

跨省份横向生态补偿政策对地区生态环境质量的作用机制研究

王慧¹, 周菲¹, 王晓川^{2*}, 曾晨晨¹

1. 南宁师范大学旅游与文化学院, 广西南宁 530001

2. 南宁师范大学初等教育学院, 广西南宁 530001

摘要: 建立健全流域跨省份横向生态补偿体制机制, 是推进流域大保护、实现流域经济高质量发展的迫切需求。基于2010—2023年我国93个城市的面板数据, 运用熵值法测度地区生态环境质量, 通过双重差分法系统探究跨省份横向生态补偿政策对地区生态环境质量的作用机制。结果表明: ①跨省份横向生态补偿政策对地区生态环境质量具有显著正向促进作用, 政策实施后, 地区生态环境质量提升约0.021。②机制分析表明, 跨省份横向生态补偿政策通过推动地方经济发展促进生态环境质量改善, 通过提高地区创新发展水平提升地区生态环境质量的效果不显著。③异质性分析显示, 跨省份横向生态补偿政策对高财政水平地区与东中部地区生态环境质量的改善具有显著的促进作用, 在低财政水平地区和西部地区不显著。因此, 建议进一步推动跨省份横向生态补偿政策的落地实施, 构建科学合理的考核体系, 优化补偿机制与实施路径, 结合区域特点推行差异化实施方案, 以提升环境治理效能, 增强政策的针对性与有效性。

关键词: 横向生态补偿政策; 生态环境质量; 环境治理; 区域协同

中图分类号: X821

文章编号: 1001-6929(2026)05-1073-11

文献标志码: A

DOI: 10.13198/j.issn.1001-6929.2026.03.13

Study on the Impact and Mechanisms of Cross-Provincial Horizontal Ecological Compensation Policies on Regional Eco-Environmental Quality

WANG Hui¹, ZHOU Fei¹, WANG Xiaochuan^{2*}, ZENG Chenchen¹

1. School of Tourism & Culture, Nanning Normal University, Nanning 530001, China

2. School of Elementary Education, Nanning Normal University, Nanning 530001, China

Abstract: Establishing and improving cross-provincial horizontal ecological compensation mechanisms in river basins is an urgent requirement for promoting comprehensive watershed protection and achieving high-quality economic development within river basins. Using panel data from 93 cities in China from 2010 to 2023, this study applies the entropy method to measure regional eco-environmental quality and employs a difference-in-difference (DID) model to systemically examine the mechanisms through which cross-provincial horizontal ecological compensation policies influence regional eco-environmental quality. The results indicate that: (1) Cross-provincial horizontal ecological compensation policies have a significant positive effect on regional eco-environmental quality. After policy implementation, regional eco-environmental quality increased by approximately 0.021. (2) Mechanism analysis shows that these policies improve eco-environmental quality by promoting local economic development, whereas the effect of enhancing regional eco-environmental quality through increased innovation capacity is not statistically significant. (3) Heterogeneity analysis reveals that the policies significantly improve eco-environmental quality in regions with higher fiscal capacity and in eastern and central China, but while the effects are not significant in regions with lower fiscal capacity and in western China. Therefore, it is recommended to further the implementation of cross-provincial horizontal ecological compensation policies, establish a scientific and rational evaluation system, optimize compensation mechanisms and implementation pathways, and adopt region-specific strategies based on local characteristics to

收稿日期: 2025-11-09

修订日期: 2026-02-05

作者简介: 王慧(1982-), 女, 吉林辉南人, 教授, 博士, 主要从事旅游可持续发展研究, wanghui@nnu.edu.cn

* 责任作者: 王晓川(1982-), 男, 吉林松原人, 讲师, 博士, 主要从事休闲经济研究, 451551734@qq.com

基金项目: 广西高等学校千名中青年骨干教师培育计划人文社会科学类立项课题 (No.2022QGRW039)

Supported by Thousand Young and Middle-Aged Backbone Teachers Training Program in Higher Education Institutions of Humanities and Social Sciences, Guangxi, China (No.2022QGRW039)

improve the effectiveness of environmental governance and enhance the targeted effectiveness of the policies.

