

绿色技术创新对碳减排效率的影响研究

华刘欣*, 吕佳慧*, 余晓庆, 杨宝宜, 许晓雪

南京财经大学财政与税务学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年3月6日; 录用日期: 2025年4月17日; 发布日期: 2025年4月29日

摘要

全球气候变化问题日益严重, 凸显了绿色技术创新在提升碳减排效率中的重要性。文章基于中国2012~2022年326个省级面板数据, 运用超效率SBM模型和固定效应模型, 探讨了绿色技术创新对碳减排效率的影响及其机制。研究表明, 绿色技术创新对碳减排效率有着显著提升作用, 外商直接投资产业结构升级、技术交易活跃度与碳减排效率皆存在显著正向影响, 而教育重视度对碳减排效率存在一定负向效应。未来研究需要深入探讨地区之间的差异, 为制定差异化政策提供见解。

关键词

绿色技术, 创新, 碳减排效率, 碳排放交易制度

Research on the Impact of Green Technology Innovation on Carbon Emission Reduction Efficiency

Liuxin Hua*, Jiahui Lyu*, Xiaoqing Yu, Baoyi Yang, Xiaoxue Xu

School of Public Finance and Taxation, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 6th, 2025; accepted: Apr. 17th, 2025; published: Apr. 29th, 2025

Abstract

The growing severity of global climate change underscores the importance of green technology innovation in enhancing carbon emission reduction efficiency. This article, based on provincial panel data from 326 regions in China from 2012 to 2022, utilizes the super-efficiency SBM model and fixed-effects model to explore the impact of green technology innovation on carbon reduction efficiency and its mechanisms. The research indicates that green technology innovation significantly

*共同第一作者。

文章引用: 华刘欣, 吕佳慧, 余晓庆, 杨宝宜, 许晓雪. 绿色技术创新对碳减排效率的影响研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(4): 260-268. DOI: 10.12677/sd.2025.154110

improves carbon reduction efficiency, with foreign direct investment, industrial structure upgrading, and technology transaction activity all showing significant positive effects. However, the emphasis on education has a certain negative impact on carbon reduction efficiency. Future research needs to delve deeper into regional differences to provide insights for formulating differentiated policies.

Keywords

Green Technology, Innovation, Carbon Emission Reduction Efficiency, Carbon Emission Trading System

Copyright © 2025 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

1.1. 研究背景

当前,全球气候变化问题日益严峻,随着全球环保意识的提升,减少温室气体排放已成为当务之急,生态可持续发展的实现也显得尤为紧迫。在此背景下,研究有效的碳减排策略,具有重要的现实意义和战略价值。绿色技术创新是碳减排实现的关键路径,可以通过清洁能源的应用、提升能源利用效率以及减少污染物排放,直接影响碳排放的规模[1]。然而,绿色技术创新的推广和应用受到多种因素的制约,如区域经济发展水平、产业结构以及政策支持力度等,这些因素共同决定绿色技术创新在不同地区的碳减排成效。

1.2. 研究意义

在当前“双碳”目标的背景下,作为新质生产力核心驱动之一的绿色技术创新是否能有效降低碳排放水平、其影响是否存在区域异质性对提升碳减排效率具有重要意义。基于上述问题,本文立足于中国实际情况,依据现有理论构建多维评估体系,并运用超效率 SBM 模型测算碳减排效率。此外,深入分析了绿色技术创新对碳减排效率的内在影响机制,并进行了实证检验。与现有文献相比,本文论述了绿色技术创新的碳减排效应,揭示出绿色技术创新的区域差异性。研究将为政府建设新型能源体系、绿色供应链和碳市场,以及助推“双碳”目标的实现提供科学理论依据。

2. 国内外研究综述

2.1. 绿色技术创新的测度

现有研究主要通过绿色专利申请量衡量创新数量,通常采用对数处理消除右偏分布[2]。专利质量的测度呈现多元化趋势,高磊和杨晓丽[3]基于 IPC 分类构建知识宽度指标,反映技术领域的广度;郭丰等[4]采用五年内专利被引频次,体现技术影响力与质量持续性。这种多维评估体系有效弥补了单一使用专利申请量导致的授权偏差问题。

