

引用格式:叶翀,郑艳红,邵博.碳交易试点政策对绿色物流效率的影响研究[J].大连海事大学学报(社会科学版),2023,22(5):49-62.

碳交易试点政策对绿色物流效率的影响研究

叶 翀¹, 郑艳红¹, 邵 博²

(1.福州大学 先进制造学院,福建 晋江 362251; 2.威斯康星大学麦迪逊分校 工程学院,美国 麦迪逊 53706)

摘要:为探讨碳交易试点政策的实施能否促进绿色物流效率的提升,以碳交易试点政策作为准自然实验,基于2010—2020年中国30个省份的面板数据,构建多期双重差分模型,考察碳交易试点政策对绿色物流效率的影响及其影响机制。研究表明:碳交易试点政策显著促进绿色物流效率的提升;碳交易试点政策主要通过产业结构升级促进绿色物流效率的提升,而绿色技术创新在碳交易试点政策影响绿色物流效率的过程中起到负向中介作用;异质性分析结果显示,碳交易试点政策对东部地区和非资源型省份绿色物流效率的提升具有显著促进作用,而对中部地区、西部地区和资源型省份的绿色物流效率尚未起到显著促进作用。因此应大力推进物流业碳交易市场的完善,加强绿色技术创新和产业结构升级,针对不同地理位置和不同资源禀赋的省份实行差异化政策,从而完善中国碳交易市场并推动物流业高质量发展。

关键词:绿色物流效率;碳交易试点政策;绿色技术创新;产业结构升级

中图分类号:X196; F259.2

文献标志码:A

文章编号:1671-7031(2023)05-0049-14

一、引言

中国是目前全球第一大碳排放国,2020年9月,习近平在第七十五届联合国大会上提出了“中

国二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”的“双碳”目标,这体现了中国政府应对全球气候变化问题的国际担当与决心。2022年10月,党的二十大报告再次强调,“实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革”,要“积极稳妥推进碳达峰碳中和”。为尽早实现“双碳”目标,迫切需要推动经济、产业等全面向绿色转型。

物流业是交通运输业、仓储业、信息业相融合的综合产业,随着经济的快速增长,我国物流规模不断增加。与此同时,物流业也成为我国碳排放增长速度最快的行业之一^[1]。2022年国家统计局相关统计数据显示,我国物流业二氧化碳排放量约占全国碳排放量的8%。此外,根据2022年国际交通论坛数据预测:按照目前的速度,在不进行干预的情况下,全球物流碳排放量到2050年将增长约42%^[2]。为加快高碳排放行业的碳减排进程,2011年10月29日,国家发展改革委印发了《关于开展碳排放权交易试点工作的通知》,提出在深圳、北京、天津等地逐步开展碳交易试点工作,并于2021年7月正式启动全国碳市场上线交易^[3]。当前,物流领域的航空货运已被正式列入

收稿日期:2023-07-11

基金项目:国家社会科学基金资助项目(19FJYB043);福建省创新战略基金项目(2021R0019)

作者简介:叶 翀(1976—),男,博士,教授;E-mail: yechong@fzu.edu.cn

郑艳红(1998—),女,硕士研究生;E-mail: 218527305@fzu.edu.cn

邵 博(1999—),男,硕士研究生;E-mail: bo.shao@wisc.edu

碳交易范围。此外,交通运输作为物流的基础环节和重要载体,上海、深圳、北京等城市正在积极推动交通运输纳入碳交易试点工作。近年来,中国政府进一步鼓励建立物流行业碳排放标准,推动物流业实现碳排放核算和交易。当前,碳交易试点政策已成为推动绿色物流发展的重要市场化工具^[4]。绿色物流效率作为反映绿色物流发展程度的关键指标^[5],碳交易试点政策的实施能否促进绿色物流效率的提升?若能够促进其提升,具体的影响机制是什么?这种影响是否存在异质性?为科学回答上述问题,本文通过构建多期双重差分(Difference in Differences, DID)模型探讨碳交易试点政策对绿色物流效率的影响,并进行机制检验和异质性分析。

本文的贡献主要在于以下三个方面:首先,考察碳交易试点政策对绿色物流效率的影响,有利于丰富既有关于碳交易试点政策与绿色物流效率的研究。其次,利用系统动力学理论绘制变量间的因果关系图,有利于梳理变量间的因果关系,并且能更好地梳理碳交易试点政策对绿色物流效率的影响机制,为研究假设的提出奠定较好的理论基础。最后,为完善碳交易市场建设和推动绿色物流效率的提升提供一定的理论支撑,对促进其他高碳排放行业绿色效率的提升具有一定的借鉴意义。

二、文献综述

(一) 绿色物流效率

绿色物流效率是反映物流业环境影响的定量评价指标。当前,专门针对绿色物流效率的研究相对较少。既有研究多从经济和生态两个方面构建绿色物流效率测度指标体系,并采用数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型对绿色物流效率进行测算^[6]。Qin 等^[7]采用三阶段 DEA 模型测度西北地区绿色物流效率,结果显示西北地区的整体绿色物流效率存在明显波动,且政府支持和科技水平对绿色物流效率的影响最大。Gan 等^[8]采用三阶段 DEA 模型计算了江西省 11 个城市的绿色物流效率,分析结果表明南昌、新余和赣州市的绿色物流效率处于前列。秦雯^[9]利用超效率 DEA 模型测度了 2011—2020 年广州市绿色物流效率,研究结果显示广州市绿

色物流效率较高且相对稳定。Liu 等^[10]利用三阶段模型测算了 29 个物流企业的绿色物流效率,并对其影响因素进行分析,结果显示经济发展水平和企业成立的年限会显著影响企业绿色物流效率。考虑到传统的 DEA 中可能存在非零松弛的问题,学者们开始采用非期望产出的超效率 SBM 模型(Slacks-Based Measurement, SBM)^[11]、SBM-DEA^[12]等不同方法对绿色物流效率进行测度和分析。易燕^[13]利用非期望产出的 SBM 模型测算我国物流产业的绿色效率,结果显示 2004—2017 年期间,我国物流产业的绿色效率总体上有所提升。薛阳等^[14]运用非期望产出的超效率 SBM 模型和 Malmquist 指数模型测度 2011—2021 年黄河流域九省区绿色物流效率,测度结果表明黄河九省区绿色物流效率总体上呈现先上升后降低的趋势。何景师等^[15]通过 Malmquist 指数和超效率 SBM 模型对我国三大湾区城市群绿色物流效率进行测算,结果表明三大湾区城市群的绿色物流效率呈现先增长后降低再增长的趋势。Chen 等^[16]利用 SBM 模型和 Global-Malmquist-Luenberger 指数(简称 GML 指数)方法对中国 30 个省份的绿色物流效率进行测算,并利用莫兰指数分析各省份绿色物流效率的空间相关性,结果表明我国绿色物流效率处于较低水平,且具有显著的正空间相关性。Xin 等^[17]构建具有不良产出的超级 SBM 模型,对 2003—2016 年中国 30 个省份的物流效率进行测算,探讨省级物流效率的区域差异。

现有文献在测算绿色物流效率的基础上对其影响因素进行分析,结果显示经济发展水平、城镇化率、技术进步等是绿色物流效率的重要影响因素^[6,12]。还有少部分文献探讨了技术创新、环境规制等对绿色物流效率的影响。杨博等^[12]的研究结果表明绿色技术创新与生鲜农产品绿色物流效率之间呈非线性关系,产业集聚对生鲜农产品绿色物流效率具有正向促进作用。Du 等^[18]利用 2005—2019 年 285 个城市面板数据,构建时变 DID 模型探究创新型城市试点政策对绿色物流效率的影响,结果表明创新型城市试点政策通过提高绿色技术创新程度和加强政府战略方向来促进绿色物流效率的提升。

