

Table 8. Heterogeneity test results at the firm level
表 8. 企业层面异质性检验结果

变量	(1)	(1)	(3)	(4)
	<i>lnpce</i>	<i>lnpce</i>	<i>lnpce</i>	<i>lnpce</i>
	低全要素生产率	高全要素生产率	第二产业占比低	第二产业占比高
<i>dig</i>	-2.174*** (-18.02)	-2.389*** (-4.31)	-2.140*** (-12.41)	-2.154*** (-5.44)
<i>Controls</i>	Yes	Yes	Yes	Yes
N	112	98	77	133
R ²	0.8800	0.7340	0.8915	0.6988
F	150.12	63.66	119.02	60.98

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平，括号内为 t 值。

根据第二产业结构占比的不同，可以划分为第二产业占比低区域和第二产业占比高区域，分别进行回归。表 8 的第(3)列报告了以第二产业占比低的省份为样本的回归结果，结果显示 *dig* 的系数为-2.14，在 1%水平上显著；第(4)列报告了以第二产业占比高的省份为样本的回归结果，结果显示 *dig* 的系数为-2.154，且在 1%水平上显著。这两列系数的差异显示，在第二产业占比高的区域，*dig* 的系数绝对值较大，说明产业结构升级程度越高，数字经济作用于区域碳减排的效果越显著。

Table 9. Results of heterogeneity test at the public level
表 9. 公众层面异质性检验结果

变量	(1)	(2)
	<i>lnpce</i>	<i>lnpce</i>
	低环境污染关注度	高环境污染关注度
<i>dig</i>	-1.083*** (-5.51)	-1.226*** (-2.85)
<i>Controls</i>	Yes	Yes
N	70	140
R ²	0.9064	0.6606
F	140.09	38.07

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10% 的显著性水平，括号内为 t 值。

3) 公众层面异质性分析

从公众对环境污染的关注情况来看, 根据关注程度的高低, 可以划分为低环境污染关注度区域和高环境污染关注度区域, 分别进行回归。表 9, 在 1% 水平上显著; 第(2)列报告了以高环境污染关注度的省份为样本的回归结果, 此时 dig 的系数为-1.226, 且在 1% 水平上显著。从两列的系数差异可以看出, 在公众环境污染关注度较高的区域, 公众对企业等不同主体的污染行为能够起到更好的监督, 故数字经济的碳减排效应更为显著。

6. 结论与建议

本文基于 2015~2021 年的省级面板数据, 对我国数字经济发展水平与区域碳排放量之间的关系进行实证检验。以区域碳排放量作为因变量、数字经济发展水平作为核心解释变量构建经济计量模型, 包含了对外开放程度、财政投入力度、人口规模、市场化程度和地区生产总值五个控制变量。进一步, 本文构建了中介效应模型, 通过政府、企业和个人三个层面分析了数字经济影响区域碳排放量的内在机理。主要结论如下: 1) 在短期内, 数字经济对区域碳排放量起到抑制作用; 长期内, 两者呈现“U”型的非线性关系。2) 机制分析表明, 数字经济通过提高政府教育支出、促进产业结构升级、推动技术创新产出和增加公众环境污染关注度这四条路径降低区域碳排放量。3) 从政府、企业和个人三个主体进行考察, 发现数字经济对区域碳排放量的减排效应存在异质性, 当政府环保投资支出更高、政府教育支出更低、产业结构升级程度更高、地区全要素生产率更高、公众环境污染关注度更高时, 数字经济更能够有效降低区域碳排放量, 即数字经济能够对区域碳排放量起到更大的抑制作用。

本文的研究结论表明, 数字经济有助于引导政府、企业和个人各个主体积极转换为活动, 对区域碳排放量形成的减排作用, 从而促进“双碳”目标的落实, 有如下几方面的政策建议:

第一, 逐步健全数字监管体系, 积极推进数字经济政策落地。政府应加大数字化系统的应用, 健全数字监管体系, 努力促成“数字政府”的实现。一方面, 可以使政府加大对投资主体资金使用情况的监管, 提高政府投资“收益”, 促使政府加大环保投资力度, 在经济下行的情况下政府投资有助于引导企业转变发展动能, 从而促进企业绿色转型; 另一方面可以使政府加强对企业数字信息使用情况的监管, 缓解信息安全问题, 提高公众对数字经济发展的信任与信心, 促进数字经济的发展。