2.2. 碳减排效率相关研究

2.2.1. 碳减排效率的影响因素

李志学等[5]通过构建驱动-制动-综合因素框架发现影响因素呈现层次化特征。众多学者分别对于

三类因素的研究成果如下: 任平月[6]根据 2006~2020 年中国 30 个省的面板数据, 探讨能源消费碳排放现状下, 省域碳排放和经济增长的脱钩效应。张修凡和范德成[7]选取我国 2013~2019 年碳排放权交易试点市场面板数据, 分析市场价格机制对碳减排效率的影响。王佳[8]运用固定效应, 基于我国 30 个省市区的面板数据, 证明中国的绿色金融对碳减排效率具有一定影响。

2.2.2. 碳减排效率的测度

结合以往的研究, 碳减排效率的测度主要包括单要素指标和全要素指标。单要素法聚焦碳排放强度、碳生产率等单一维度指标, 虽操作简便但忽视要素替代性。全要素法整合资本、人力、能源投入与 GDP、碳排放产出, 更全面反映资源配置效率。因此, 在实际应用中需要结合全要素测度方法, 采用非期望产出的超效率 SBM 模型和 GML 指数进行综合分析[9]。

2.3. 绿色技术创新与碳减排效率的关系

国内研究证实绿色创新通过数字化转型传导[10]、产业升级[11]等路径提升碳效率, 但影响存在区域差异性[12]。国际研究揭示绿色技术创新与碳减排存在非线性关联。学者发现数字经济背景下, 绿色技术创新水平对碳排放呈现双门槛效应: 低于阈值时加剧排放, 超过阈值则显著抑制。Li 等[13]进一步提出企业碳减排与绿色技术创新呈倒“U”型关系, ESG 责任履行达到临界值后, 企业减排行为从抑制转向促进技术创新。

3. 理论机制与研究假设

不同地区的绿色技术创新水平对碳减排效率的影响: 绿色技术创新在生产过程中通过环保技术、节能技术、清洁能源技术的研发和应用, 促进企业在生产过程中实现绿色、低碳的生产生活方式转变。可以直接从排放源捕获二氧化碳, 减少进入大气的量, 如碳捕集、利用和封存技术等一些创新技术。此外, 还可以通过绿色技术创新, 在能源生产和使用过程中减少碳排放, 拓宽清洁能源获取途径, 研发出太阳能光伏、风力发电等更高效的能源转换技术。绿色技术创新还促进煤炭、石油等传统高碳能源的逐步替代和减少对化石能源的依赖, 开发利用清洁能源和可再生能源。这不仅能降低碳排放, 提高能源结构中清洁能源的比例, 而且对改善空气质量、降低碳排放总体水平、保护环境等都有帮助。以我国为例, 我国国土面积广大, 幅员辽阔, 地区发展差异较大, 绿色技术创新水平对碳减排效率的影响也不能一概而论。我国东南沿海地区经济发达、技术创新能力强、能源密集型行业较少且人们对环保的要求更高, 更容易将科研成果进行相关的应用和普及, 那么在这些发达地区, 绿色技术创新对于提高碳减排效率的成果就更加显著; 与之相对的是在我国的中西部地区, 尽管绿色技术创新对碳减排有正面影响, 但由于技术、资源和资金等条件限制, 其创新能力、减排效率及成果可能远不如发达地区。

基于上述讨论, 我们可以提出假设: 绿色技术创新水平越高, 相对应的碳减排效率就越高。假设绿色技术创新水平的提升能够显著提高碳减排效率, 即随着绿色技术创新水平的不断提高, 单位产出的碳排放量将逐渐减少。

4. 模型设计与数据说明

4.1. 模型构建

为探究绿色技术创新对碳减排效率的直接效应, 构建基准回归模型

$$cere_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 GTI_{it} + \alpha_2 \sum control_{it} + \mu_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, $cere_{it}$ 表示碳减排效率, i 和 t 分别代表地区和年份, GTI_{it} 表示绿色技术创新水平, $control_{it}$ 表示控