(二) 碳交易试点政策

碳交易试点政策作为一种成本有效的市场减

排手段,近年来越来越受到学术界的关注。当前针对碳交易试点政策的研究主要聚焦于以下几个方面。

一是针对碳交易市场运行状况和机制设计相关问题的研究。在碳交易市场运行状况方面,已有研究聚焦于分析中国碳交易试点的运行和交易状况,总结碳交易市场存在的问题,提出相关建议以期解决问题并进一步推动碳交易市场的建设^[19-21]。张楠^[22]对我国8个碳交易市场的整体状况和运行情况进行对比分析,并测算试点市场的结构突变和赫斯特指数(Hurst),在此基础上分析各碳试点市场的运行效率。在碳交易机制设计方面,主要通过分析碳交易机制现状,找到机制设计中存在的问题,提出相关建议以优化和完善中国的碳交易运行机制设计^[23-24]。Zhang等^[25]对7个碳交易试点地区的制度设计进行比较,发现制度设计中普遍存在法律法规不健全和监管不足的问题。Xu等^[26]建立绿色电力交易碳交易机制,结果显示所建立的交易机制有望催生新的绿色电力服务产业,深化碳电协同机制的改革。

二是关于碳交易试点政策对碳减排和经济的影响研究。在碳交易试点政策对碳减排的影响方面,已有研究采用连续性双重差分法、多期双重差分法、合成控制法等方法探究碳交易试点政策的区域碳减排效应。大部分研究结果表明碳交易试点政策的实施提高了对参与碳交易企业的减排要求,增加了其碳减排成本。企业为降低碳减排成本,通过产业结构升级和能源消费结构优化等方式降低碳排放,对试点地区产生显著的碳减排效应^[27-29],且这种碳减排效应逐年强化^[30]。同时,碳交易试点政策存在显著的空间溢出效应,能够抑制邻近地区的碳排放^[31-32]。此外,由于各试点地区在经济发展、资源禀赋、环境规制等方面存在差异,导致各省份的碳减排效果存在异质性,相较于欠发达地区,发达地区的碳减排效应更大^[33-34]。部分研究选择从行业视角探究碳交易试点政策对行业碳排放的影响。Li等^[35]的研究结果显示碳交易试点政策通过提高技术研究水平和能源消费结构来降低交通运输业碳排放。郑皓洋等^[36]利用2005—2018年中国30个省市的面板数据,探讨碳交易试点政策对制造业碳排放的影响,结果显示碳交易试点政策尚未对制造业碳减排产生显

著影响。Zhang等^[37]检验了碳交易试点政策对旅游业碳排放和碳强度的影响,结果表明碳交易试点政策有利于降低旅游业碳排放和碳强度。在碳交易试点政策对经济的影响方面,大部分研究认为碳交易试点政策的实施为政府和企业提供资金和技术支持,促进低碳转型和绿色可持续发展,从而实现试点地区经济高质量增长^[38-39]。部分研究则指出碳交易试点政策的实施在短期内会对经济增长产生负面影响^[40-42]。Zhang等^[43]同时探讨了碳交易试点政策对碳减排和经济的影响,研究结果显示碳交易试点政策能够促进碳排放的减少,同时能够在一定程度上促进经济的增长。

三是关于碳交易试点政策对绿色发展效率的影响研究。Zhai等^[44]使用三重差分法(Difference-in-Differences-in-Differences,DDD)研究碳交易试点政策对城市绿色发展效率的影响,结果显示试点政策的实施能够诱导城市进行绿色创新,进而提升城市绿色发展效率。赵子菁^[45]构建倾向得分匹配-双重差分模型(Propensity Score Matching Difference in Differences, PSM-DID)检验碳交易试点政策对中国农业绿色发展的影响,研究结果表明碳交易试点政策的颁布使得农业碳排放减少,促进了农业绿色发展效率的提升。Zhang等^[46]指出碳交易试点政策的实施能够带来工业绿色发展效率提高和区域碳平等的双重福利。孙振清等^[47]利用DID模型和PSM-DID方法验证碳交易政策实施对工业绿色发展效率的影响,结果显示碳交易政策的实施可以显著提升试点地区工业绿色发展效率水平。

综上所述,当前关于绿色物流效率的研究聚焦于对其测算,并对绿色物流效率的影响因素进行分析,且已有关于碳交易市场运行状况和机制设计相关问题、碳交易试点政策对碳减排及经济影响等相关研究较为丰富,为碳交易试点政策的后续研究奠定了良好的理论基础。但现有研究仍存在不足之处,主要体现在以下两个方面:(1)较少文献考虑到环境规制对绿色物流效率的影响,尚未发现有文献探讨具体类型环境规制对绿色物流效率的影响。(2)已有研究更多探讨碳交易试点政策对城市绿色发展效率的影响,少部分研究基于行业视角,且主要聚焦于考察碳交易试点政策对农业和工业绿色发展效率的影响,而较少研

究考虑到碳交易试点政策对绿色物流效率的影响,且关于碳交易试点政策对绿色物流效率的影响研究尚缺乏完整理论框架的分析。此外,在探讨影响机制相关问题时,已有研究多采用文献分析法进行影响机制的分析。

鉴于现有研究的不足,考虑到碳交易试点政策有利于促进物流业的绿色转型,本文在已有研究的基础上,探究碳交易试点政策对绿色物流效率的影响,利用文献分析法并结合系统动力学相关理论研究具体的影响机制,以期丰富关于绿色物流效率和碳交易试点政策的相关研究。

三、理论分析与研究假设

(一) 碳交易试点政策对绿色物流效率的直接影响

碳交易试点政策是基于“政府创造、市场运作”的一项制度创新,其基本目标是以最小的减排成本实现整体减排目标,让市场自主配置温室气体排放资源^[48]。结合外部性原理和科斯定理可知,碳交易市场主要通过市场化的形式,将企业碳排放成本内部化。当物流企业被纳入碳交易主体后,企业会获得一定数量的免费碳配额。当企业碳排放量高出免费碳配额时,物流企业将会面临减产或者购买超额排放的碳配额两种选择。减产会使企业的生产成本增加,而购买超额排放的碳配额会增加企业的碳减排成本。在成本压力的“倒逼”效应下,部分物流企业通过使用清洁生产、绿色包装等绿色技术以及提高清洁能源的使用比例等方式降低物流业碳排放量。当物流企业碳排放量低于政府发放的碳排放配额时,物流企业可以把多余配额通过碳交易市场进行出售。这不仅可以获得额外的盈利,还有利于促进绿色物流效率的提升。基于上述分析,提出以下假设:

假设 H1:碳交易试点政策的实施会显著促进绿色物流效率的提升。

(二) 碳交易试点政策对绿色物流效率的影响机制

基于假设 H1,进一步探究碳交易试点政策对绿色物流效率的影响机制。由于碳交易试点政策对绿色物流效率的影响是由多种因素综合作用的结果,借鉴 Mokgohloa 等^[49]的做法,利用系统动力学理论绘制碳交易试点政策与绿色物流效率因果

