

物流标准化的减污降碳效应

谷 城¹, 张树山¹, 袁天荣², 张佩雯²

(1. 东北师范大学 经济与管理学院, 吉林 长春 130117; 2. 中南财经政法大学 会计学院, 湖北 武汉 430073)

摘要:协同推进减污降碳是我国经济社会发展全面绿色转型的必然选择。文章聚焦物流标准化这一独特视角,采用双重机器学习模型考察了物流标准化对城市减污降碳的影响。研究发现,物流标准化显著降低了城市的二氧化碳排放量和细颗粒物($PM_{2.5}$)浓度,能够发挥减污降碳的效用。机制分析表明,物流标准化主要通过促进服务业偏向性结构升级、激励绿色创新和形成经济集聚来实现减污降碳。异质性分析表明,物流标准化的减污降碳效应在不同物流成本、数字基础设施条件和环境规制强度下存在显著差异,其在交通基础设施水平高、数字基础设施水平高、环境规制强度高地区的影响效果更大。进一步研究发现,物流标准化有效提升了减污与降碳之间的协同程度。物流标准化建设质量的提升更有利于推动城市减污降碳。文章研究结论对于进一步推进我国现代物流发展和利用流通视角推动减污降碳提供了决策依据。

关键词:物流标准化;减污降碳;“双碳”目标;双重机器学习

中图分类号:F062.9;F503 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9952(2025)06-0004-15

DOI: 10.16538/j.cnki.jfe.20250321.401

一、引言

生态环境问题不仅影响经济可持续发展,也是重要的民生问题。党的十八大以来,我国生态环境保护发生历史性、转折性、全局性变化,并创造了举世瞩目的绿色发展奇迹。但也要看到,我国发展不平衡、不充分问题依然突出,生态环境保护形势依然严峻,结构性、根源性、趋势性压力总体上尚未根本缓解。根据《全球环境绩效指数(EPI)报告(2022)》显示,2022年我国环境绩效指数为28.4,近十年增加了11.40,但位于180个受调查国家样本中的第100名之后。为保障生态功能和改善环境质量,党的二十大报告明确提出,要“站在人与自然和谐共生的高度谋划发展”。结合上述实际与政策背景,虽然党和政府已经将环境治理工作提升到了战略高度(陈诗一和陈登科,2018),但是生态环境固有的公共品属性仍然使得我国减污降碳工作面临比较严峻的挑战(邵帅等,2024)。因此,对减污降碳这一课题进行深入探究有重要的学术价值和政策指导意义。

长期以来,我国政府将降低大气污染物与温室气体排放视为两个独立的问题,并且实施差异化策略。而以二氧化碳为主的温室气体和各类大气污染物有“同根、同源”的特点(宋德勇

收稿日期:2024-10-23

基金项目:国家社会科学基金一般项目(21BGL100, 18BJY180)

作者简介:谷 城(1994—),男,吉林长春人,东北师范大学经济与管理学院副研究员、硕士生导师;

张树山(1972—)(通讯作者),男,吉林洮南人,东北师范大学经济与管理学院教授、博士生导师;

袁天荣(1964—),女,湖北荆门人,中南财经政法大学会计学院教授、博士生导师;

张佩雯(1999—),女,江西南昌人,中南财经政法大学会计学院博士研究生。

等, 2024), 减污与降碳在控制思路和管理措施上应保持高度一致。2018 年我国将应对气候变化的职能调整到生态环境部, 与之相关的环境政策也朝减污降碳协同控制方向改进。实际上, 环境规制是促使企业采取环境保护行动的重要手段和工具。一直以来, 我国主要以命令控制型的环境规制政策为主, 并对减污降碳形成了积极影响(陈诗一等, 2021), 但随着多种经济主体发展加快, 命令控制型的环境规制政策可能无法解决生态环境问题。同时, 命令控制型的环境规制政策也容易导致污染产业向相邻地区转移, 加剧污染迁入地的产业结构污染程度(董直庆和王辉, 2019), 从而产生负面的经济社会效应。

标准经济学理论认为, 标准化为经济发展提供统一的技术路径, 在国际领域可为国际经济交流与合作提供共同的技术语言(Yang, 2024), 在市场主体交流合作中提供产品和服务质量的标准与规范, 在生产操作流程中使得不同组件能够相互兼容(龙小宁和张美扬, 2023)。在这一理论指导下, 物流标准化是通过制定和实施统一的标准和规范, 使物流操作流程、设备、包装、信息等各个环节的要素标准化, 旨在提高物流体系的协调性和可操作性(王雄元和谭建华, 2019)。物流标准化的突出特征是从管理角度出发, 通过明确各个环节的操作规范和流程, 使物流活动具有统一的标准。因此, 物流标准化能够降低物流成本以及提高物流效率(Raballand 和 Aldaz-Carroll, 2007), 有助于畅通从生产到消费的各个环节, 促进经济活动的空间配置和畅通国民经济循环(刘海建和胡化广, 2023), 并且推动资源、知识、资金等要素在地区间自由流动(何凡等, 2024)。

现有文献已研究了降低交易成本、促进市场一体化建设对减污降碳的影响。比如, 对于降低交易成本而言, 有研究显示降低交易成本有利于企业引进先进的节能减排技术, 从而推动各类节能减排技术的推广和应用(张可, 2018)。从市场一体化建设角度来看, 有学者认为降低区域间的产品贸易和要素流动壁垒可以促进企业形成规模效应, 增强绿色创新能力, 进而减少企业污染排放(吕越和张昊天, 2021)。物流活动的本质特征是通过区域间的联系来实现生产要素自由流动(Tang 和 Veelenturf, 2019)。因此, 物流业在执行标准化建设过程中会对减污降碳有不可忽视的作用。但是, 较少有文献基于流通视角讨论物流活动对减污降碳的作用以及物流标准化对减污降碳的影响效果。

本文利用 2009—2021 年中国 285 个城市数据来检验物流标准化对城市减污降碳的影响与作用机制。研究发现: 第一, 物流标准化可以显著促进城市减污降碳, 这一结论具有较强的稳健性。第二, 物流标准化可以通过促进服务业偏向性结构升级、激励绿色创新和形成经济集聚来实现减污降碳。第三, 物流标准化对减污降碳的影响具有异质性。在交通基础设施水平高、数字基础设施水平高、环境规制强度高地区, 物流标准化的减污降碳效果更大。第四, 物流标准化提升了减污与降碳之间的协同程度。同时, 物流标准化建设质量的提高对推动城市减污降碳具有积极的影响。