制变量, μ_i 表示地区固定效应, μ_t 表示时间固定效应, ε_{it} 表示误差项。

4.2. 指标测算

4.2.1. 被解释变量

结合以往的研究,超效率 SBM 模型在数据包络分析框架下具有独特优势,其不仅能有效处理非期望产出问题,还可实现多决策单元效率值的差异化比较[14]。此次研究将碳排放总量设定为非期望产出指标,构建超效率 SBM 模型进行碳减排效率测算。具体而言,为克服传统模型在小样本数据环境下易出现前沿面失真的缺陷,本文将样本期间所有的投入产出数据,即 30 个省份面板数据,作为当期的参考技术集,涉及投入产出变量见表 1。

Table 1. Implications and measurement of provincial carbon emission reduction efficiency indicators
表 1. 省区碳减排效率指标涵义与测算

一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	劳动	各省年末就业人员数
	资本	固定资产投资总额
	能源	能源消费量包括煤炭类和石油类 8 种能源的消费量,并将其折算成标准煤
期望产出	省区 GDP	以 2012 年不变价格计算 GDP
非期望产出	省区碳排放总量	本文选取煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气 8 种能源,采用目前 IPCC 提供的方法进行计算

4.2.2. 核心解释变量

本文选取绿色技术专利申请量作为绿色技术创新的衡量指标,用 GTI_{it} 表示。相较于存在一定时滞性的专利授权量,专利申请量受外部因素的影响较小,且能够更及时地反映出企业的创新活动和技术进步[15],还不容易受不确定因素干扰。

4.2.3. 控制变量

基于碳减排相关研究文献,本文选取如下 5 个控制变量。

1) 人均 GDP($pgdp$): 地区生产总值与地区年末人口数的比值取对数; 2) 外商直接投资($\ln fdi$): 采用实际利用外资额的对数表示; 3) 教育重视度(eil): 用教育经费与地方财政支出的比值表示; 4) 产业结构升级($lninds$): 引入产业结构层次系数来诠释各省份的产业结构升级水平 $lninds = \sum_{s=1}^3 q_s \times s$ [16], q_s 表示第 s 产业的产值比重; 5) 技术交易活跃度($itep$): 技术市场成交额与人均地区 GDP 的比值。

4.3. 数据说明

绿色技术专利申请数据来源为国家知识产权局专利检索及分析平台,基于世界知识产权组织(WIPO)推出的国际专利分类绿色清单(IPC Green Inventory)中的绿色专利 IPC 分类号识别得出。其他地区层面的变量数据主要来自于《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》,以及各省对应年份的《统计年鉴》等。(表 2)

Table 2. Descriptive statistics of variables
表 2. 各变量描述性统计

变量	观测值	平均值	标准误差	最小值	最大值
cere	326	0.260	0.145	0.106	1.042
gti	326	0.075	0.100	0.001	0.562

续表

Pgdp	326	1.650	0.417	0.639	2.736
lnfdi	326	12.718	1.781	5.771	15.090
eil	326	0.164	0.027	0.099	0.222
lninds	326	5.481	0.050	5.363	5.648
itep	326	7.406	9.335	0.018	41.790

5. 实证分析

5.1. 基准回归结果

本文选择碳减排效率(cere)与核心解释变量绿色技术创新(GTI)以及控制变量进行回归。用方差膨胀因子(VIF)对解释变量和控制变量进行分析，VIF 值均在 5 以下，因此不存在多重共线性。经过豪斯曼检验(Hausman)，在回归中选择固定效应。本文通过 Stata 16.0 软件进行测算，模型(1)的回归结果见表 3。

表 3 中第(1)列为未引入控制变量时，核心解释变量(GTI)的回归系数为 0.791，表明绿色技术创新对碳减排效率有显著提高作用。第(2)~(7)列逐步加入控制变量，回归系数为正且显著，表明绿色技术创新对碳减排效率依旧有显著提高作用。假设得到验证。

控制变量中，人均 GDP、外商直接投资、产业结构升级对碳减排效率均有显著提高作用，技术交易活跃度对碳减排效率有一定提高作用但不显著。教育重视度对碳减排效率有一定抑制作用。究其原因，产业结构升级意味着高能耗、高污染企业转型，会显著抑制碳排放[17]。外商直接投资会带来先进绿色技术，减少碳排放，促进碳减排效率提高。而教育重视度对碳减排效率存在负向效应，可能因为环保教育体系尚未健全，当期的教育尚未转化为碳减排行动。由于技术交易市场尚不完善和技术交易效率较低，技术交易活跃度对碳减排效率的提高作用不显著。