关系图(图 1),以期找出碳交易试点政策促进绿色物流效率提升的影响机制。

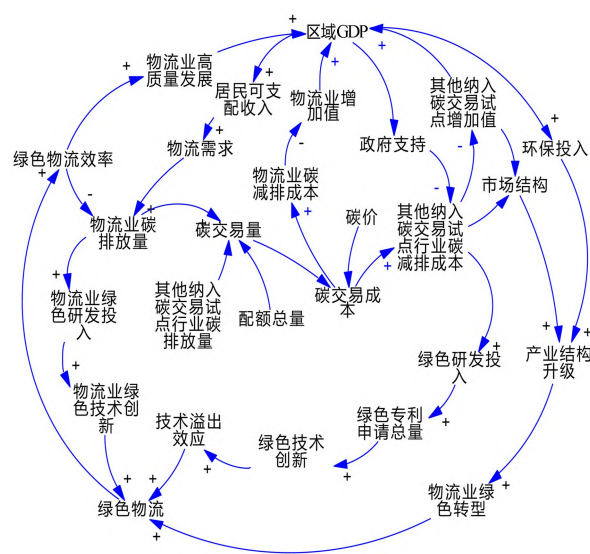


图 1 碳交易试点政策-绿色物流效率因果关系图

在图 1 的基础上,结合余硕等^[50]的研究,选取绿色技术创新和产业结构升级两个角度,分别绘制绿色技术创新子系统与产业结构升级子系统,并结合已有研究探讨碳交易试点政策对绿色物流效率的影响机制,具体如下。

1. 绿色技术创新视角

由图 1 可以看出,与绿色技术创新相关的反馈回路,主要包含以下两条:

1) 其他纳入碳交易试点行业碳减排成本→+绿色研发投入→+绿色专利申请总量→+绿色技术创新→+技术溢出效应→+绿色物流→+绿色物流效率→+物流业高质量发展→+区域 GDP→+政府支持→-其他纳入碳交易试点行业碳减排成本。

2) 物流业碳排放量→+物流业绿色研发投入→+物流业绿色技术创新→+绿色物流→+绿色物流效率→-物流业碳排放量。

碳交易试点政策的实施能够激励相关企业参与绿色技术创新,有利于促进试点地区绿色技术创新水平的提高^[51-53]。由于绿色技术创新具有溢出效应^[54],不同产业与物流业之间通过知识技术的交换促进绿色技术创新的探索与实践,并把先进的绿色技术创新传导到物流业中,从而有利于推动物流业绿色技术创新水平的提高,促进绿色物流效率的提升。此外,为降低物流业能源消耗和碳排放量,物流企业加大绿色研发投入,有利于

绿色技术创新水平的提升。当绿色技术创新水平适中时,其带来的企业红利多于要素投入成本,并且能够促进绿色物流效率的提升。基于上述分析,提出以下假设:

假设 H2:碳交易试点政策通过绿色技术创新促进绿色物流效率的提升。

2. 产业结构升级视角

由图 1 可以看出,与产业结构升级相关的反馈回路,主要包含以下两条:

1) 区域 GDP→+环保投入→+产业结构升级→+物流业绿色转型→+绿色物流→+绿色物流效率→+物流业高质量发展→+区域 GDP。

2) 其他纳入碳交易试点行业碳减排成本→市场结构→+产业结构升级→+物流业绿色转型→+绿色物流→+绿色物流效率→+物流业高质量发展→+区域 GDP→+政府支持→-其他纳入碳交易试点行业碳减排成本。

一方面,随着区域经济发展水平的提高,政府持续大幅增加环保投入,这在一定程度上有利于改善生态环境,并且能够推动产业结构升级。同时,随着碳交易试点政策的实施,企业在生产技术、包装等方面更加注重环保减排,从而促使其改进技术并调整产业结构,推动产业结构升级^[55-56]。产业结构升级为物流业绿色低碳转型提供了良好的环境,有利于推动绿色物流的发展,并促进绿色物流效率的提升,具体体现在以下三个方面。首先,产业结构升级有利于加强物流产业内外部的相互联系,并加强产业内外部的创新合作,提升产业协同发展的技术创新水平^[57],促进技术创新效率空间溢出效应的形成,进而推动更多先进绿色技术在物流业的应用,并促进绿色物流发展。其次,产业结构升级还可以通过聚合效应,促使物流业及相关产业聚集,形成物流业的规模效应,降低物流业的能源消耗总量和碳排放总量,促进绿色物流效率的提升。最后,产业结构优化升级一定程度上推动第三产业发展,带动消费需求升级。当前,绿色低碳消费已经成为主流,人们对绿色产品、绿色包装、绿色配送等的关注度越来越高,这有利于推动绿色物流发展,进而促进绿色物流效率的提升。基于上述分析,提出以下假设:

H3:碳交易试点政策通过产业结构升级促进绿色物流效率的提升。

四、研究设计

(一) 模型构建

1. 基准模型构建

DID 作为政策评估领域的经典方法,具有准自然实验的特征。它不仅能有效地实现政策效应,而且能一定程度上避免内生性问题。因此,为更好地探究碳交易试点政策对绿色物流效率的影响,借鉴 Du 等^[18]的研究,设定多期 DID 基准模型,具体如下:

$$\text{Green}_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{policy}_i \times \text{post}_t + \alpha_2 X_{it} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: i 和 t 分别表示省份和年份, α_0 为常数, Green_{it} 表示省份 i 在 t 年的绿色物流效率, $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 为本文的核心解释变量, X_{it} 代表绿色物流效率的控制变量, μ_i 表示省份固定效应, δ_t 表示年份固定效应, ε_{it} 为随机误差项。 α_1 是本文的核心系数,其代表碳交易试点政策的实施对绿色物流效率的影响。当 $\alpha_1 > 0$ 且其具有显著性时,表明碳交易试点政策的实施可以有效促进绿色物流效率的提升;当 $\alpha_1 = 0$ 时,表明碳交易试点政策尚未对绿色物流效率产生明显的影响作用;当 $\alpha_1 < 0$ 且其具有显著性时,表明碳交易试点政策的实施显著抑制绿色物流效率的提升。 α_2 为控制变量的系数。

2. 机制检验模型

为进一步检验碳交易试点政策对绿色物流效率的影响机制,参考 Baron 等^[58]的做法,设置机制检验模型如下:

$$M_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 \text{policy}_i \times \text{post}_t + \beta_2 X_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

$$\text{Green}_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 \text{policy}_i \times \text{post}_t + \lambda_2 M_{i,t} + \lambda_3 X_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

式(2)中, $M_{i,t}$ 为中介变量,包括绿色技术创新和产业结构升级, β_1 为关注的核心系数,其代表了碳交易试点政策的实施对中介变量的影响, β_2 代表控制变量的系数,其余变量皆与式(1)中含义一致。式(2)反映了核心解释变量 $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 和中介变量 $M_{i,t}$ 之间的关系。

式(3)中, λ_1 和 λ_2 为关注的核心系数, λ_1 代表碳交易试点政策的实施对绿色物流效率的影响, λ_2 代表中介变量对被解释变量 Green_{it} 的影

响, λ_3 代表控制变量的系数。式(3)反映了核心解释变量 $\text{policy}_i \times \text{post}_i$ 、中介变量 $M_{i,t}$ 及被解释变量 Green_{it} 之间的关系。当系数 λ_1 具有显著性时,表明核心解释变量 $\text{policy}_i \times \text{post}_i$ 对被解释变量 Green_{it} 具有显著影响;当系数 λ_2 具有显著性时,表明中介变量 $M_{i,t}$ 对被解释变量 Green_{it} 具有显著影响。即当系数 λ_1 和 λ_2 同时具有显著性时,表明核心解释变量 $\text{policy}_i \times \text{post}_i$ 通过显著影响中介变量 $M_{i,t}$ 的路径显著影响被解释变量 Green_{it} 。

(二) 变量选择

1. 被解释变量

本文的被解释变量为绿色物流效率(Green)。参考 Qin 等^[7]的相关研究,选择投入指标和产出指标,构建绿色物流效率的评价指标体系,并利用 SBM-GML 模型对其进行测算。具体评价指标体系见表 1。