Keywords: horizontal ecological compensation policy; eco-environmental quality; environmental governance; regional coordination

党的二十届四中全会明确提出,要筑牢生态安全屏障,完善生态环境标准、监测、评价和考核制度^[1]。生态补偿制度作为生态文明制度体系的重要组成部分,不仅是践行“绿水青山就是金山银山”理念的关键抓手^[2],更是统筹生态环境保护与社会经济协调发展、实现生态产品价值转化、促进区域公平与可持续发展的重要政策工具。横向生态补偿本质上是同级政府或无行政隶属关系政府间的一种平等协商-购买机制,通过自愿谈判协商购置合格的生态服务^[3],明确各方在生态保护补偿中的权利与义务。从更深层次剖析,它是在等价交换原则基础上,同级政府针对流域生态服务展开的购买行为^[4-5]。这种机制打破了传统行政式生态管理模式,强化市场机制作用和利益平衡,为破解流域生态保护中的外部性难题提供了新思路。目前,学界在横向生态补偿领域已积累丰富研究成果。研究范畴覆盖森林^[6-7]、耕地^[8-9]等多元生态要素,其中流域尺度为核心关注领域。流域横向生态补偿的研究可分理论与实践两个层面,其中理论层面,学者围绕横向生态补偿政策的科学界定^[10-11]、框架设计^[12]、制度完善^[13-14]等议题展开探讨,为政策实践提供了重要学理支撑。实践层面,现有研究侧重考察流域横向生态补偿的经济绩效与环境效益。相关研究表明,横向生态补偿政策能够显著促进受偿地区经济发展^[14]、提升企业劳动投资效率^[15],有助于缩小城乡收入差距^[16],在降低区域碳排放强度^[17-18]、减少工业废水污染物排放^[19]以及改善区域水环境质量等方面具有积极作用^[20]。然而,既有研究在探讨政策对生态环境质量的作用机制方面存在一定局限。一方面,多数研究侧重于探究生态补偿政策的经济效益^[7,16],或关注单一污染物的减排效果^[17,19],鲜有研究对政策“抑制生态环境损害”的约束作用与“促进生态环境建设”的激励作用进行实证检验;另一方面,针对跨省份横向生态补偿政策的综合效能与空间异质性影响^[13,18],尚缺乏系统性的机制分析与地区比较研究。探究跨省份横向生态补偿政策对地区生态环境质量的作用机制,具有重要理论价值与实践意义。理论层面,有助于深化对生态补偿政策作用机制的理论认识;实践层面,能为全流域大保护以及生态环境高质量发展提供科学参考。鉴于此,本文以九洲江流域、新安江流域等7个跨省份横向生态补偿试点流域所涉及城市为研究对象,基于2010—2023年城市面板数据,

系统探究跨省份横向生态补偿政策的生态环境效应及异质性,旨在从“约束”与“激励”双重维度解构政策作用路径,深入剖析政策在不同流域的作用机理与区域差异,为深入推进大江大河横向生态保护补偿机制建设提供实证依据与政策参考。

1 制度背景与理论分析

1.1 横向生态补偿政策实施背景

2007年,国家环境保护总局发布的《关于进一步加强生态保护工作的意见》(环发〔2007〕37号)提出探究流域上下之间的生态补偿途径,标志着我国流域横向生态补偿政策开始萌芽^[21]。2016年,财政部等四部门联合印发《关于加快建立流域上下游横向生态保护补偿机制的指导意见》,明确了流域补偿的基准、方式与标准,为各流域开展试点工作提供了制度框架。2018年,《中央财政促进长江经济带生态保护修复奖励政策实施方案》提出“早建早补、早建多补”,激励长江经济带11省市推进省际补偿工作。2021年,财政部等四部门联合印发《支持长江全流域建立横向生态保护补偿机制的实施方案》,标志着政策从“局部试点”转向“系统推进”。2024年,《生态保护补偿条例》颁布,以法律形式明确跨省份补偿的权责划分、协议内容与履行规则,将“成本共担、效益共享、合作共治”原则固化为制度。2025年,财政部等五部门印发《关于深入推进大江大河干流横向生态保护补偿机制建设的实施方案》,明确建立“中央统一核算、地方共担资金”的统一补偿机制,标志着政策进入“法治化、标准化”新阶段^[22]。