本文的边际贡献如下: 第一, 在研究切入点层面, 本文基于我国物流标准化建设的独特背景, 将物流标准化与减污降碳加入同一研究框架。已有研究主要围绕环境政策的减污降碳效应展开讨论(陈诗一等, 2021; Lai 等, 2024), 与本文内容较为相似的文献认为降低交易成本、促进市场一体化建设对城市减污降碳具有积极的影响(张可, 2018; 吕越和张昊天, 2021)。然而这些文献对物流活动与改善生态环境的关系缺乏足够的关注, 也忽视了物流标准化体系改革与减污降碳之间的联系。本文基于物流标准化试点, 从流通视角较为全面地对减污降碳影响因素进行了深入研究。第二, 在方法层面, 本文利用双重机器学习对物流标准化的减污降碳效应进行了评估, 机器学习能够处理高维数据和复杂变量关系, 可以提高因果效应估计的精度。尽管双重

差分法具有缓解内生性问题的优势,但仍可能存在“维度诅咒”和多重共线性问题(张涛和李均超, 2023)。机器学习的拟合能力能够有效克服高维建模和处理非线性数据的局限性(Yang 等, 2020; 陈运森等, 2024)。因此,本文使用机器学习方法,从而增加了研究结论的可靠性。第三,在研究内容层面,本文揭示出物流标准化影响减污降碳的机制,并从物流成本、数字基础设施条件和环境规制强度方面考察了物流标准化对减污降碳的异质性影响。同时,本文识别了物流标准化的减污降碳协同效应。本文也进一步考察了物流标准化建设质量对减污降碳的影响。

二、制度背景与研究假说

(一)制度背景

自 2001 年我国加入世界贸易组织(WTO)以来,我国物流业迎来了突飞猛进的发展。为推进物流降本增效,加快发展现代物流,2014 年国务院印发了《物流业发展中长期规划(2014—2020 年)》,其主要任务之一便是要加强物流标准化建设,并且完善物流标准体系。在政策引导下,商务部、财政部和国家标准化委员会遵循“市场主导、政府引导、点面结合、逐步推进”的原则,先后在 2014 年、2015 年和 2016 年确立了 32 个物流标准化试点城市。

从试点目标和主要任务来看,物流标准化试点工作具有以下三方面特性:一是共用属性,以标准托盘(1200×1000 mm)及其循环共用为切入点,提高标准托盘普及率和物流包装标准化率。尺寸和规格统一的标准托盘能够与各类装卸设备相匹配,使货物在不同物流环节之间的转移更加顺畅,减少因托盘规格不统一而导致货物重新装卸和调整,从而提高了物流的连贯性和效率。二是服务属性,建立由运营网络、管理平台、制度规范支撑的社会化公共服务体系,推动仓储、包装、分拣、装卸、配送的流程服务标准化。三是智慧属性,加强标准化的物流信息服务平台建设,发展智慧物流配送,鼓励新一代信息技术应用。

我国物流标准化试点工作已经取得了显著的降本增效效果。根据《中国物流标准化发展监测分析报告(2017 年度)》显示,物流标准化实施之前,试点城市各类企业平均物流成本占主营业务收入的比重为 35.4%,而在试点工作开展之后,这一指标降为 24.4%。从图 1 来看,在本文样本期内,2009—2013 年社会物流总费用与 GDP 比率较为稳定,保持在 18% 左右。而在物流标准化试点工作实施的 2014 年,社会物流总费用与 GDP 比率迅速下降至 16.6%,降幅为 7.7%。由此可见,物流标准化降低物流成本和提高物流效率的作用是非常明显的。

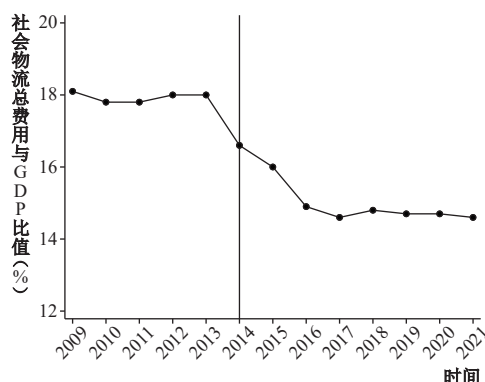


图 1 2009—2021 年社会物流总费用与 GDP 比率的演化趋势

(二)理论分析与研究假说

物流活动需求增加容易出现高能耗、高排放等问题。例如,包装环节使用大量的塑料、纸

张、木材等材料;装卸环节频率增加提高了燃油和能源消耗;运输环节排放尾气,其中包含一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物、颗粒物等污染物。特别是运输环节,我国公路运输完全主导了中短途甚至长距离的货运转移,而公路运输是空气污染的主要来源。例如,美国运输部门二氧化碳排放量占总排放量的 55% 以上(Liu 等, 2021)。

标准化是精益化管理的基础(Wright 等, 2012),作为物流业降本增效过程中的一项重要改革措施,物流标准化不仅依托其统一的行业标准精准对接了物流活动的各个环节,通过提高物流效率来减少污染物和二氧化碳排放,还能通过循环共用与绿色发展模式来发挥减污降碳的效用。从效率角度来看,物流标准化将标准“渗透”至物流链全链条,推动物流活动在技术应用、流通加工、设施设备、物流操作和交易流程等形成统一标准,如统一托盘、集装箱、车辆车厢等物流关键设施的规格尺寸(王雄元和谭建华, 2019),从而提高物流作业的集约化和高效化。在实际操作中,物流标准化使试点城市的企业物流装卸效率平均提高 75%,车辆周转效率提高 1 倍以上。^①从循环共用与绿色发展模式来看,试点工作积极推动托盘共用,实现物流活动全程“不倒盘、不倒筐”(刘海建和胡化广, 2023),并推广可重复使用的包装新产品,促进仓储配送和包装绿色化发展。根据《中国物流标准化发展监测分析报告(2017 年)》显示,物流标准化通过托盘共用推动二氧化碳排放量减少 13 万吨和砍伐树木减少 200 万棵以上。综上所述,本文提出如下假说:

假说 1: 物流标准化能够实现减污降碳。

除了直接促进减污降碳外,物流标准化也会通过间接形式来发挥减污降碳效用。有鉴于此,本文将从促进服务业偏向性结构升级、激励绿色创新和形成经济集聚三条路径阐述物流标准化影响减污降碳的机制路径。