表 1 投入-产出指标体系

指标类型	一级指标	二级指标	单位
投入指标	资本投入	物流业固定资产投资	亿元
	人力投入	物流业年末从业人数	万人
	基础设施投入	运输线路里程	万 km
		营运载货汽车数	万辆
		邮政网点数	处
	能源投入	物流业能源消耗量	万 t 标准煤
产出指标	期望产出	物流业增加值 综合周转量	亿元 亿 t·km
	非期望产出	物流业碳排放量	万 t

2. 解释变量

本文的核心解释变量是 $\text{policy}_i \times \text{post}_i$, 当省份实施碳交易试点政策时, $\text{policy}_i \times \text{post}_i$ 取值为 1, 否则取值为 0。我国于 2013 年下半年在北京市等七个省市启动碳交易试点政策, 由于政策实施具有一定的滞后性, 因此这七个省市的 $\text{policy}_i \times \text{post}_i$ 在 2014 年及之后取值为 1。福建省和四川省于 2016 年实施碳交易试点政策, 因此 $\text{policy}_i \times \text{post}_i$ 在 2016 年之后取值为 1。

3. 控制变量

绿色物流效率的影响因素众多, 为了避免试点地区和非试点地区的绿色物流效率受其他因素的干扰, 借鉴 Ding 等^[59]的研究, 选取如下变量作

为控制变量。

1) 经济发展水平($\ln\text{PerGdp}$): 区域经济的发展影响着物流业的发展程度和发展规模。借鉴 Xie 等^[60]的研究, 采用人均 GDP 衡量省份经济发展水平。同时为消除物价变动影响, 利用 2010 年为基期的 GDP 平减指数进行处理。

2) 信息化水平(Int): 借鉴刘承良等^[61]的做法, 采用互联网和电话普及率所得综合指数衡量信息化水平。

3) 物流业能源生产率(EP): 物流业能源生产率表示物流产业能源投入与产出之间的关系。能源生产率越高, 能源利用越充分; 反之, 能源生产率越低, 能源利用越不充分。本文使用物流业增加值与物流能源消耗量的比值代表能源生产率。

4) 物流业环境规制强度(ER): 物流业环境规制强度的提高可以有效刺激物流企业技术革新, 促进物流业绿色发展, 但也可能会增加企业生产成本, 使其追逐廉价高污染资源, 不利于自身绿色发展。本文采用物流业碳排放量与物流产业增加值的比值衡量物流业环境规制强度。

5) 营商环境(Yin): 营商环境是产业发展的保障和助推剂。参考杨仁发等^[62]的做法, 利用主成分分析法对地区营商环境指数进行测算。

6) 对外开放水平(Open): 借鉴 Wang 等^[63]的做法, 采用地区外商投资净值(按照当年汇率核算为人民币)占地区 GDP 的比值来衡量对外开放水平。

4. 中介变量

1) 绿色技术创新(GTI): 参考张艾莉等^[64]的研究, 采用省份绿色发明专利申请量和绿色实用新型专利申请量的总和来衡量绿色技术创新水平, 并对其进行取对数处理。

2) 产业结构升级(Ind): 借鉴 Zang 等^[65]的做法, 采用第三产业产值与第二产业产值的比值来衡量产业结构升级。

(三) 数据说明与描述性统计

由于西藏地区数据缺失严重, 港澳台地区与其他省份统计口径存在差异, 因此这些地区不做考察。此外, 由于 2021 年物流业综合周转量、部分省份绿色技术创新等数据缺失较为严重, 加之开展实证研究时 2022 年物流业相关数据尚未发布, 故本文最终选取 2010—2020 年中国 30 个省

份的面板数据为研究对象。其中,专利数据来源于中国国家知识产权局,其他数据来源于《中国统计年鉴》《中国固定资产投资统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》和各省份统计年鉴,部分缺失值利用插值法补齐。变量的描述性统计见表 2。

表 2 变量描述性统计(观测值=330)

变量	平均值	标准差	最小值	最大值
Green	0.441	0.312	0.070	1.162
policy _i ×post _t	0.152	0.359	0.000	1
lnPergdp	9.565	0.420	8.790	10.748
Int	51.233	13.948	20.000	83
EP	0.591	0.246	0.247	1.839
ER	3.997	1.481	1.139	8.349
Yin	0.347	0.121	0.148	0.747
Open	0.257	0.276	0.007	1.458
GTI	8.038	1.408	3.434	11.116
Ind	1.190	0.685	0.499	5.297

五、实证分析

(一) 平行趋势检验

在进行基准回归分析之前,首先需要进行平行趋势检验,以确保在碳交易试点政策颁布之前试点省份和非试点省份的绿色物流效率不存在显著差异。本文参考 Niu 等^[66]的研究成果,设定如下模型进行平行趋势检验:

$$\text{Green}_{it} = \alpha + \sum_{j=-3}^5 \beta_j \text{policy}_i \times \text{post}_t + \gamma X_{i,t} + \mu_i + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

式中, α 为常数, β_0 为碳交易试点政策实施当年的系数, β_{-3} 到 β_{-1} 为碳交易试点政策实施前 3 至前 1 年的系数, β_1 到 β_5 为碳交易试点政策实施后 1 至 5 年的系数。其余变量皆与式(1)中含义一致。若 β_{-3} 到 β_{-1} 的系数不显著,则证明平行趋势假设成立,结果如图 2 所示。

由图 2 结果可知, before1—before3 的回归系数均不显著,且置信区间包含 0,表明实验组和控制组在碳交易试点政策实施前,绿色物流效率不存在明显的差异。碳交易试点政策实施后, after1—after5 的系数总体呈现逐步递增的规律,且置信区间不包含 0,系数均显著为正,表明研究设立的模型通过了平行趋势检验,且碳交易试点政策效应存在一定的滞后性。

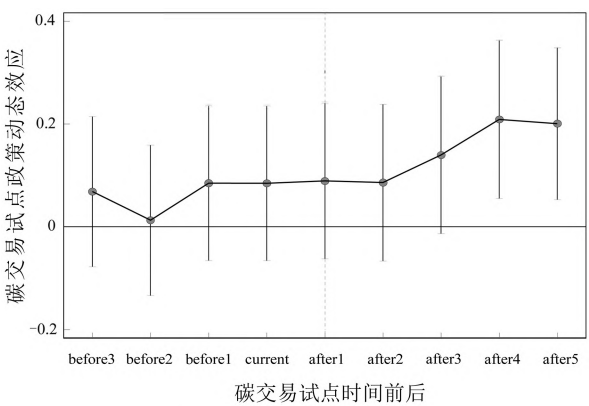


图 2 平行趋势检验结果

(二) 基准回归

表 3 为碳交易试点政策对绿色物流效率影响的基准回归结果。由表中第(1)列结果可以看出,在没有加入控制变量前,核心变量的估计系数值为 0.0781,并且在 10%水平上显著为正。当加入经济发展水平、信息化水平、能源生产率等全部控制变量后,由第(7)列结果可以看出,核心变量的估计系数值增加至 0.0876,并且在 5%水平上显著为正。这表明碳交易试点政策的实施能够有效促进绿色物流效率的提升,从而证实了假设 H1。