在实践探索层面,2012年,安徽省与浙江省签订《新安江流域上下游横向生态补偿协议》,成为首个跨省份横向生态补偿政策试点区,开创了“中央引导+两省对赌”的流域生态治理新模式。2015年,九洲江流域被列入国家跨地区生态补偿试点。2016年,汀江-韩江流域、东江流域相继签署了《关于汀江-韩江流域水环境补偿的协议》《东江流域上下游横向生态补偿协议》,试点规模进一步扩大。2018年,赤水河流域各省级人民政府签署《赤水河流域横向生态补偿协议》,形成“一河一策”试点格局。2019年,丽水流域、滁河流域相继签订跨省份生态补偿协议。至此,已有7个支流相继签订了跨省份横向生态补偿协议(见表1),逐步建立起跨省份横向生态补偿机制,为全面推广横向生态补偿政策积累了宝贵实践经验。

表1 跨省份流域横向生态补偿实践

Table 1 Practice of cross-provincial horizontal ecological compensation policies

流域名称	涉及省份(城市)	开始时间	补偿方式
新安江流域	安徽省(黄山市、宣城市)、浙江省(杭州市)	2012年	<ul style="list-style-type: none"> ●第一轮(2012—2014年): 总资金5亿元, 中央3亿元, 浙江省、安徽省各1亿元, 考核断面水质达标, 浙江省补偿安徽省; 不达标, 安徽省补偿浙江省 ●第二轮(2015—2017年): 总资金7亿元, 中央3亿元, 浙江省、安徽省各2亿元, 方式不变 ●第三轮(2018—2020年): 浙江省、安徽省按1:1比例共同出资4亿元, 方式不变 ●第四轮(2024年起): 浙江省、安徽省按1:1比例共同出资10亿元, 资金总额参照两省年度GDP增速逐年增长, 方式不变
九洲江流域	广西壮族自治区(玉林市)、广东省(湛江市)	2016年	<ul style="list-style-type: none"> ●第一轮(2016—2017年): 广西壮族自治区、广东省各出资3亿元, 中央奖补8亿元, 水质达GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类及以上, 资金拨付广西壮族自治区; 未达标, 广西壮族自治区按比例补偿广东省 ●第二轮(2018—2020年): 广西壮族自治区、广东省每年各出资1亿元, 中央依据考核确定奖励资金, 水质达标中央奖励广西壮族自治区; 不达标广西壮族自治区按比例补偿广东省 ●第三轮(2021—2023年): 广西壮族自治区、广东省每年各出资1亿元, 中央奖补3亿元, 水质Ⅱ类+生态流量达标, 全额拨付; 单项不达标, 按比例扣减
汀江-韩江流域	福建省(龙岩市、漳州市)、广东省(梅州市、潮州市、汕头市)	2016年	<ul style="list-style-type: none"> ●第一轮(2016—2017年): 广东省、福建省每年各安排1亿元补偿资金, 作为汀江-韩江流域水环境补偿资金, 中央根据考核目标完成情况确定奖励金额 ●第二轮(2019—2021年): 方式不变 ●第三轮(2025—2027年): 方式不变
东江流域	江西省(赣州市)、广东省(河源市)	2016年	<ul style="list-style-type: none"> ●第一轮(2016—2019年): 江西省、广东省每年各出资1亿元, 水质年均达Ⅲ类广东省补偿江西省1亿元; 达Ⅱ类中央奖补3亿元, 广东省、江西省各配套1亿元; 未达Ⅲ类江西省补偿广东省1亿元 ●第二轮(2020—2021年): 水质稳定达Ⅱ类广东省补偿江西省1亿元, 中央奖补3亿元; 稳定达Ⅲ类广东省补偿江西省0.5亿元, 中央奖补1.5亿元; 未达Ⅲ类江西省补偿广东省1亿元 ●第三轮(2023年起): 水质Ⅱ类且水量达标广东省补偿江西省1亿元, 中央奖补3亿元; 水质Ⅲ类且水量达标广东省补偿江西省0.5亿元, 中央奖补1.5亿元; 水质不达标或水量不达标江西省补偿广东省1亿元
赤水河流域	云南省(昭通市)、四川省(泸州市)、贵州省(毕节市、遵义市)	2018年	<ul style="list-style-type: none"> ●第一轮(2018—2020年): 云南省、贵州省、四川省按比例共出资2亿元设立赤水河流域水环境横向生态补偿资金; 依考核断面水质界定三省责任与资金清算比例 ●第二轮(2023年起): 云南省、贵州省、四川省三省每年按比例共同出资3亿元, 方式不变
涿水流域	江西省(萍乡市)、湖南省(株洲市)	2019年	<ul style="list-style-type: none"> ●第一轮(2019年7月—2022年6月): 以水质达到Ⅲ类标准为考核目标, 按月核算, 达标由湖南省补偿江西省; 未达标江西省补偿湖南省, 补偿标准为每月100万元 ●第二轮(2022年7月—2025年12月): 方式不变
滁河流域	安徽省(合肥市、马鞍山市、滁州市)、江苏省(南京市)	2019年	<ul style="list-style-type: none"> ●第一轮(2019—2023年): 年度监测水质Ⅱ类及以上时, 江苏省补偿安徽省4000万元, 达到Ⅲ类时, 补偿2000万元; 水质为Ⅳ类时, 安徽省补偿江苏省2000万元, Ⅴ类及以下时, 补偿3000万元 ●第二轮(2023年起): 高锰酸盐指数、氨氮、总磷等3项指标年度水质类别均达Ⅲ类标准时, 互不补偿, 每1项指标达到Ⅱ类标准时, 江苏省补偿安徽省1000万元; 每1项指标为Ⅳ类及以下时, 安徽省补偿江苏省1000万元