1. 服务业偏向性结构升级

物流可为其他产业开展经济活动提供服务支撑。通过制定和实施统一的标准和规范,物流标准化具有显著的成本和效率优势,有利于企业获取更多的产品剩余价值(刘海建和胡化广, 2023),从而激发企业家的创业行为。大量文献表明,交易成本的降低能够吸引新企业进入市场(Asturias 等, 2023; 曹希广和邓敏, 2024)。然而,准备进入市场的服务业企业与工业企业受到物流标准化的影响程度可能存在差异。本文将这种物流标准化对新企业进入数量的非对称影响称为服务业偏向性结构升级。具体来说,服务业中许多子行业,特别是电子商务、快递、零售、餐饮等服务行业更加关注服务质量和客户满意度,因而对物流的即时性、安全性和精准度要求较高。物流标准化提供了高效的供应链管理和配送体系,这有助于提升物流活动的响应速度和可靠性,因此吸引了大量服务业企业进入市场。工业企业进入市场的门槛相对较高,需要综合权衡增量潜力、产品定位、技术能力等众多因素,尤其要重点评估企业的资源和技术是否具有市场竞争力(蔡运坤等, 2024)。同时,相对于工业企业整个生产成本来说,物流成本是比较小的,其对总体效益的边际贡献可能也比较低。因此,相对于工业企业的创业行为而言,物流标准化在吸引新企业进入市场的过程中对服务业企业创业行为的影响更大,从而形成服务业偏向性结构升级。

服务业偏向性结构升级有利于释放“结构红利”,削减大气污染物和温室气体排放,不断重塑低碳化产业结构,推动城市建立以绿色、环保为特点的产业体系,从而促进减污降碳。基于此,本文提出如下假说:

^① 资料来源为《中国托盘标准化发展监测分析报告(2016 年上半年)》。

假说 2: 物流标准化能够通过促进服务业偏向性结构升级来实现减污降碳。

2. 绿色创新

绿色创新活动普遍具有高成本、高风险、长期回报特征(Song 和 Yu, 2018), 这导致经济主体开展绿色创新行为的热情并不高, 而物流标准化为推动不同地区之间的绿色技术等交流与合作提供了机会。

从资源和技术角度, 物流标准化简化了运输、仓储和分销环节, 使供应链上下游的交易更加高效, 从而增强不同地区和市场之间的交流与合作(何凡等, 2024)。要素跨区域自由流动必然会推动区域经济相互连接, 形成更广泛的市场网络, 并扩展到资源共享和技术交流。由于不同地区在资源禀赋、技术类型和主导产业上存在差异性, 跨市场或跨地区贸易能够为本地区带来更多绿色资源, 进而产生更多减污降碳的绿色技术。不仅如此, 不同经济主体之间跨组织边界的合作行为也为协同与创新创造了更多的机会, 其中就包括绿色要素的创新类型(解学梅和韩宇航, 2022)。

从信息和知识角度, 充当知识载体的要素在供应链上流动, 这形成了知识溢出效应, 因而知识溢出是组织或空间单元在无意识的交互过程中获得的智力成果(白俊红等, 2017)。在物流标准化推动要素自由流动的过程中, 携带知识的各种商品或服务可以带动信息和知识在不同主体间的互动和交流, 并利用跨越地理边界的经济活动网络为本地区带来更多的绿色要素信息和知识, 进而促进绿色技术创新。张树山和谷城(2024)研究发现, 物流成本下降和物流效率提升有助于推动不同企业之间知识“碰撞”, 帮助企业更高效地获取外部知识和技术信息。

绿色技术进步作为解决环境问题的核心手段, 既能够形成以污染减排与温室气体控制为导向的技术手段, 还能够改进生产方式和工艺, 提高能源利用效率和末端污染处理效率, 从而减少生产端的大气污染、二氧化碳等温室气体排放(Chen 等, 2023; Lai 等, 2024; 宋德勇等, 2024)。因此, 本文提出如下假说:

假说 3: 物流标准化能够通过激励绿色创新来实现减污降碳。

3. 经济集聚

根据新经济地理学的“中心—外围”理论(Krugman, 1991), 在规模经济与垄断竞争的假设前提下, 经济活动的空间分布主要表现为运输成本和要素流动问题(Holl, 2016)。物流作为连接产业链供应链上下游的重要纽带, 依托于物流标准化形成的共同属性、服务属性和智慧属性, 实现协同化工作, 这有助于提升整个产业链供应链的集约化水平(张树山等, 2023), 从而为地区带来正外部性效用。此时, 更多的企业会选择在物流便利的场所进行集聚。与此同时, 在比较优势理论指导下, 企业一般专注于生产相对优势领域的产品, 然后通过贸易互补来形成复杂产品。例如, 电子产品制造企业会靠近芯片生产商、组装厂、分销中心等上下游环节。物流标准化的赋能作用促进了比较优势的形成。

作为紧凑型的城市空间经济行为, 经济集聚可以产生规模效应, 提高劳动生产率和资源要素利用效率, 促进企业生产效率提升。这意味着经济集聚能够节约企业的生产成本、促进能源的集中利用, 进一步降低单位生产所需的能源消耗, 从而产生明显的减污效应和减排效应(苏丹妮和盛斌, 2021; 宋德勇等, 2024)。由于经济活动的集中, 产出规模的扩张也会引发高能耗、高污染问题, 从而导致单位空间内污染排放或碳排放总量的增加(Verhoef 和 Nijkamp, 2002)。但已有研究已经证实, 上述担忧仅局限于经济集聚的初级阶段, 随着经济集聚水平不断提升, 其产生的规模效应可以实现减污降碳(林伯强和谭睿鹏, 2019; 邵帅等, 2019)。综上所述, 本文提出如下假说:

假说 4: 物流标准化能够通过形成经济集聚来实现减污降碳。

综合上述分析, 本文理论模型如图 2 所示。

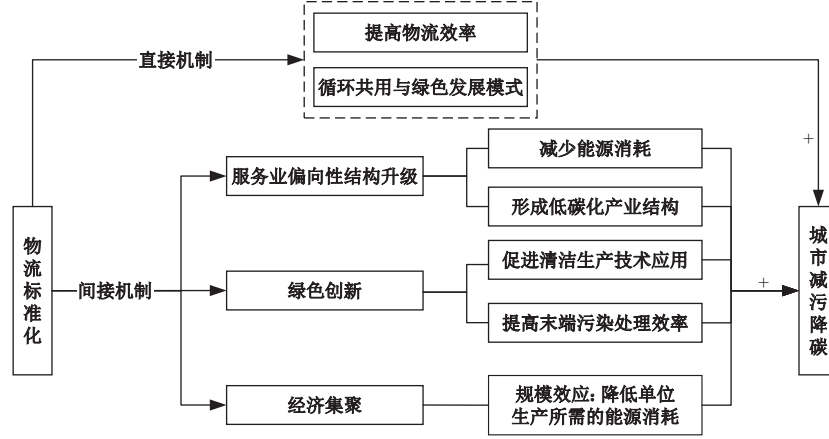


图 2 理论模型

三、研究设计

(一)模型设定

目前, 传统因果推断模型难以克服“维度诅咒”和多重共线性问题, 且存在模型设定偏差和线性假设约束等限制。双重机器学习模型能够有效刻画变量间的非线性关系和突破“维度诅咒”问题, 并提高双向固定效应模型的因果推断精度(张涛和李均超, 2023)。因此, 本文利用双重机器学习模型对物流标准化的减污降碳效应进行实证检验。参考 Chernozhukov 等(2018)研究, 设定如下交互式双重机器学习模型:

$$Y_{it} = g(\text{Logistic}_{it}, X_{it}) + U_{it} \quad (1)$$

$$E(U_{it} | \text{Logistic}_{it}, X_{it}) = 0 \quad (2)$$

$$\text{Logistic}_{it} = m(X_{it}) + V_{it} \quad (3)$$

$$E(V_{it} | X_{it}) = 0 \quad (4)$$

其中, 被解释变量 Y_{it} 为 i 城市第 t 年的污染物排放和碳排放水平; 解释变量 Logistic_{it} 表示物流标准化的虚拟变量, 若其在第 t 年及之后为物流标准化试点城市则赋值为 1, 反之为 0。由上式可得 Logistic_{it} 的估计系数为:

$$\hat{\theta} = E[g(\text{Logistic}_{it} = 1, X_{it}) - g(\text{Logistic}_{it} = 0, X_{it})] \quad (5)$$

其中, 若 $\hat{\theta}$ 显著为负, 则说明物流标准化可以实现减污降碳; X_{it} 表示一系列影响城市减污降碳的控制变量集合, 本文使用控制变量一次项和控制变量二次项两种形式; U_{it} 和 V_{it} 均为误差项, 且条件均值为 0; 本文在控制城市和年份固定效应基础上, 采用随机森林算法预测方法, 并将样本分割比例设定为 1:4; 为了增加研究结果的可信性, 本文稳健性检验中也采用了套索回归、梯度提升算法, 并将样本分割比例设定为 1:2 和 1:7。

(二)变量定义

被解释变量: 污染物排放和碳排放水平。参考已有研究(邓慧慧和杨露鑫, 2019; 邵帅等, 2019; 宋德勇等, 2024), 采用细颗粒物($PM_{2.5}$)的年均值浓度作为污染物排放的代理指标; 为了消

除城市规模对碳排放的影响,采用人均二氧化碳排放量(CO_2)来衡量碳排放。

解释变量:物流标准化(*Logistic*)。若某城市为物流标准化试点城市,则将其作为处理组(*Treat*)赋值为 1,反之为对照组,赋值为 0;若某城市在某年成为试点城市,则在当年及之后的时间虚拟变量 *Time* 设置为 1,反之为 0;以处理组与对照组虚拟变量和时间虚拟变量的交互项(*Treat*×*Time*)来表示物流标准化(*Logistic*)。^①

参考已有研究(林伯强和谭睿鹏,2019;邵帅等,2024),选取如下控制变量:经济基础(*Pgdp*)、产业结构(*Is*)、服务业水平(*Serve*)、政府调控(*Gov*)、消费水平(*Retail*)、交通条件(*Transp*)、金融基础(*Fin*)。具体变量定义如表 1 所示。^②

表 1 主要变量描述性统计结果

变量符号	变量名称	变量定义	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
CO_2	碳排放	人均二氧化碳排放量	3705	11.480	10.480	1.848	64.216
$PM_{2.5}$	污染物排放	$PM_{2.5}$ 年均值浓度	3705	42.156	15.156	16.357	86.769
<i>Logistic</i>	物流标准化	政策效应虚拟变量	3705	0.056	0.231	0	1
<i>Pgdp</i>	经济基础	人均GDP的自然对数	3705	10.659	0.611	9.205	12.049
<i>Is</i>	产业结构	第三产业产值占GDP的比值	3705	41.517	9.951	20.680	70.550
<i>Serve</i>	服务业水平	第三产业增加值的自然对数	3705	15.616	1.070	13.451	18.615
<i>Gov</i>	政府调控	地方财政支出占GDP的比值	3705	0.198	0.100	0.074	0.630
<i>Retail</i>	消费水平	社会消费品零售总额占GDP的比值	3705	0.378	0.105	0.130	0.688
<i>Transp</i>	交通条件	城市道路面积的自然对数	3705	7.110	0.964	5.166	9.554
<i>Fin</i>	金融基础	年末金融机构存贷款余额与GDP的比值	3705	2.470	1.262	0.588	21.301

(三)数据来源及描述性统计

本文以 2009—2021 年中国 285 个城市样本为研究对象。使用的数据来源为:第一, $PM_{2.5}$ 数据来源于华盛顿大学大气成分分析组;第二,专利数据来源于 CNRDS 数据库;第三,其余数据来源于《中国统计年鉴》《中国环境年鉴》《中国城市统计年鉴》,少数缺失数据利用线性插补方法补齐。同时,对主要连续变量进行 1% 的缩尾处理。表 1 汇报了主要变量的描述性统计结果。

四、实证结果与分析

(一)基准回归结果

表 2 汇报了基准回归结果,列(1)、列(2)考察了物流标准化对人均 CO_2 排放的影响,列(1)中加入控制变量一次项,列(2)在此基础上进一步加入控制变量二次项。可以发现,*Logistic* 的估计系数在 1% 的显著性水平下显著,说明物流标准化能够降低人均 CO_2 排放。列(3)、列(4)考察了物流标准化对 $PM_{2.5}$ 年均值浓度的影响,在加入控制变量一次项和控制变量二次项的结果中,*Logistic* 的估计系数在 1% 的显著性水平下显著,说明物流标准化能够降低 $PM_{2.5}$ 年均值浓度。综上所述,物流标准化试点工作的实施不仅显著降低了城市 CO_2 排放,也降低了 $PM_{2.5}$ 浓度,这意味着物流标准化可以实现减污降碳,假说 1 得到验证。

① 本文测算 2009—2021 年物流标准化处理组与对照组的人均 CO_2 排放量和 $PM_{2.5}$ 浓度的变化趋势,发现物流标准化与减污降碳之间有极强的相关性,限于篇幅,省略此部分内容,留存备案。

② 限于篇幅,省略详细的变量说明,留存备案。

表 2 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	CO_2		$PM_{2.5}$	
<i>Logistic</i>	-1.228*** (0.154)	-1.185*** (0.154)	-5.668*** (0.250)	-5.773*** (0.250)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项		控制		控制
城市和年份固定	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	3 705	3 705	3 705	3 705