从控制变量的回归结果来看,经济发展水平的系数为 0.6768,在 1%水平上显著为正。这说明经济发展水平越高的地区居民环境保护意识越强,人们对绿色产品、绿色包装等的需求越大,从而有利于促进绿色物流的发展,进而对绿色物流效率具有显著的提升作用。信息化水平的系数为正,但不显著,即信息化水平不能显著促进绿色物流效率的提升。可能的原因在于当前信息化水平较低,尚未起到促进绿色物流效率提升的作用。能源生产率的系数为 0.8928,且在 1%水平上显著为正。随着能源生产率的提高,物流业能源利用率提高,所产生的污染物在一定程度上降低,进而有利于提升绿色物流效率。环境规制的系数为 0.0368,且在 10%水平上显著为正。这表明随着环境规制的增加,物流企业的排污成本增加,为降低排污成本,企业开始优化物流业能源消耗结构、推动新能源汽车在运输过程中的应用等,从而有利于促进绿色物流效率的提升。营商环境的系数不显著。良好的营商环境有利于吸引资金、人才、技术等要素聚集,有利于激发各类市场主体的活力^[67],推动绿色物流的发展,并促进绿色物流效

表 3 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green
$\text{policy}_i \times \text{post}_t$	0.0781* (1.92)	0.0722* (1.79)	0.0793* (1.91)	0.1037*** (2.63)	0.0994** (2.53)	0.0961** (2.42)	0.0876** (2.23)
$\ln \text{Pergdp}$		0.4548** (2.31)	0.4381** (2.21)	0.5705*** (3.02)	0.6312*** (3.33)	0.6110*** (3.15)	0.6768*** (3.52)
Int			0.0020 (0.75)	0.0005 (0.21)	0.0001 (0.03)	0.0003 (0.10)	0.0021 (0.79)
EP				0.6299*** (5.97)	0.8650*** (5.62)	0.8691*** (5.63)	0.8928*** (5.86)
ER					0.0424** (2.08)	0.0415** (2.03)	0.0368* (1.82)
Yin						0.1395 (0.54)	-0.1071 (-0.40)
Open							-0.4294*** (-3.04)
_cons	0.4297*** (14.58)	-3.9035** (-2.08)	-3.8179** (-2.03)	-5.3688*** (-2.99)	-6.2499*** (-3.41)	-6.0907*** (-3.27)	-6.5939*** (-3.58)
N	330	330	330	330	330	330	330
R ²	0.3132	0.3257	0.3270	0.4017	0.4107	0.4113	0.4299

注: **、*、*分别表示在 1%、5%、10%的水平上显著,下同。

率的提升。但可能在其他不利于绿色物流效率提升的因素共同作用下,营商环境的改善对绿色物流效率提升存在一定的滞后性。对外开放水平的系数在 1% 水平上显著为负,抑制效应达到 -0.4294,这与刘承良等^[61]的结果相类似。究其原因,一方面,中国现阶段国内物流所处发展层次较低,甚至区域内企业会产生恶性竞争,这使得外商投资带来的技术溢出和资本效应对提升绿色物流效率存在一定的滞后性;另一方面,技术溢出效应发挥作用的同时,也存在着技术“挤出效应”,这一效应会加剧对外国先进技术的依赖,抑制产业自主创新能力发展,进而抑制产业结构升级^[68],不利于绿色物流效率的提升。

(三) 稳健性检验

基准回归结果表明碳交易试点政策的实施能够显著促进绿色物流效率的提升,为检验结果的可靠性,本文进行稳健性检验。

1. 排除其他政策可能存在的干扰

在推动碳交易试点政策的过程中,政府还出台了低碳城市试点政策,该政策的实施有利于激励控排企业进行技术创新,提升技术创新水平。此外,低碳城市试点政策的实施会在一定程度上改变要素投入结构,提高风能、太阳能等清洁能源

的使用比例,促进相关产业的绿色低碳转型,推动试点地区产业结构升级^[69-70]。技术创新和产业结构升级有利于促进物流业的绿色转型,并推动绿色物流发展,促进绿色物流效率的提升。为了排除低碳城市试点政策对碳交易试点政策评估形成的干扰,将低碳城市试点政策设置为虚拟变量纳入模型并重新进行回归,回归结果见表 4 列(1)。由表中结果可以看出, $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 的系数值为 0.1086,且在 1% 水平上显著为正,说明本文的基准回归结果较为稳健。

表 4 稳健性检验结果

变量	(1)	(2)	(3)
	Green	Green	Green
$\text{policy}_i \times \text{post}_t$	0.1086*** (2.65)	0.0909** (2.36)	0.0688* (1.08)
lowcarbon	-0.0939* (-1.73)		
_cons	-6.7449*** (-3.67)	-6.6284*** (-3.39)	-10.7028*** (-3.61)
N	330	330	152
R ²	0.4359	0.4488	0.6122

2. 排除异常值的干扰

为了排除样本中异常值的干扰,在 2% 水平上进行缩尾处理并重新回归,回归结果见表 4 列

(2)。由表中结果可以看出, $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 的系数值为 0.0909,且在 5% 水平上显著为正。这说明在排除异常值之后,碳交易试点政策对绿色物流效率的正向影响依旧存在,进一步表明基准回归结果是稳健的。

3.PSM-DID

为缓解样本选择偏误可能带来的内生性问题,进一步采用 PSM-DID 加以检验,回归结果见表 4 列(3)。由表中结果可以看出, $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 的回归系数为 0.0688,且在 10% 水平上显著为正,表明碳交易试点政策的实施能够显著促进绿色物流效率的提升,即本文的研究结果是稳健的。

4.安慰剂检验

虽然基准回归对一系列可观测的主要特征进行了控制,但仍然可能遗漏重要的不可观测因素,从而导致基准回归结果出现误差。安慰剂检验可以验证是否存在其他不可观测因素影响基准回归结果。本文把处理组进行随机化处理,并进行一定次数的随机抽样,在此基础上重新回归 500 次,观察随机化后的 $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 系数是否位于 0 附近,其回归系数分布如图 3 所示。

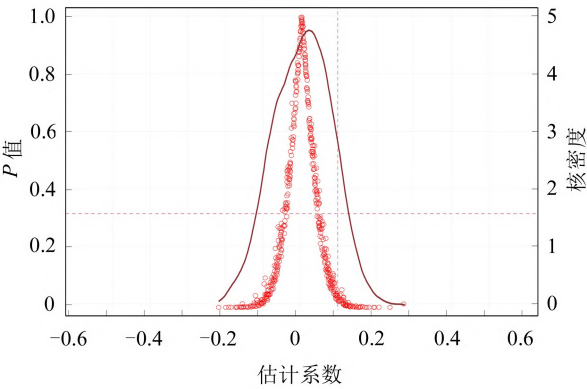


图 3 个体安慰剂检验结果

由图 3 可知,在随机抽取 500 次样本数据后,核心解释变量的估计系数均位于 0 左右,且服从正态分布,证明研究通过了安慰剂检验。这表明研究中未观测的省份特征不会对回归结果造成潜在影响,即前文的基准回归结果较为稳健。

(四) 异质性检验

我国是一个幅员辽阔的发展中国家,由于各省份在地理位置、资源分布、经济发展等自然和经济方面存在差异,可能使得不同省份绿色物流效率受碳交易试点政策的影响不同。因此,本文从地理位置和资源禀赋两个方面探究碳交易试点政策对绿色物流效率的异质性影响。

1.地理位置

本文参考我国“七五”计划关于东、中、西部地区的划分方法,将北京、天津、上海、广东定为东部地区,湖北定为中部地区,重庆定为西部地区,进一步分区域验证碳交易试点政策对地区绿色物流效率的影响。表 5 中的第(1)列、第(2)列和第(3)列分别展示了碳交易试点政策对东部、中部和西部地区绿色物流效率的影响。回归结果表明,碳交易试点政策显著促进了东部地区的绿色物流效率。究其原因主要在于碳交易试点地区主要集中在东部地区,且东部地区经济发展水平和科技发展水平较高,为物流业绿色转型创造了良好的环境,有利于推动绿色物流的发展,进而提升绿色物流效率。而碳交易试点政策对中部地区和西部地区的绿色物流效率尚未产生显著影响。这可能是由于中部地区和西部地区政府对碳交易市场的重视程度不足,加上中部和西部地区的经济发展相对滞后,科技研发投入较为薄弱,先进绿色技术和高质量人才相较于东部地区都有所欠缺,使得碳交易试点政策对绿色物流效率的作用存在一定的滞后性。