Table 3. Baseline regression results of green technology innovation on carbon emission reduction efficiency
表 3. 绿色技术创新对碳减排效率的基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	cere	cere	cere	cere	cere	cere
gti	0.791*** (6.881)	0.131* (1.900)	0.133* (1.773)	0.188** (2.537)	0.121** (2.302)	0.103** (2.300)
pgdp		0.283*** (11.175)	0.284*** (10.339)	0.263*** (11.055)	0.097*** (5.692)	0.101*** (6.570)
lnfdi			-0.000 (-0.116)	0.004 (1.259)	0.013*** (5.734)	0.012*** (4.892)
eil				-0.584*** (-2.935)	-0.467** (-2.461)	-0.457** (-2.359)
lninds					1.534*** (7.989)	1.496*** (8.029)
itep						0.000 (0.609)

续表

_cons	0.188*** (10.721)	-0.168*** (-4.920)	-0.165*** (-4.550)	-0.083** (-2.108)	-8.362*** (-8.026)	-8.156*** (-8.051)
N	326	326	326	326	326	326
R ²	0.338	0.674	0.674	0.682	0.771	0.771
F	5.066	15.562	19.080	18.000	33.749	32.587

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平，括号内的数值表示回归系数对应的标准误差。

5.2. 稳健性检验

5.2.1. 样本缩尾处理

为进一步检验基准回归的稳健性，本文对数据进行缩尾处理，减少极端值的影响。表 4 第(1)~(2)列为缩尾处理后的检验结果，缩尾后核心解释变量的回归系数依然为正，绿色技术创新对碳减排效率依旧有显著提高作用，证明基准回归结果的稳健性。

5.2.2. 剔除直辖市数据

直辖市通常在经济和技术水平、政策支持和资源情况等与其他省份存在显著差异，通过剔除直辖市数据可以避免特殊情况造成的偏差。

表 4 第(3)~(4)列为剔除直辖市后的检验结果，在剔除直辖市的数据后，核心解释变量回归系数依旧为正，与基准回归结果一致，证明基准回归结果具有稳健性。

Table 4. Regression results of robustness test
表 4. 稳健性检验回归结果

变量	(1) cere	(2) cere	(3) cere	(4) cere
gti	0.812*** (7.041)	0.109** (2.294)	0.502*** (16.697)	0.196*** (6.268)
pgdp		0.098*** (6.057)		0.085*** (8.138)
lnfdi		0.013*** (4.767)		0.011*** (6.627)
eil		-0.443** (-2.301)		0.019 (0.148)
lninds		1.538*** (7.980)		0.316** (2.329)
itep		0.000 (0.433)		-0.001* (-1.963)
_cons	0.187*** (10.722)	-8.387*** (-8.008)	0.171*** (16.962)	-1.785** (-2.411)
N	326	326	282	282
R ²	0.343	0.772	0.609	0.784
F	5.216	32.240	42.352	105.197

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平，括号内的数值表示回归系数对应的标准误差。

5.3. 异质性分析

5.3.1. 资源禀赋

资源禀赋加剧地区间差异, 本文参考施晓燕和史代敏的做法[18], 将 30 个省份(不含西藏和港澳台地区)排序, 并划分为 10 个非资源型省份和 10 个资源型省份, 并对两组数据进行异质性检验。表 5 为异质性分析结果, 其中第(1)~(2)列分别为非资源型和资源型省份的回归结果。

表 5 第(1)~(2)列显示绿色技术创新回归系数均为正, 但不显著, 表明非资源型和资源型省份绿色技术创新对碳减排效率有一定的正向影响, 但效果不显著。可能是因为非资源型省份能源供应结构相对灵活, 绿色技术的应用受限, 绿色技术创新的作用效果不明显。资源型省份可能由于较弱的绿色技术创新基础和高能耗产业结构, 限制了绿色技术创新对碳减排效率的影响。

5.3.2. 政府支持度

政府支持水平对绿色技术创新的影响会造成地区间差距。本文参考杨洁和石依婷[19]的做法衡量政府支持水平, 根据政府支持水平每年中位数将省份分为高、低两个子样本, 并对两组数据进行异质性检验。表 5 第(3)~(4)列分别为政府支持水平高和政府支持水平低的回归结果, 其回归系数均为正但不显著, 表明政府支持度高和政府支持度低的省份绿色技术创新水平对碳减排效率均没有显著正向影响。可能是因为政府支持水平高的省份当前绿色技术创新已经处于较高水平, 政府政策支持提升绿色技术创新水平的边际效应递减。政府支持水平低的省份, 可能是因为政策支持力度不足, 未能充分发挥作用。