注: *、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著, 括号内为稳健标准误, 下表同。

(二) 稳健性检验^①

本文从以下几个方面进行了稳健性检验: (1) 增加异常值控制; (2) 改变样本分割比例; (3) 重设双重机器学习算法; (4) 增加控制变量三次项; (5) 更换变量衡量方式; (6) 剔除特殊样本; (7) 排除同期相关政策干扰; (8) 工具变量法; (9) 调整固定效应类型。上述稳健性检验结果与基准回归结果一致, 表明物流标准化发挥减污降碳效应这一基准结论具有较强的稳健性。

(三) 机制检验与分析

1. 服务业偏向性结构升级

本文考虑城市新企业“增量”, 采用服务业新增工商企业注册数量的自然对数($\ln Enter$)来表示新企业进入情况。同时, 为了消除城市规模影响, 参考白俊红等(2022)、蔡运坤等(2024)的方法, 采用服务业每百人新增工商企业注册数量($PEnter$)作为服务业新企业进入市场的第二个代理指标。由于服务业新企业的增加仅是服务业偏向性结构升级的原因, 本文从结构视角, 分别使用服务业新增工商企业注册数量比重($Enter_ser$)、工业新增工商企业注册数量比重($Enter_ind$)两个指标。这些指标可以体现服务业和工业新企业进入市场的情况。此外, 服务业中高技术行业具有能源消耗低、污染排放小的特征, 本文将服务业新增工商企业注册数量中的高技术企业占比作为辅助变量($Servi_tec$)。^②表 3 列(1)至列(5)汇报了上述回归结果。列(1)至列(4)结果显示, 物流标准化可以吸引服务业新企业进入市场, 而物流标准化不仅能够提高服务业企业占比, 而且会减少工业企业占比。列(5)结果显示, 物流标准化能够提高服务业企业中的高技术企业占比。上述结果说明, 物流标准化可以促进服务业偏向性结构升级, 并且有助于增加具有减污降碳特征的高技术服务业企业占比。综上所述, 物流标准化可以通过促进服务业偏向性结构升级来实现减污降碳, 假说 2 得到验证。

2. 绿色创新

本文以城市绿色专利授权总数加 1 的自然对数($Gpatent_sum$)、城市绿色发明专利授权总数加 1 的自然对数($Gpatent_inv$)、城市绿色实用新型专利授权总数加 1 的自然对数($Gpatent_uti$)来衡量城市绿色创新情况。表 3 列(6)至列(8)汇报了上述回归结果。可以发现, *Logistic* 的估计系数均在 1% 的显著性水平下为正, 说明物流标准化可以提高城市绿色创新能力。本文以城市绿色专利授权总数与专利授权总数的比值($Gpatent_per$)作为被解释变量, 并重新进行回归。列(9)汇报了回归结果。可以发现, *Logistic* 的估计系数显著为正, 说明物流标准化可以提高城市创新中的绿色创新占比。综上所述, 物流标准化可以通过激励城市绿色创新来实现减污降碳, 假说 3 得到验证。

① 限于篇幅, 省略稳健性检验结果, 留存备索。

② 本文将信息传输、软件和信息技术服务业企业、科学研究和技术服务业企业视为高技术行业企业。

表 3 促进服务业偏向性结构升级、激励绿色创新机制结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	lnEnter	PEnter	Enter_ser	Enter_ind	Servi_tec	Gpatent_sum	Gpatent_inv	Gpatent_util	Gpatent_per
<i>Logistic</i>	0.385*** (0.010)	0.233*** (0.017)	0.005*** (0.001)	-0.007*** (0.001)	0.014*** (0.001)	0.780*** (0.018)	0.615*** (0.017)	0.779*** (0.017)	0.005*** (0.001)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市和年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	3 705	3 705	3 705	3 705	3 705	3 701	3 684	3 684	3 699

3. 经济集聚

参考王媛(2020)的研究,根据美国国家海洋和大气管理局(NOAA)发布的夜间灯光数据来衡量城市经济集聚程度,具体采用城市夜间灯光亮度总量的自然对数($\ln Light$)和夜间灯光亮度均值($Light_ave$)两个指标。同时,参考黄玖立和徐旻鸿(2012)的研究,采用地区生产总值与行政区域面积的比值($Density_GDP$)作为城市经济集聚程度的另一个代理指标。表 4 列(1)至列(3)汇报了上述回归结果, $Logistic$ 的估计系数均在 1% 的显著性水平下为正值,说明物流标准化能够发挥经济集聚的作用。

学术界关于经济集聚对减污降碳的影响仍存在一定争议(Verhoef 和 Nijkamp, 2002; 苏丹妮和盛斌, 2021)。一方面,经济集聚可以产生规模效应,通过提高生产效率来降低单位生产所需的能源消耗;另一方面,经济集聚也可能导致能源消耗和交通活动的高度集中,产生高能耗、高污染问题。因此,物流标准化通过经济集聚来实现减污降碳的关键是能否形成规模效应(林伯强和谭睿鹏, 2019; 邵帅等, 2019)。本文基于效率角度,参考史丹和李少林(2020)的方法来测算城市能源利用效率($Effic$)。^①表 4 列(4)结果显示, $Logistic$ 的估计系数在 1% 的显著性水平下为正值,这意味着物流标准化在经济集聚的过程中能够提高城市的能源利用效率,从而实现减污降碳。综上所述,物流标准化可以通过形成经济集聚来实现减污降碳,结果与理论逻辑一致,假说 4 得到验证。

物流标准化形成经济集聚的过程可能产生“虹吸效应”,即提高试点地区经济集聚水平的同时,降低了相邻地区的经济集聚水平。因此,参考蒋灵多等(2021)的研究思路,本文剔除所有试点城市,考察物流标准化对试点城市周围相邻城市经济集聚的影响。若产生“虹吸效应”,则物流标准化会减少相邻城市的经济集聚水平;若产生“辐射效应”,则物流标准化会增加相邻城市的经济集聚水平。具体来说,本文构造 $Spillover_one_{i,t+1}$ 变量,其表示剔除物流标准化试点城市后组成的新政策变量,若某城市 i 在第 t 年与试点城市相邻,则在 $t+1$ 年及之后 $Spillover_one$ 为 1,反之为 0。其余变量与基准回归模型一致。^②表 4 列(5)至列(7)汇报了回归结果, $Spillover_one$ 的估计系数均在 1% 的显著性水平下为正值。此结果说明物流标准化在形成经济集聚的过程并非以周围城市的集聚损失为代价,反而会产生“辐射效应”,提高周围城市的经济集聚水平。