表 5 异质性检验结果

变量	不同地理位置			资源禀赋	
	东部	中部	西部	资源型	非资源型
$\text{policy}_i \times \text{post}_t$	0.1475** (2.24)	0.0707 (0.86)	0.0731 (1.16)	0.0238 (0.54)	0.2046*** (2.66)
_cons	-10.3455*** (-3.11)	-1.0317 (-0.37)	-3.4058 (-1.03)	-2.8135 (-1.62)	-11.1853*** (-2.69)
N	121	88	121	220	110
R ²	0.5495	0.5591	0.5620	0.5074	0.5129

2. 资源禀赋

参考 Yu 等^[71]对资源型地区的定义,并结合《关于印发〈全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020 年)〉的通知》,把样本划分为资源型省份子样本和非资源型省份子样本。表 5 中的第(4)列和第(5)列分别展示了碳交易试点政策对资源型省份和非资源型省份绿色物流效率的影响。由表中可以看出,非资源型省份的 $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 系数为 0.2046,且在 1%水平上显著为正,资源型省份的 $\text{policy}_i \times \text{post}_t$ 系数为正但不显著。即碳交易试点政策对非资源型省份的物流业绿色物流效率具有显著的正向促进作用,而对资源型省份的绿色物流效率的影响并不显著。其主要原因如下:相比于非资源型省份,资源型省份容易产生“资源诅咒现象”,对人力资本、技术创新等要素产生挤出效应,不利于绿色技术创新水平的提升^[72],进而使得碳交易试点政策的实施对资源型省份绿色物流效率的影响不显著。

(五) 机制检验

机制检验的结果见表 6。在绿色技术创新方面,从表中列(1)结果可以看出,核心解释变量的系数在 5%水平上显著为负,这表明碳交易试点政策对绿色技术创新具有显著的抑制作用。从列(2)可以看出,核心解释变量的系数在 5%水平上显著为正,绿色技术创新的系数在 10%水平上显著为负,即绿色技术创新在碳交易试点政策影响绿色物流效率的过程中起到负向中介作用,即前文假设 H2 不成立。这可能的原因在于:当前,绿色技术创新带来了回弹效应,使得物流业绿色发展被抑制^[73]。此外,由于绿色技术创新投入增加会使企业其他生产经营活动的可用资金减少,当创新补偿小于遵循成本时,企业会减少对绿色技术创新的研发投入,不利于绿色技术水平的提升,进而抑制绿色物流效率的提升。

在产业结构升级方面,从表中列(3)结果可以看出,核心解释变量的系数在 10%水平上显著为正,这表明碳交易试点政策能够显著促进产业结构升级。从列(4)结果可以看出,核心解释变量的系数在 5%水平上显著为正,且产业结构升级的系数在 10%水平上显著为正,说明产业结构升级是碳交易试点政策促进绿色物流效率提升的影响机制,从而证实了前文的假设 H3。这主要是

表 6 机制检验结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	GTI	Green	Ind	Green
$\text{policy}_i \times \text{post}_t$	-0.1068** (-2.18)	0.0789** (2.00)	0.1090* (1.96)	0.0850** (2.14)
GTI		-0.0816* (-1.71)		
Ind				0.0242* (0.58)
-cons	0.2776 (0.12)	-6.5713*** (-3.58)	5.7480** (2.21)	-6.7332*** (-3.62)
N	330	330	330	330
R ²	0.9389	0.4358	0.5948	0.4305

注:***、**、*分别表示在 1%、5%、10%的水平上显著。

由于碳交易试点政策的实施在一定程度上改变了企业的成本-收益关系,企业迫于生存压力对其投入要素结构、产品结构及技术水平等做出相应调整,在一定程度上促进了试点地区的产业结构升级^[74]。试点地区的产业结构升级为物流业的绿色发展提供了良好的产业环境,有利于进一步推动物流业绿色低碳转型^[75]。此外,当物流企业被纳入碳交易试点后,物流企业碳减排成本有所上升。为降低碳减排成本,物流企业通过降低高污染车辆的使用率、提高清洁能源的使用比例、发展绿色交通运输工具等方式降低物流业碳排放量,促进绿色物流的发展,进而有利于促进绿色物流效率的提升。

六、研究结论与政策建议

本文以碳交易试点政策作为准自然实验,基于 2010—2020 年中国 30 个省份的面板数据,构建多期双重差分模型,考察碳交易试点政策对绿色物流效率的影响。主要得出如下结论:(1)碳交易试点政策对绿色物流效率具有显著的促进作用,即碳交易试点政策可以有效促进绿色物流效率的提升。(2)机制检验结果显示,碳交易试点政策主要通过促进产业结构升级来提升绿色物流效率,但其尚不能通过绿色技术创新促进绿色物流效率的提升。(3)异质性检验结果表明,碳交易试点政策对绿色物流效率的影响具有异质性。从地理位置来看,碳交易试点政策对东部地区绿色物流效率的提升具有显著促进作用,对中部地区和西部地区绿色物流效率的影响不显著。从资

源禀赋来看,碳交易试点政策能够显著促进非资源型省份绿色物流效率的提升,而对资源型省份的绿色物流效率没有显著影响。

基于以上研究结论,为进一步完善碳交易市场,并推动物流业的绿色发展,提出如下建议:

第一,大力推进物流业碳交易市场的完善。习近平总书记在党的二十大报告中指出要“完善碳排放统计核算制度,健全碳排放权市场交易制度”,因此,相关地方政府应积极落实党的二十大战略部署,鼓励物流企业进行碳交易,完善物流业碳交易市场。本文研究结果表明碳交易试点政策的实施有利于促进绿色物流的发展,因此,政府应加快建立绿色物流行业碳核算标准,制定相关政策鼓励更多物流企业通过积极参与碳交易来降低碳排放量,推动物流业的绿色转型和高质量发展。此外,政府应不断完善物流业碳交易机制,在进行物流业碳交易机制设计时,应考虑不同地区的经济基础条件和物流业发展现状,通过相关的制度规范物流业碳交易活动,保证物流业碳交易市场的有序进行。

第二,加强绿色技术创新和产业结构升级。鉴于当前绿色技术创新尚未对绿色物流效率起到正向中介效应作用,政府应通过出台相关政策并完善绿色技术创新的激励机制等来鼓励物流企业加大绿色技术研发投入,推动物流企业、高校和研究所积极开展产学研协同创新活动,促进物流业绿色技术创新水平的提升。更高的绿色技术创新水平有利于推动绿色物流的发展,并促进绿色物流效率的提升。在加强绿色技术创新的同时,需要考虑不同地区的物流业发展现状。对于物流产业基础雄厚、创新实力较强的地区而言,要注重提升先进物流绿色技术的开发和应用水平,进一步推动绿色技术在仓储、包装、运输、配送等环节的应用;而对于中西部落后地区的物流业而言,要注重吸收东部地区先进的物流绿色技术和服务理念,提升物流绿色技术创新潜能。此外,要合理优化要素资源结构,进一步推动地区物流业结构的优化调整,利用本地区优越的资源和完善的生产配套体系,大力发展绿色物流,实现产业结构升级与绿色物流的协调发展。