1.2 理论分析与研究假设

跨省份横向生态补偿政策是在国家适度调控下的制度安排。从政策目标来看, 国家开展流域横向生态补偿试点是为了在水质标准的硬性约束下, 实现可持续发展, 推动“绿水青山”向“金山银山”的转化^[23]。

从政策的作用机制来看, 主要通过“约束”与“激励”双重路径影响生态环境质量: 一是减少生态环境损害的约束机制, 政策设定水质考核目标, 通过清晰权责界定与经济奖惩, 将污染行为的负外部成本内部化, 有效约束上游地区的环境破坏行为; 二是促进生态环境建设的激励机制, 下游地区支付的补偿资金可直接用于上游水源保护、生态修复等项目, 通过增加生态建设投入, 提升生态系统质量与稳定性。结合激

励理论, 跨省份横向生态补偿政策作为激励政策, 其实施能够增强上游地区的环境保护动机; 经济补偿作为激励手段, 能进一步强化环保行为, 形成良性循环^[24], 促进当地生态环境保护。基于以上分析, 提出假设1: 跨省份横向生态补偿政策对地区生态环境质量具有直接影响。

流域生态补偿作为以经济调节为主要手段的市场化策略, 在推动区域经济发展方面发挥重要作用^[13]。从政策运行逻辑看, 跨省份横向生态补偿政策主要以断面水质作为考核标准, 若上游水质优于约定标准值, 下游政府需向上游提供经济补偿, 反之, 则由上游承担补偿责任。根据科斯定理以及外部性理论, 流域上游地区通常面临生态环境脆弱与经济发展水平相对