① 采用 SBM-Malmquist-Luenberger 指数法测算各地级市的能源利用效率。其中,投入指标包括劳动、资本和能源。

② 由于物流标准化对相邻城市的影响可能存在滞后性,本文对 $Spillover_one_{i,t+1}$ 变量进行滞后一期处理。

表 4 经济集聚机制结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	lnLight	Light_ave	Density_GDP	Effic	lnLight	Light_ave	Density_GDP
Logistic	0.188*** (0.009)	13.326*** (1.725)	0.061*** (0.011)	0.009*** (0.002)			
Spillover_one					0.056*** (0.016)	22.944*** (2.679)	0.117*** (0.011)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市和年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	3 705	3 705	3 705	3 666	3 289	3 289	3 289

五、异质性检验与分析

(一)物流成本:交通基础设施条件异质性

本文采用城市道路面积与行政区面积的比值来衡量交通基础设施条件,根据中位数大小划分为高、低两种类型,并进行分组回归。表 5 列(1)至列(4)汇报了交通基础设施条件异质性的回归结果。可以发现,在交通基础设施水平较低的地区,物流标准化并未发挥减碳效用,但可以发挥减污效用;在交通基础设施水平较高的地区,物流标准化可以实现减污降碳,并且影响效果较大,说明物流标准化的减污降碳作用与交通基础设施条件具有互补效应。一方面,交通基础设施是物流活动中运输环节的“硬环境”,完善的交通基础设施意味着有更多、更便捷的运输路线可供选择,这有利于减少拥堵,使运输更加迅速;另一方面,随着交通网络的扩展和优化,运输工具规模和批量将有所增加,这使得运输环节能实现规模经济。现有研究同样反映交通基础设施对物流活动的支持作用,如张树山等(2023)研究发现,“智慧物流”高度依赖于地区交通基础设施。因此,在交通基础设施水平较高的地区,物流标准化的减污降碳效应也更大。

表 5 交通基础设施条件、数字基础设施条件异质性结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	交通基础设施水平较低		交通基础设施水平较高		数字基础设施水平较低		数字基础设施水平较高	
	CO ₂	PM _{2.5}	CO ₂	PM _{2.5}	CO ₂	PM _{2.5}	CO ₂	PM _{2.5}
Logistic	0.860** (0.345)	-3.049** (1.437)	-3.100*** (0.485)	-10.601*** (1.094)	0.611 (0.972)	-6.128*** (1.391)	-2.668*** (0.443)	-6.144*** (1.260)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
城市和年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	1852	1852	1853	1853	1851	1851	1854	1854

(二)“数实融合”:数字基础设施条件异质性

本文参考赵涛等(2020)测算的城市数字经济水平,将其作为数字基础设施条件的代理指标,根据中位数大小划分为高、低两种类型,并进行分组回归。表 5 列(5)至列(8)汇报了数字基础设施条件异质性的回归结果。可以发现,在数字基础设施水平较低的地区,物流标准化可以发挥减污效应,但无法发挥减碳效应;在数字基础设施水平较高的地区,物流标准化对两者均有显著影响,并且系数绝对值更大。这一结果表明相对于数字基础设施水平较低地区,物流标准化的减污降碳效用在数字基础设施水平较高地区更大。其原因在于,在数字经济时代背景下,

物流活动的高效运行需要与数字技术深度融合(张树山等, 2023)。数字基础设施水平较高地区拥有更先进的技术支持, 如物联网、大数据、人工智能等, 这有利于放大物流标准化的影响效果, 因而物流标准化的减污降碳效应更大。

(三) 监管压力: 环境规制强度异质性

本文参考邵帅等(2024)研究, 以各城市环保词频所在句子的字数占整个政府工作报告总字数的比重来衡量环境规制强度, 根据中位数大小划分为高、低两种类型, 并进行分组回归。表 6 汇报了环境规制强度异质性的回归结果。可以发现, 无论在环境规制强度较小还是较大地区, 物流标准化均能发挥减污效应, 并且影响程度较为接近。对于减碳效果而言, 在环境规制强度较大地区, *Logistic* 的估计系数绝对值和显著性水平更大。这表明相对于环境规制强度较小的地区, 物流标准化的减污降碳效用在环境规制强度较大的地区更大。其原因为: 一方面, 在环境规制强度较大的地区, 相关政策和法规对企业的环境行为有更严格的要求, 物流标准化建设遵守较高的环保标准, 积极采用更加节能和环保的物流操作, 从而减少能耗和污染物排放; 另一方面, 较高的环境规制强度通常伴随更多的绿色技术引导和绿色创新, 企业也会采用先进的环保技术, 而物流标准化有助于促进商品与服务流通, 从而推动减污降碳技术的开发与应用。

表 6 环境规制强度异质性结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
	环境规制强度较小		环境规制强度较大	
	CO_2	$PM_{2.5}$	CO_2	$PM_{2.5}$
<i>Logistic</i>	-1.012** (0.491)	-3.224*** (0.906)	-1.466*** (0.251)	-2.879*** (0.640)
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制
城市和年份固定效应	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	1 770	1 770	1 769	1 769

六、进一步研究

(一) 减污降碳的协同效应

如前文所述, 污染物排放和碳排放具有“同根、同源”特性(宋德勇等, 2024), 这意味着减污和降碳在很大程度上可以协同推进。2022 年, 生态环境部等 7 部门联合印发《减污降碳协同增效实施方案》。本文已经证明物流标准化可以减少污染物排放和碳排放, 那么物流标准化能否实现减污降碳协同效应? 为了回答上述问题, 本文对各城市人均二氧化碳排放量(CO_2)和细颗粒物($PM_{2.5}$)年均值浓度进行标准化处理。然后, 采用下式的耦合协调度模型来测算各城市减污降碳协同度, 具体公式如下:

$$CO_2 \times PM_{2.5_C} = \left\{ \frac{X_1 X_2}{[(X_1 + X_2)/2]^2} \right\}^{1/2} \quad (6)$$

$$CO_2 \times PM_{2.5_T} = aX_1 + bX_2 \quad (7)$$

$$CO_2 \times PM_{2.5_CT} = \sqrt{CO_2 \times PM_{2.5_C} \times CO_2 \times PM_{2.5_T}} \quad (8)$$

其中, X_1 和 X_2 分别表示经过标准化处理后的人均二氧化碳排放量(CO_2)和细颗粒物($PM_{2.5}$)年均值浓度; a 、 b 为参数, 均赋值 0.5, 表明控制污染物排放和碳排放同等重要; $CO_2 \times PM_{2.5_C}$ 表示减污降碳耦合度; $CO_2 \times PM_{2.5_T}$ 表示减污降碳协调度; $CO_2 \times PM_{2.5_CT}$ 表示减污降碳协同度, 指数越大, 表示城市减污降碳协同程度越高。