5.3.3. 区域异质性

由于我国东、中、西部在经济发展水平、产业结构和技术基础等方面存在较大差异, 因此本文将省份分为东、中、西三部分, 并进行异质性分析。表 5 第(5)~(7)列分别为东部、中部、西部地区的回归结果。根据回归结果, 东部地区回归系数显著为正, 表明绿色技术创新对碳减排效率有显著提升作用, 可能与东部地区科研水平和创新能力较高、经济发达、技术基础雄厚有关。中部地区回归系数显著为负, 表明绿色技术创新对碳减排效率有显著的负向影响, 可能是由于中部地区产业结构中传统制造业占比较高, 面临高能耗、高排放问题, 绿色转型进度较慢, 短期内绿色技术创新效果尚未完全显现。西部地区回归系数为正且显著, 表明西部地区绿色技术创新对碳减排效率有显著提升作用, 可能是由于西部地区绿色经济转型、资源型产业绿色化改造。

Table 5. Results of heterogeneity analysis

表 5. 异质性分析结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
变量	非资源型	资源型	支持度高	支持度低	东部	中部	西部
	cere	cere	cere	cere	cere	cere	cere
gti	0.024	0.007	0.049	0.255	0.220***	-0.295***	0.947***
	(0.381)	(0.127)	(0.799)	(1.317)	(2.725)	(-3.537)	(6.216)
pgdp	0.100***	0.046***	0.106***	0.100***	0.175***	0.091***	0.108***
	(2.848)	(4.204)	(3.919)	(5.716)	(4.304)	(3.766)	(7.651)
lnfdi	-0.012	0.006***	0.015***	0.007*	-0.024	0.011**	0.004**
	(-1.346)	(3.359)	(4.059)	(1.859)	(-1.559)	(2.527)	(2.031)

续表

eil	0.195	0.188***	-0.554*	-1.074***	-1.027***	0.091	0.813***
	(0.512)	(3.330)	(-1.858)	(-2.902)	(-2.994)	(0.632)	(6.142)
lninds	1.548***	-0.068	1.386***	1.320***	1.516***	-0.115	1.031***
	(4.508)	(-0.722)	(5.817)	(4.059)	(3.974)	(-0.907)	(6.326)
itep	0.002	-0.000	0.002**	-0.003***	0.000	0.001*	-0.002***
	(1.495)	(-0.204)	(2.202)	(-2.920)	(0.273)	(1.989)	(-5.060)
_cons	-8.284***	0.324	-7.593***	-6.997***	-7.795***	0.533	-5.758***
	(-4.406)	(0.632)	(-5.882)	(-3.945)	(-3.746)	(0.806)	(-6.360)
N	110	109	161	165	120	85	121
R ²	0.842	0.808	0.835	0.738	0.763	0.866	0.867
F	31.138	47.927	30.800	21.145	18.186	38.631	40.125

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平，括号内的数值表示回归系数对应的标准误差。

6. 政策启示

第一，推动产业结构的优化与升级。一方面，推动传统高能耗产业绿色化改造，针对钢铁、化工、建材等行业，可以通过强制推行清洁生产技术和节能减排技术降低碳排放。除了推动企业在技术方面的改进外，政府还应设立专项资金支持企业绿色化改造，并对采用绿色技术的产业给予税收减免。另一方面，大力发展低碳新兴产业，设立专项资金为技术研发提供支持，并建立低碳产业示范项目，推广成功经验，通过区域合作机制，实现区域协调发展。

第二，绿色技术创新水平的提高离不开资金支持，因此需要完善绿色金融体系，一方面发挥资金引导优势，推动金融资源向低碳产业流动，另一方面，为外商投资绿色产业提供融资支持。同时，在引进外商投资时，利用政策引导鼓励其进入绿色产业，并建立外资项目的绿色技术评估机制，筛选出有利于加强碳减排效果的外资项目。