滞后双重压力。上游政府为降低经济损失,会加大污染防治力度,以实现对生态环境的保护^[25]。对于流域下游地区而言,上游的生态保护间接降低了下游生态环境保护成本,有利于地区生态环境质量的提高,实现从经济杠杆到生态效益的传导。综合上述分析,提出假设 2:跨省份横向生态补偿政策通过提高经济发展水平促进生态环境质量改善。

创新是实现地区生态环境提高的重要手段之一^[26]。横向生态补偿政策可通过推动创新发展促进生态质量提升。一方面,依据波特假说,合理的环境规制能激发创新补偿效应。横向生态补偿政策提供的补偿

资金与设定的环保门槛,可引导和支持企业进行绿色技术研发与应用,推动产业从高耗能、高污染传统模式向清洁高效新型环保模式转型,不仅有利于经济高质量发展,又从源头实现节能减排与资源高效利用。另一方面,创新技术可通过优化生产技术减少污染物的排放量;同时,数字技术的广泛应用能够有效监督污染物排放水平^[27],为地区生态保护提供技术支撑。综合以上分析,提出假设 3:跨省份横向生态补偿政策通过提高创新发展水平促进生态环境质量改善。

综上,构建起横向生态补偿政策对生态环境质量的作用机制框架,如图 1 所示。

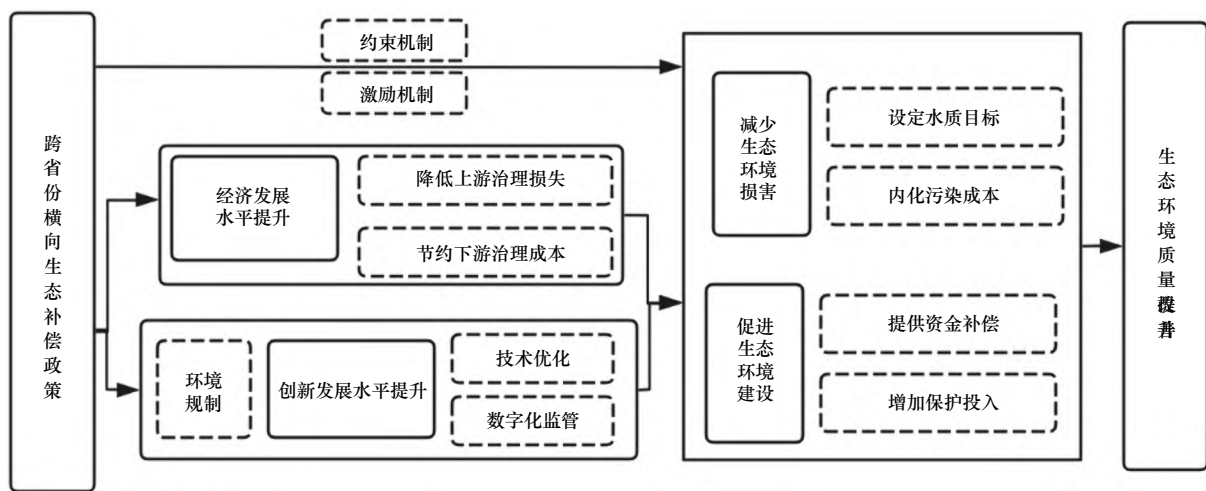


图 1 横向生态补偿政策对生态环境质量的作用机制

Fig.1 Mechanism of horizontal ecological compensation policy on eco-environmental quality

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 熵值法

熵值法通过极值标准化对原始数据进行预处理,通过客观赋权的方式确定各指标权重,并运用多目标加权求和法计算各流域各城市生态环境质量的综合评价,具体公式如下:

$$Y_i = \sum_{j=1}^{11} \omega_j \times X_{ij}' \quad (1)$$

式中, Y_i 为第 i 个样本 ($i=1,2,\dots,1302$) 的生态环境质量综合评价, X_{ij}' 为指标标准化处理后的数据, ω_j 为第 j 项指标 ($j=1,2,\dots,11$) 的权重。