表7列(1)至列(3)汇报了基于减污降碳协同效用的回归结果。列(1)和列(2)结果显示,无论被解释变量是减污降碳耦合度还是减污降碳协调度, *Logistic* 的估计系数均在 1% 的显著性水平下为正值。列(3)综合分析了减污降碳协同度在物流标准化下的变化。可以发现, *Logistic* 的估计系数在 1% 的显著性水平下显著。这表明与非试点城市相比,物流标准化试点工作使得试点城市的减污降碳协同程度提高约 1.8%。综上所述,物流标准化不仅具有减污降碳的效用,而且能够有效提升减污降碳的整体协同效应。

(二)物流标准化建设质量

政府在物流标准化试点工作中的角色十分重要。为了更好地推动物流标准化工作在地方的实施,部分省份设立了物流标准化技术委员会(以下简称“省级物流标委会”)。根据对各地区相关文件的梳理,省级物流标委会在物流标准化试点工作的实施过程中具有以下作用:一方面,通过推广国家物流标准来指导地方企业按照国家标准进行物流作业,这有利于推动国家物流标准在地方的实施,并更加高效地执行和开展物流标准化工作;另一方面,省级物流标委会可以结合地方经济特点和物流需求,制定或完善符合地方实际的物流标准。

因此,本文参考刘海建和胡化广(2023)的研究思路,构建是否设立省级物流标委会虚拟变量 *Commission*,若某省份在某年成立了省级物流标委会,则在当年及之后年份,虚拟变量 *Commission* 为 1,反之为 0。在本文样本期内共有 19 个省份设立了物流标委会。本文构建物流标准化与省级物流标委会虚拟变量的交互项(*Logistic_qua*)来衡量物流标准化的建设质量。表7列(4)、列(5)汇报了基于物流标准化建设质量的回归结果。可以发现, *Logistic_qua* 的估计系数均在 1% 的显著性水平下显著,说明试点城市所在省份设立物流标委会增强了物流标准化的减污降碳效应。上述结果表明物流标准化建设质量对减污降碳具有积极影响,同时也为充分发挥“有为政府”的作用提供了决策依据。

表 7 进一步研究结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	$CO_2 \times PM_{2.5_C}$	$CO_2 \times PM_{2.5_T}$	$CO_2 \times PM_{2.5_CT}$	CO_2	$PM_{2.5}$
<i>Logistic</i>	0.033*** (0.002)	0.042*** (0.002)	0.018*** (0.001)	控制	控制
<i>Logistic_qua</i>				-2.234*** (0.160)	-1.701*** (0.242)
<i>Commission</i>				控制	控制
控制变量一次项	控制	控制	控制	控制	控制
控制变量二次项	控制	控制	控制	控制	控制
城市和年份固定效应	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	3 705	3 705	3 705	3 705	3 705

七、结论与政策启示

协同推进减污降碳是我国经济社会发展全面绿色转型的必然选择,而物流标准化作为新时代中国推进现代物流提质、增效的一项战略举措,为畅通国民经济循环,进而实现减污降碳提供了新思路。本文以逐步开展的物流标准化试点工作作为准自然实验,采用双重机器学习模型考察了物流标准化对城市减污降碳的影响和作用机制。研究结果发现,物流标准化显著抑制了二氧化碳排放量和细颗粒物($PM_{2.5}$)浓度,其能够发挥减污降碳的效用,这一结论在经过改变样本分割比例、重设双重机器学习算法等一系列稳健性检验后依然成立。机制分析表明,物流标准化通过促进服务业偏向性结构升级、激励绿色创新和形成经济集聚三条路径来实现减污降

碳。异质性分析表明,与交通基础设施水平低、数字基础设施水平低、环境规制强度低地区相比,物流标准化在交通基础设施水平高、数字基础设施水平高、环境规制强度高地区中产生的减污降碳效应更大。此外,进一步分析发现,物流标准化有效提升了减污与降碳之间的协同程度,物流标准化建设质量的提升也更有利于推动城市减污降碳。

本文提出如下政策建议:第一,以标准化建设为抓手,“以点带面”进一步扩大和深化物流标准化试点范围。物流标准化试点工作对减污降碳具有积极的作用。因此,政府一方面需要明确物流标准化的重要性和长远价值,出台支持物流标准化试点的专项政策或激励措施;另一方面,要提升物流业标准的适用性,物流业发展迅速,标准的适用性和实用性不仅体现在其制定阶段,还在于后期的动态调整,通过与国际标准接轨、建立标准的定期评估和更新机制,进而更好地发挥物流标准化的减污降碳效应。第二,破除区域壁垒,强化物流标准化畅通国民经济循环的作用。物流标准化的突出作用是通过降低物流成本和提高物流效率来促进资源要素流动。因此,想要最大程度发挥物流标准化的政策效应,需要实施统一的市场规则,促进区域间公平竞争。第三,加强各个地区的基础设施建设,为物流标准化提供良好的基础设施支持。本文发现,交通基础设施建设和数字基础设施建设可以与物流标准化的减污降碳效应形成互补效应。因此,地方政府在加快物流标准化时应优化交通基础设施布局,加强数字基础设施建设。

主要参考文献:

- [1]白俊红,王钺,蒋伏心,等.研发要素流动、空间知识溢出与经济增长[J].经济研究,2017,(7):109-123.
- [2]白俊红,张艺璇,卞元超.创新驱动政策是否提升城市创业活跃度——来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J].中国工业经济,2022,(6):61-78.
- [3]蔡运坤,周京奎,袁旺平.数据要素共享与城市创业活力——来自公共数据开放的经验证据[J].数量经济技术经济研究,2024,(8):5-25.
- [4]曹希广,邓敏.电子商务政策与企业家创业精神[J].世界经济,2024,(4):31-64.
- [5]陈诗一,陈登科.雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J].经济研究,2018,(2):20-34.
- [6]陈诗一,张建鹏,刘朝良.环境规制、融资约束与企业污染减排——来自排污费标准调整的证据[J].金融研究,2021,(9):51-71.
- [7]陈运森,周金泳,彭嘉续.中国上市公司分红的动因研究——基于机器学习的证据[J].中国工业经济,2024,(5):155-173.
- [8]邓慧慧,杨露鑫.雾霾治理、地方竞争与工业绿色转型[J].中国工业经济,2019,(10):118-136.
- [9]董直庆,王辉.环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J].中国工业经济,2019,(1):100-118.
- [10]何凡,陈波,黄炜.行业规范标准化与资本跨区流动——基于企业异地投资的研究[J].管理世界,2024,(7):204-225.
- [11]黄玖立,徐旻鸿.境内运输成本与中国的地区出口模式[J].世界经济,2012,(1):58-77.
- [12]蒋灵多,陆毅,张国峰.自由贸易试验区建设与中国出口行为[J].中国工业经济,2021,(8):75-93.
- [13]解学梅,韩宇航.本土制造业企业如何在绿色创新中实现“华丽转型”?——基于注意力基础观的多案例研究[J].管理世界,2022,(3):76-105.
- [14]林伯强,谭睿鹏.中国经济集聚与绿色经济效率[J].经济研究,2019,(2):119-132.
- [15]刘海建,胡化广.畅通国民经济循环与劳动力就业——基于流通标准一体化视角的研究[J].数量经济技术经济研究,2023,(10):51-70.
- [16]龙小宁,张美扬.标准的力量——来自中国标准必要专利的经验证据[J].管理世界,2023,(10):149-168.
- [17]吕越,张昊天.打破市场分割会促进中国企业减排吗[J].财经研究,2021,(9):4-18.