第三,针对不同地理位置和不同资源禀赋的省份实行差异化政策。由于地理位置、资源禀赋

等方面的差异,不同省份受碳交易试点政策的影响不同。因此,各试点省份应结合自身发展现状制定具有针对性的方案,提高碳交易试点政策的有效性。本文研究结果表明碳交易试点政策能够显著促进东部地区绿色物流效率的提升,但尚且未对中部和西部地区的绿色物流效率产生显著影响。因此对于东部地区而言,要总结物流碳交易的成功经验,为中西部地区提供一定的借鉴。同时要持续优化能源结构,推动物流业转型升级和学习外来的先进技术,使得试点政策继续发挥对绿色物流效率的提升作用。而对于中部和西部地区,要借力全国碳市场战略机遇,并借鉴东部地区的成功经验,使得试点政策对绿色物流效率发挥正向促进作用。针对非资源型省份,应该延长产品价值链,推动物流业的绿色低碳转型;而针对资源型省份,应加快淘汰落后产能,发挥试点政策对绿色物流效率提升的促进作用。

参 考 文 献

- [1] KANG P, SONG G H, XU M, et al. Low-carbon pathways for the booming express delivery sector in China [J]. *Nature Communications*, 2021, 12: 450.
- [2] 面向双碳战略,如何构建物流企业零碳路线图? [EB/OL]. (2023-04-29) [2023-05-22]. <https://new.qq.com/rain/a/20230429A05V2500>.
- [3] 关于开展碳排放权交易试点工作的通知(发改办气候[2011] 2601号) [EB/OL]. (2011-10-29) [2023-05-22]. <https://zfxxgk.ndrc.gov.cn/web/iteminfo.jsp?id=1349>.
- [4] 刘然,刘哲,赵洁玉,等.我国物流企业碳排放管理体系[EB/OL]. (2022-08-23) [2023-05-22]. https://business.sohu.com/a/579223979_649545.
- [5] 牛芳,翟丹妮.考虑投入与产出时滞效应的京津冀地区物流业绿色效率评价[J]. *物流科技*, 2023, 46(5): 109-113.
- [6] 薛阳,李曼竹,王健康,等.黄河流域九省区绿色物流效率评价研究——基于三阶段DEA模型[J]. *环境科学与管理*, 2022, 47(2): 67-72.
- [7] QIN W, QI X L. Evaluation of green logistics efficiency in Northwest China [J]. *Sustainability*, 2022, 14(11): 684-690.
- [8] GAN W H, YAO W P, HUANG S Y. Evaluation of green logistics efficiency in Jiangxi Province based on three-stage DEA from the perspective of high-quality de-

- velopment[J]. Sustainability, 2022, 14(2): 797-803.
- [9] 秦雯. 双循环新格局下广州绿色物流效率评价与提升路径[J]. 物流科技, 2022, 45(9): 40-42.
- [10] LIU Q, CHUNG G Y, HYANG-HO K. Analysis on logistics efficiency of China's agricultural products cold chain from the green perspective[J]. The International Journal of Advanced Culture Technology, 2021, 8(2): 192-203.
- [11] 徐超毅, 齐豫. 我国区域物流业绿色发展效率测度和空间分析——以华东地区为例[J]. 生态经济, 2023, 39(4): 81-88.
- [12] 杨博, 王征兵. 绿色技术创新对生鲜农产品绿色物流效率的影响——基于产业集聚的调节效应[J]. 中国流通经济, 2023, 37(1): 60-70.
- [13] 易燕. 我国物流产业绿色效率及区域空间特征——基于非期望产出的 SBM 模型[J]. 商业经济研究, 2020(20): 104-107.
- [14] 薛阳, 王健康, 李曼竹. 低碳环境下黄河流域九省区绿色物流效率测度及对策研究[J]. 内蒙古统计, 2023(1): 11-14.
- [15] 何景师, 王术峰, 徐兰. 碳排放约束下我国三大湾区城市群绿色物流效率及影响因素研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(8): 30-36.
- [16] CHEN B, LIU F, GAO Y A, et al. Spatial and temporal evolution of green logistics efficiency in China and analysis of its motivation[J]. Environmental Development and Sustainability, 2022, 14: 105-110.
- [17] XIN Y R, ZHENG K C, ZHOU Y J, et al. Logistics efficiency under carbon constraints based on a super SBM model with undesirable output: empirical evidence from China's logistics industry[J]. Sustainability, 2022, 14(9): 5142.
- [18] DU G, LI W D. Does innovative city building promote green logistics efficiency? Evidence from a quasi-natural experiment with 285 cities [J]. Energy Economics, 2022, 114: 1-13.
- [19] HUANG W Q, WANG Q F, LI H, et al. Review of recent progress of emission trading policy in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 349: 131480-131485.
- [20] HU Y J, LI X Y, TANG B J, et al. Assessing the operational performance and maturity of the carbon trading pilot program: the case study of Beijing's carbon market[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 161: 1263-1274.
- [21] JI C J, HU Y J, TANG B J. Research on carbon market price mechanism and influencing factors: a literature review[J]. Natural Hazards, 2018, 92(2): 761-782.
- [22] 张楠. 中国碳排放权交易市场运行状况及其效率分析——基于碳交易价格的测算[J]. 工业技术经济, 2023, 42(4): 100-107.
- [23] ZHA D S, FENG T T, KONG J J. Effects of enterprise carbon trading mechanism design on willingness to participate—evidence from China[J]. Frontiers in Environmental Science, 2022, 10: 730-738.
- [24] 万方, 杜莉. 中国统一碳交易市场机制设计的优化与完善——基于 EU-ETS 机制及其运行的分析与选择[J]. 经济与管理研究, 2015, 36(4): 16-23.
- [25] ZHANG D, KARPLUS V J, CASSISA C, et al. Emissions trading in China: progress and prospects[J]. Energy Policy, 2014, 75: 9-16.
- [26] XU Q F, QIAO S B, ZHOU H J, et al. Mechanism design and consumption certification of differentiated green electricity trading: a Zhejiang experience[J]. Frontiers in Energy Research, 2022, 10: 9-17.
- [27] 曾诗鸿, 李璠, 翁智雄, 等. 我国碳交易试点政策的减排效应及地区差异[J]. 中国环境科学, 2022, 42(4): 1922-1933.
- [28] LIU Y, TAN X J, YU Y, et al. Assessment of impacts of Hubei pilot emission trading schemes in China—a CGE-analysis using term CO₂ model[J]. Applied Energy, 2017, 189: 762-769.
- [29] MA G C, QIN J H, ZHANG Y M. Does the carbon emissions trading system reduce carbon emissions by promoting two-way FDI in developing countries? Evidence from Chinese listed companies and cities[J]. Energy Economics, 2023, 120: 231-239.
- [30] 蒋和胜, 孙明茜. 碳排放权交易、产业结构与地区减排[J]. 现代经济探讨, 2021(11): 65-73.
- [31] LI Z G, WANG J. Spatial spillover effect of carbon emission trading on carbon emission reduction: empirical data from pilot regions in China[J]. Energy, 2022, 251: 123906-123918.
- [32] 李治国, 王杰. 中国碳排放权交易的空间减排效应: 准自然实验与政策溢出[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1): 26-36.
- [33] 周迪, 刘奕淳. 中国碳交易试点政策对城市碳排放绩效的影响及机制[J]. 中国环境科学, 2020, 40(1): 453-464.
- [34] CHEN L, WANG D, SHI R Y. Can China's carbon emissions trading system achieve the synergistic effect of carbon reduction and pollution control? [J]. Interna-