第二, 畅通数字经济影响区域碳排放量的作用路径, 强化数字经济的碳减排效应。首先, 政府应加大环保投资和教育方面的支出, 积极健全数字教育体系, 促进教育体系的数字化转型, 缩小区域间人口受教育程度与人口素质的差异, 进而缩小降低区域碳排放量的差异。其次, 政府应积极推进产业数字化转型, 充分发挥数字经济在产业结构升级过程中的作用, 加大数字技术在生产各环节的应用, 提高生产要素利用率, 降低企业生产成本与碳排放量。再次, 应完善知识产权保护相关的法律法规, 充分发挥数字普惠金额的优势, 降低企业的融资门槛, 为更多小微企业能提供个性化的金融服务, 以支持其开展技术创新活动。最后, 充分利用新媒体进行环境保护观念的宣传。公众环境污染关注度直接影响着公众的行为活动, 从而对区域碳排放量起减排作用。因此, 官方媒体可以采用视频号宣传等的新形式, 加大对环境污染问题、环境保护观念及行为的宣传, 从而提高公众环境污染关注度, 并进一步影响公众的行为活动, 使其参与到更多的绿色行为中, 从而对区域碳排放量起减排作用。

第三, 结合数字经济影响区域碳排放量的地区差异特点, 应逐步完善数字基础设施建设, 以使数字经济发挥其碳减排作用; 同时, 可以加强各个区域间的合作与援助, 充分利用数字经济的信息传递功能, 帮助中西部及东北地区更好吸收创新技术, 从而使其数字经济得以发展, 进而发挥碳减排效应。

基金项目

上海市哲学社科一般项目: 数字经济企业的税收治理水平评估与优化策略研究(2023BJB005)。

参考文献

- [1] 班楠楠, 张满月. 数字经济对我国居民消费碳排放影响[J]. 中国环境科学, 2023, 43(12): 6625-6640.
- [2] 潘雅茹, 龙理敏. 数字经济驱动实体经济质量提升的效应及机制分析[J]. 江汉论坛, 2023(8): 40-49.
- [3] 余东华, 王爱爱. 数字技术与实体经济融合推进实体经济发展——兼论对技术进步偏向性的影响[J]. 上海经济研究, 2023(10): 74-91.
- [4] 鲁钊阳, 杜雨潼, 邓琳钰. 数字普惠金融对实体经济发展的影响[J]. 财会月刊, 2023, 44(23): 128-134.
- [5] Song, X., Yao, Y. and Wu, X. (2023) Digital Finance, Technological Innovation, and Carbon Dioxide Emissions. *Economic Analysis and Policy*, **80**, 482-494. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.09.005>
- [6] Zaidi, S.A.H., Hussain, M. and Uz Zaman, Q. (2021) Dynamic Linkages between Financial Inclusion and Carbon Emissions: Evidence from Selected OECD Countries. *Resources, Environment and Sustainability*, **4**, Article 100022. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100022>
- [7] 易子忻. 数字经济对中国碳排放的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学, 2022.
- [8] Grossman, G.M. and Krueger, A.B. (1995) Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, **110**, 353-377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- [9] 张丽峰. 北京碳排放与经济增长间关系的实证研究——基于 EKC 和 STIRPAT 模型[J]. 技术经济, 2013, 32(1): 90-95.
- [10] 王菲, 杨雪, 田阳, 等. 基于 EKC 假说的碳排放与经济增长关系实证研究[J]. 生态经济, 2018, 34(10): 19-23.
- [11] 何飞扬, 刘天乐, 周智杰, 等. 基于 EKC 理论下碳排放与经济增长的二者关系研究——浙江省与安徽省的对比分析[J]. 生态经济, 2024, 40(6): 21-29.
- [12] 位华, 李依禾. 绿色金融视角下经济增长与环境质量关系研究[J]. 山东社会科学, 2023(3): 131-140.
- [13] 周少甫, 赵明玲, 苏龙. 中国碳排放库兹涅茨曲线实证研究——基于 Gregory-Hansen 协整分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(9): 1471-1476.
- [14] Abid, M. (2015) The Close Relationship between Informal Economic Growth and Carbon Emissions in Tunisia since 1980: The (ir)Relevance of Structural Breaks. *Sustainable Cities and Society*, **15**, 11-21. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.11.001>
- [15] 朱磊, 张建清. 我国经济增长与区域碳排放的关系测度——基于 Tapio 脱钩理论和 EKC 假说的实证分析[J]. 江汉论坛, 2017(10): 12-16.
- [16] Narayan, P.K. and Narayan, S. (2010) Carbon Dioxide Emissions and Economic Growth: Panel Data Evidence from Developing Countries. *Energy Policy*, **38**, 661-666. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.005>
- [17] 樊铁侠, 徐昊. 中国数字经济发展能带来经济绿色化吗?——来自我国省际面板数据的经验证据[J]. 经济问题探索, 2021(9): 15-29.
- [18] 李国荣, 陶九龙, 木仁. 中国城市数字经济对实体经济效率的影响研究[J]. 数理统计与管理, 2024, 43(4): 705-720.
- [19] Li, J. and Li, S. (2020) Energy Investment, Economic Growth and Carbon Emissions in China—Empirical Analysis Based on Spatial Durbin Model. *Energy Policy*, **140**, Article 111425. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111425>
- [20] 白雄, 韩锦绵, 张文瑞. 数字经济发展赋能绿色经济增长: 后发优势与隧道效应[J]. 统计与决策, 2024, 40(1): 23-28.
- [21] 张传兵, 居来提·色依提. 数字经济、碳排放强度与绿色经济转型[J]. 统计与决策, 2023, 39(10): 90-94.
- [22] 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, 43(12): 85-100.
- [23] 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.
- [24] 甘天琦. 数字经济的减碳效应研究——基于要素配置的视角[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2023, 62(6): 60-73.
- [25] 陈宝东, 王颖鹏. 政府审计、媒体关注与环境治理[J]. 资源与产业, 2021, 23(5): 89-97.
- [26] 徐乐, 马永刚, 王小飞. 基于演化博弈的绿色技术创新环境政策选择研究: 政府行为 VS. 公众参与[J]. 中国管理科学, 2022, 30(3): 30-42.
- [27] 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.
- [28] 王维国, 王永玲, 范丹. 数字经济促进碳减排的效应及机制[J/OL]. 中国环境科学, 1-15. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20230307.002>, 2024-01-25.
- [29] 郭峰, 王靖一, 王芳, 等. 测度中国数字普惠金融发展: 指数编制与空间特征[J]. 经济学(季刊), 2020, 19(4):