2.1.2 双重差分法

双重差分法 (DID) 是研究政策实施效果的常用方法。鉴于各流域跨省份横向生态补偿政策实施年份不同,本文采用多期 DID 模型探究跨省份横向生态补偿政策的作用效果〔见式 (2)〕。

$$Env_{nt} = \alpha + \theta DID_{nt} + \beta X_{nt} + \mu_n + \lambda_t + \varepsilon_{nt} \quad (2)$$

式中, Env_{nt} 为地区 n 第 t 年生态环境质量测度结果, DID_{nt} 为各试点区跨省份横向生态补偿政策效应, X_{nt} 为控制变量, μ_n 为地区固定效应, λ_t 为时间固定效应, ε_{nt} 为随机扰动项, α 为常数项, β 、 θ 为回归系数。

2.2 变量定义与数据来源

2.2.1 指标体系构建与变量定义

生态环境质量测度指标体系参考李政大等^[28]的研究框架,结合各流域生态环境治理的核心诉求及相关文献^[29-31],构建了涵盖水、空气、土壤、固体废物、植被 5 个维度的 11 项二级指标 (见表 2)。水资源总量表征区域自然资源禀赋的基础条件,反映流域先天的水资源储备能力,其规模直接决定水环境容量与生态承载力的潜在上限,间接影响生态环境损害的承载阈值与生态建设成效。生态环境损害维度选取工业二氧化硫排放量、工业烟粉尘排放量、工业废水排放量、化肥施用量、 $PM_{2.5}$ 平均浓度和生活垃圾清运量 6 项指标,其中,前三项指标反映工业生产环节产生

的大气与水污染负荷; 化肥施用量反映农业生产中化学投入品对土壤、水体的污染压力; $PM_{2.5}$ 平均浓度作为评估区域大气环境质量的核心指标, 反映当前大气复合污染水平与能见度状况; 生活垃圾清运量表征城市化进程中生活废弃物对生态环境形成的负荷, 体现人居活动对流域生态系统的干扰程度。生态环境建设维度选取建成区绿化覆盖面积、人均公园绿地面积、环卫机械数量与城市污水处理率 4 项指标, 其中建成区绿化覆盖面积和人均公园绿地面积反映城市人工植被系统的建设情况; 环卫机械数量衡量生态环境治理的基础设施保障能力; 城市污水处理率反映流域水污染治理基础设施建设与运行效能, 是评价水环境管控能力的重要指标。需要说明的是, 指标体系未直接纳入水质类结果指标, 主要因工业废水排放量、化肥施用量、城市污水处理率等指标已从不同角度覆盖水质影响因素, 可间接反映水环境质量状况, 且能规避结果变量与影响变量的因果重叠及多重共线问题。

表 2 生态环境质量测度指标体系

Table 2 Eco-environment quality measurement indicator system

维度	二级指标	指标属性
基础条件	水资源总量($10^8 m^3$)	正
	工业二氧化硫排放量(t)	负
生态环境损害	工业烟粉尘排放量(t)	负
	工业废水排放量($10^5 t$)	负
	$PM_{2.5}$ 平均浓度($\mu g/m^3$)	负
	化肥施用量($10^5 t$)	负
	生活垃圾清运量($10^5 t$)	负
生态环境建设	建成区绿化覆盖面积($10^5 m^2$)	正
	人均公园绿地面积(m^2)	正
	环卫机械数量(台)	正
	城市污水处理率(%)	正

被解释变量为生态环境质量 (Env), 用熵值法测度结果衡量。核心解释变量为横向生态补偿政策 (DID), 将横向生态补偿政策实施城市作为实验组 (Treat=1), 按照地理邻近原则选取同省份其他城市作为对照组 (Treat=0); 政策实施前年份赋值为 “Year=0”, 政策实施后 (包括实施当年) 年份赋值为 “Year=1”, 构建交互项 $DID=Treat \times Year$ 。选取产业结构、政府干预程度、教育水平、工业发展水平、城镇化水平作为控制变量, 其中, 产业结构用第三产业增加值在国民生产总值中所占比例衡量^[18]; 政府干预程度用地方一般财政支出占国民生产总值的比例衡量^[18]; 教育水