第三，推动各地区因地制宜实行绿色技术创新发展政策。针对我国东、中、西部省份绿色技术创新水平不均衡状态，各级政府应该根据各地资源禀赋、技术水平和生态环境等实际发展情况，制定具有针对性的绿色发展政策。经济发展水平较高但资源约束较强的东部地区应该充分发挥科研和创新优势，驱动绿色创新发展，攻关氢能燃料、海洋碳汇、集成 AI 能源管理等技术，打造全球绿色科技高地。中部地区传统制造业占比较高，高耗能产业集中，可以依托自身承东启西的区位优势，积极引进科技人才，对传统产业进行低碳化改造，依托长江经济带建设循环经济枢纽，助推绿色转型。西部地区可以凭借资源禀赋发掘可再生能源，实现多能互补，通过搭建全国绿色技术交易平台，推动区域协同和技术帮扶，破除技术壁垒。

基金项目

江苏省大学生创新创业训练计划项目“绿色技术创新对碳减排效率的影响研究”(编号: 202410327070Y)。

参考文献

[1] Wang, W. and Dong, Y. (2024) Spatial-Temporal Coupling and Interactive Effects of Digital Finance and Green Technology Innovation: Empirical Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, **470**, Article 143354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143354>

-
- [2] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. 中国工业经济, 2020(12): 178-196.
- [3] 高磊, 杨晓丽. 绿色研发补贴与绿色技术创新——迎合视角的异质效应检验[J]. 技术经济, 2024, 43(3): 23-35.
- [4] 郭丰, 任毅, 柴泽阳. “双碳”目标下数字基础设施建设与城市碳排放——基于“宽带中国”试点政策的准自然实验[J]. 中国经济问题, 2023(5): 164-180.
- [5] 李志学, 路茵, 徐程程. 中国碳排放水平影响因素的理论与实证分析[C]//中国会计学会环境会计专业委员会2014学术年会论文集, 2014: 1116-1129.
- [6] 任平月. 省域能源消费碳排放影响因素研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 河南大学, 2023.
- [7] 张修凡, 范德成. 碳排放权交易市场对碳减排效率的影响研究——基于双重中介效应的实证分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2021, 42(11): 20-38.
- [8] 王佳. 绿色金融对碳减排的影响及机制分析[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东政法大学, 2023.
- [9] 杨明. 绿色技术创新对碳排放效率的影响机制研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林大学, 2022.
- [10] 李航, 徐乾荣. 数字化转型、绿色技术创新与流通业碳减排绩效[J]. 商业经济研究, 2023(23): 18-21.
- [11] 汪芳, 王彤, 赵玉林, 等. 绿色技术创新对我国碳减排的影响——基于省级区域面板数据的实证分析[J]. 武汉理工大学学报(社会科学版), 2024, 37(3): 55-64.
- [12] 田虹, 秦喜亮. 绿色技术创新对城市碳减排影响的区域差异和收敛性——来自地级市层面的经验证据[J]. 财经理论与实践, 2024, 45(1): 97-103.
- [13] Li, H., Su, Y., Ding, C.J., Tian, G.G. and Wu, Z. (2024) Unveiling the Green Innovation Paradox: Exploring the Impact of Carbon Emission Reduction on Corporate Green Technology Innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 207, Article 123562. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123562>
- [14] 李建豹, 黄贤金, 揣小伟, 孙树臣. 长三角地区碳排放效率时空特征及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(7): 1486-1496.
- [15] 陶锋, 赵锦瑜, 周浩. 环境规制实现了绿色技术创新的“增量提质”吗——来自环保目标责任制的证据[J]. 中国工业经济, 2021(2): 136-154.
- [16] 程毅. “双碳”背景下产业结构升级对碳排放的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 安徽建筑大学, 2023.
- [17] 徐敏, 姜勇. 中国产业结构升级能缩小城乡消费差距吗? [J]. 数量经济技术经济研究, 2015, 32(3): 3-21.
- [18] 施晓燕, 史代敏. 绿色金融: 破解“碳诅咒”困境的有效策略[J]. 统计研究, 2024, 41(1): 46-58.
- [19] 杨洁, 石依婷. 数字经济改善了区域碳排放水平吗?——基于减排和增效两个视角[J]. 武汉金融, 2023(5): 51-58, 20.