- 1401-1418.
- [30] 缪陆军, 陈静, 范天正, 等. 数字经济发展对碳排放的影响——基于 278 个地级市的面板数据分析[J]. 南方金融, 2022(2): 45-57.
- [31] 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.
- [32] 崔惠玉, 吕炜, 徐颖. 减税降费与地方债务风险: 基于城投债的证据[J]. 经济学家, 2023(3): 58-67.
- [33] 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.
- [34] 钟文, 杨俊, 郑明贵, 等. 中国城市数字经济对物流业碳排放的影响效应及传导机制[J]. 中国环境科学, 2024, 44(1): 427-437.
- [35] 白丽飞. 数字经济的碳减排效应研究——兼论财政政策和市场机制的叠加作用[J]. 甘肃社会科学, 2023(6): 224-236.
- [36] 彭昱. 地方投资行为、经济发展水平与碳排放——基于中国省级面板数据分析[J]. 经济社会体制比较, 2013(3): 92-99.
- [37] 扈文秀, 孔婷婷. 政府投资对民间投资的影响效应——基于中国经济的实证研究[J]. 国际金融研究, 2014(11): 87-96.
- [38] 钱嫦萍, 蔡烨. 城乡教育资源数字化转型的价值、困境及其突破[J]. 教学与管理, 2024(18): 36-40.
- [39] 郭一文. 人口消费行为对低碳经济发展的影响[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北大学, 2011.
- [40] 李治国, 车帅, 王杰. 数字经济发展与产业结构转型升级——基于中国 275 个城市的异质性检验[J]. 广东财经大学学报, 2021, 36(5): 27-40.
- [41] 张修凡, 范德成. 数字经济发展赋能我国低碳经济转型研究——基于国家级大数据综合试验区的分析[J]. 科技进步与对策, 2023, 40(19): 118-128.
- [42] 孙全胜. 数字经济赋能企业绿色技术创新的三重路径研究[J]. 中州学刊, 2023(11): 26-32.
- [43] 魏楚, 沈满洪. 能源效率及其影响因素: 基于 DEA 的实证分析[J]. 管理世界, 2007(8): 66-76.