- [18]邵帅, 葛力铭, 朱佳玲. 人与自然何以和谐共生: 地理要素视角下的环境规制与环境福利绩效[J]. 管理世界, 2024, (8): 119-144.
- [19]邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019, (1): 36-60.
- [20]史丹, 李少林. 排污权交易制度与能源利用效率——对地级及以上城市的测度与实证[J]. 中国工业经济, 2020, (9): 5-23.
- [21]宋德勇, 陈梁, 王班班. 环境权益交易如何实现减污降碳协同增效: 理论与经验证据[J]. 数量经济技术经济研究, 2024, (2): 171-192.
- [22]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, (5): 1793-1816.
- [23]王雄元, 谭建华. 国家物流服务标准化促进了企业投资吗[J]. 会计研究, 2019, (12): 46-51.
- [24]王媛. 市场可达性、空间集聚经济与高铁站区经济发展[J]. 财贸经济, 2020, (3): 131-145.
- [25]张可. 区域一体化有利于减排吗[J]. 金融研究, 2018, (1): 67-83.
- [26]张树山, 谷城. 智慧物流与企业可持续发展——基于经济绩效与环境绩效的双重验证[J]. 产业经济研究, 2024, (1): 42-55.
- [27]张树山, 谷城, 张佩雯, 等. 智慧物流赋能供应链韧性提升: 理论与经验证据[J]. 中国软科学, 2023, (11): 54-65.
- [28]张涛, 李均超. 网络基础设施、包容性绿色增长与地区差距——基于双重机器学习的因果推断[J]. 数量经济技术经济研究, 2023, (4): 113-135.
- [29]赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, (10): 65-75.
- [30]Asturias J, Hur S, Kehoe T J, et al. Firm entry and exit and aggregate growth[J]. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 2023, 15(1): 48-105.
- [31]Chen H Y, Yi J Z, Chen A B, et al. Green technology innovation and CO₂ emission in China: Evidence from a spatial-temporal analysis and a nonlinear spatial durbin model[J]. *Energy Policy*, 2023, 172: 113338.
- [32]Chernozhukov V, Chetverikov D, Demirer M, et al. Double/debiased machine learning for treatment and structural parameters[J]. *The Econometrics Journal*, 2018, 21(1): C1-C68.
- [33]Holl A. Highways and productivity in manufacturing firms[J]. *Journal of Urban Economics*, 2016, 93: 131-151.
- [34]Krugman P. Increasing returns and economic geography[J]. *Journal of Political Economy*, 1991, 99(3): 483-499.
- [35]Lai J M, Liu X, Yuan L. Can green credit policy increase corporate pollution abatement efforts? Evidence from China[J]. *International Review of Economics & Finance*, 2024, 93: 797-813.
- [36]Liu S J, He N N, Shi Y T, et al. The roles logistics agglomeration and technological progress play in air pollution - New evidence in sub-regions of Chongqing, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 317: 128414.
- [37]Song W H, Yu H Y. Green innovation strategy and green innovation: The roles of green creativity and green organizational identity[J]. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 2018, 25(2): 135-150.
- [38]Tang C S, Veelenturf L P. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 129: 1-11.
- [39]Verhoef E T, Nijkamp P. Externalities in urban sustainability: Environmental versus localization-type agglomeration externalities in a general spatial equilibrium model of a single-sector monocentric industrial city[J]. *Ecological Economics*, 2002, 40(2): 157-179.
- [40]Wright C, Sturdy A, Wylie N. Management innovation through standardization: Consultants as standardizers of organizational practice[J]. *Research Policy*, 2012, 41(3): 652-662.
- [41]Yang J C, Chuang H C, Kuan C M. Double machine learning with gradient boosting and its application to the Big N audit quality effect[J]. *Journal of Econometrics*, 2020, 216(1): 268-283.
- [42]Yang L J. The economics of standards: A literature review[J]. *Journal of Economic Surveys*, 2024, 38(3): 717-758.

The Pollution and Carbon Reduction Effect of Logistics Standardization

Gu Cheng¹, Zhang Shushan¹, Yuan Tianrong², Zhang Peiwen²

(1. School of Economics and Management, Northeast Normal University, Changchun 130117, China;

2. School of Accounting, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China)

Summary: Logistics standardization is the formulation and implementation of uniform standards and norms, significantly reducing logistics costs and improving logistics efficiency. Therefore, logistics standardization is conducive to promoting the spatial reallocation of economic activities and unimpeded national economic cycles, and provides a new opportunity for pollution and carbon reduction.

In this paper, the logistics standardization pilot work gradually carried out in various cities is regarded as a quasi-natural experiment, and a double machine learning model is used to examine the impact of logistics standardization on urban pollution and carbon reduction. It is found that logistics standardization plays a role in reducing pollution and carbon. Mechanism testing shows that this effect is mainly achieved by promoting biased structural upgrading of the service industry, stimulating green innovation, and forming economic agglomeration. Heterogeneity analysis shows that this effect varies significantly under different scenarios of logistics costs, digital-real integration, and regulatory pressure, and is stronger in regions with high levels of transportation infrastructure, digital infrastructure, and environmental regulation intensity. Further research finds that logistics standardization effectively enhances the synergy between pollution reduction and carbon reduction. In addition, the improvement of logistics standardization construction quality is more conducive to promoting urban pollution and carbon reduction.

The marginal contributions of this paper are as follows: First, at the research entry point level, based on the unique background of logistics standardization construction in China, logistics standardization and pollution and carbon reduction are simultaneously included in the same research framework for the first time, providing new ideas and solutions for improving the ecological environment. Second, at the methodology level, double machine learning is applied to the assessment of the pollution and carbon reduction effect of logistics standardization, taking advantage of machine learning's handling of high-dimensional data and complex variable relationships to improve the precision of causal effect estimation. Third, at the research content level, the theoretical black box of logistics standardization affecting pollution and carbon reduction is revealed, and its heterogeneous performance is examined from multiple dimensions.

Key words: logistics standardization; pollution and carbon reduction; “dual carbon” goals; double machine learning

(责任编辑 顾 坚)