- tional Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19(15): 8932-8943.
- [35] LI S J, LIU J G, WU J J, et al. Spatial spillover effect of carbon emission trading policy on carbon emission reduction: empirical data from transport industry in China [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 371: 133529-133540.
- [36] 郑皓洋, 贯君, 李慧洁. 碳交易试点政策对制造业碳排放的影响——基于双重差分模型的检验[J]. 中国林业经济, 2021(6): 84-88.
- [37] ZHANG J K, ZHANG Y. Could the ETS reduce tourism-related CO₂ emissions and carbon intensity? A quasi-natural experiment [J]. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 2020, 25(9): 1029-1041.
- [38] 李坤阳, 顾光同. 我国碳交易试点地区碳市场-经济增长-环境保护协调发展度研究[J]. 林业资源管理, 2021(4): 29-37.
- [39] QI S Z, CHENG S H, CUI J B. Environmental and economic effects of China's carbon market pilots: empirical evidence based on a DID model [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 279: 123720.
- [40] ZHANG J K, ZHANG Y. Examining the economic effects of emissions trading scheme in China [J]. Journal of Environmental Planning and Management, 2021, 64(9): 1622-1641.
- [41] TANG L, WU J Q, YU L A, et al. Carbon allowance auction design of China's emissions trading scheme: a multi-agent-based approach [J]. Energy Policy, 2017, 102: 30-40.
- [42] 刘宇, 温丹辉, 王毅, 等. 天津碳交易试点的经济环境影响评估研究——基于中国多区域一般均衡模型 Term CO₂ [J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(6): 561-570.
- [43] ZHANG H R, LIU Y. Can the pilot emission trading system coordinate the relationship between emission reduction and economic development goals in China? [J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 363(5): 132629.
- [44] ZHAI X Q, AN Y F, SHI X P, et al. Emissions trading scheme and green development in China: impact of city heterogeneity [J]. Sustainable Development, 2023, 31(4): 2583-2597.
- [45] 赵子菁. 碳交易试点政策对农业绿色发展的影响效应——基于 PSM-DID 模型的实证研究[J]. 现代营销(下旬刊), 2023(2): 12-14.
- [46] ZHANG S L, WANG Y, HAO Y, et al. Shooting two hawks with one arrow: could China's emission trading scheme promote green development efficiency and regional carbon equality? [J]. Energy Economics, 2021, 101: 105412-105420.
- [47] 孙振清, 李欢欢, 刘保留. 中国碳交易下的工业绿色发展效率及影响因素[J]. 华东经济管理, 2020, 34(12): 57-64.
- [48] XU X Y, XU X P, HE P. Joint production and pricing decisions for multiple products with cap-and-trade and carbon tax regulations [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112(5): 4093-4106.
- [49] MOKGOHLOA K, KANAKANA-KATUMBA G M, MALADZHI R W, et al. A system dynamics approach to postal digital transformation dynamics: a Causal Loop Diagram (CLD) perspective [J]. South African Journal of Industrial Engineering, 2022, 33(4): 10-31.
- [50] 余硕, 王巧, 张阿城. 技术创新、产业结构与城市绿色全要素生产率——基于国家低碳城市试点的影响渠道检验[J]. 经济与管理研究, 2020, 41(8): 44-61.
- [51] 郭蕾, 肖有智. 碳排放权交易试点的创新激励效应研究[J]. 宏观经济研究, 2020, 9(11): 147-161.
- [52] ZHANG L, CAO C C, TANG F, et al. Does China's emissions trading system foster corporate green innovation? Evidence from regulating listed companies [J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2019, 31(2): 199-212.
- [53] QI S Z, ZHOU C B, LI K, et al. Influence of a pilot carbon trading policy on enterprises' low-carbon innovation in China [J]. Climate Policy, 2021, 21(3): 318-336.
- [54] JACOBS J. The economy of cities [M]. New York: Vintage, 1969: 11-18.
- [55] LI C X, XU J J, ZHANG L X H. Can emissions trading system aid industrial structure upgrading? - A quasi-natural experiment based on 249 prefecture-level cities in China [J]. Sustainability, 2022, 14(17): 10471.
- [56] 林梦瑶, 刘新全. 碳交易试点政策对产业结构升级的影响研究[J]. 商业观察, 2022(8): 60-65.
- [57] 朱芳阳, 赖靓荣. 产业结构升级、技术创新与绿色物流——基于 PVAR 模型的实证研究[J]. 现代管理科学, 2022(3): 40-50.
- [58] BARON R M, KENNY D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: conceptual, strategic, and statistical considerations [J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, 51(6): 1173-1182.

- [59] DING H, SUN X, WANG L. Has the pilot innovative city improved the urban environment? [J]. *Research on Industrial Economy*, 2021, 2: 101-113.
- [60] XIE H L, OUYANG Z Y, CHOI Y. Characteristics and influencing factor of green finance development in the Yangtze River Delta of China: analysis based on the Spatial Durbin Model [J]. *Sustainability*, 2020, 14 (22): 9753.
- [61] 刘承良, 管明明. 低碳约束下中国物流业效率的空间演化及影响因素[J]. *地理科学*, 2017, 37(12): 1805-1814.
- [62] 杨仁发, 魏琴琴. 营商环境对城市创新能力的影响研究——基于中介效应的实证检验[J]. *调研世界*, 2021(10): 35-43.
- [63] WANG Y F, LIAO M, WANG Y F, et al. The impact of foreign direct investment on China's carbon emissions through energy intensity and emissions trading system[J]. *Energy Economic*, 2021, 97: 9-17.
- [64] 张艾莉, 陈茜. 用能权交易制度对绿色技术创新的影响效应与传导机制[J]. *科技进步与对策*, 2023, 40(3): 93-103.
- [65] ZANG J N, WAN L, LI Z J, et al. Does emission trading scheme have spillover effect on industrial structure upgrading? Evidence from the EU based on a PSM-DID approach[J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2020, 27(11): 12345-12357.
- [66] NIU S C, LUO X, YANG T, et al. Does the low-carbon city pilot policy improve the urban land green use efficiency? -Investigation based on multi-period difference-in-differences model [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20(3): 2704.
- [67] 闵旭东, 黄有方, 刘乃增. 多维视角下政府营商环境对物流集群发展的影响效应[J]. *统计与信息论坛*, 2019, 34(10): 108-114.
- [68] 章潇萌, 杨宇菲. 对外开放与我国产业结构转型的新路径[J]. *管理世界*, 2016(3): 25-35.
- [69] 胡求光, 马劲韬. 低碳城市试点政策对绿色技术创新效率的影响研究——基于创新价值链视角的实证检验[J]. *社会科学*, 2022(1): 62-72.
- [70] ZOU C, HUANG Y C, WU S S, et al. Does "low-carbon city" accelerate urban innovation? Evidence from China [J]. *Sustainable Cities and Society*, 2022, 83: 103954.
- [71] YU J H, LI J M, ZHANG W Z. Identification and classification of resource-based cities in China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(8): 1300-1314.
- [72] 曾刚, 胡森林. 技术创新对黄河流域城市绿色发展的影响研究[J]. *地理科学*, 2021, 41(8): 1314-1323.
- [73] BRANNLUND R, GHALWASH T, NORDSTROM J. Increased energy efficiency and the rebound effect: effects on consumption and emissions [J]. *Energy Economics*, 2005, 29(1): 1-17.
- [74] 谭静, 张建华. 碳交易机制倒逼产业结构升级了吗? ——基于合成控制法的分析[J]. *经济与管理研究*, 2018, 39(12): 104-119.
- [75] 高华, 马晨楠. 物流产业效率的影响因素与多元路径——基于 31 个省市区的模糊集定性比较分析[J]. *商业经济研究*, 2021(6): 87-91.