平用普通高等学校在校学生数占地区总人口的比例衡量^[32]; 工业发展水平用第二产业增加值在国民生产总值中所占比例衡量^[33]; 城镇化水平用城镇人口占地区总人口的比例衡量^[34]。选取经济发展水平以及创新发展水平进行机制检验, 其中, 经济发展水平用地区国民生产总值衡量; 创新发展水平用财政支出中科技创新支出所占比例衡量^[17]。

2.2.2 数据来源

本文的研究对象为 7 个跨省份横向生态补偿政策试点区, 具体为九洲江流域、新安江流域、汀江-韩江流域、东江流域、赤水河流域、涿水流域和滁河流域, 涉及云南省、贵州省、广西壮族自治区、湖南省、江西省、安徽省、浙江省、江苏省、福建省、广东省 10 个省份。基于数据可得性与地理邻近性原则, 保留 93 个城市 2010—2023 年的面板数据, 其中试点城市 22 个, 对照组 71 个, 共计 1 302 个样本。数据主要来源于 2010—2024 年各流域、各省份及各城市的统计年鉴, 各省份的政府工作报告, 《中国统计年鉴》, 《中国城市统计年鉴》, 《中国民政统计年鉴》, 《中国农村统计年鉴》, 以及国家青藏高原科学数据中心^[35]。个别缺失数据采用线性插值法填补。

3 实证检验

3.1 基准回归结果

采用时间个体双固定效应模型, 系统评估跨省份横向生态补偿政策对地区生态环境质量的影响, 回归结果如表 3 所示。未加入控制变量时, 跨省份横向生态补偿政策对当地生态环境质量的影响系数为正, 且通过了 10% 水平的显著性检验, 表明政策实施对生态环境质量具有正向影响。加入控制变量后, 回归系数依然为正且通过了显著性检验, 说明跨省份横向生态补偿政策能够切实推动当地生态环境质量改善。综上, 假设 1 成立。

3.2 稳健性检验

3.2.1 PSM-DID 回归结果

为验证基准回归结果的可靠性, 采用倾向匹配得分-双重差分法 (PSM-DID) 进行验证, 结果如表 4 所示。跨省份横向生态补偿政策实施前, 实验组与对照组生态环境质量综合评价差异仅为 0.009, 且未通过显著性检验, 表明两组样本在政策实施前具有较好的同质性, 能够有效支撑政策实施的对照研究。政策实施后, 两组差距增至 0.030, 且在 1% 水平上显著, 表明跨省份横向生态补偿政策使实施地区生态环境质量提高了 0.021, 且通过了显著性检验。综上, 基准回归结果具有良好稳健性。

表 3 基准回归结果

Table 3 Baseline regression results

项目	未加入控制变量			加入控制变量		
	Coef.	S.Err.	$P> t $	Coef.	S.Err.	$P> t $
DID	0.019 9	0.010 5	0.061*	0.019 9	0.010 3	0.058*
产业结构				-0.000 4	0.000 1	0.000***
政府干预程度				-0.001 3	0.010 2	0.904
教育水平				0.036 7	0.065 4	0.560
工业发展水平				0.014 3	0.019 8	0.419
城镇化水平				-1.08×10^{-6}	5.32×10^{-7}	0.046**
常数项	0.102 7	0.001 3	0.000***	0.096 3	0.008 0	0.000***
个体固定		YES			YES	
时间固定		YES			YES	
样本量		1 302			1 302	
R^2		0.865 9			0.866 2	

注: Coef.为回归系数, S.Err.为标准误, $P>|t|$ 表示显著性结果。*、**、***分别表示 10%、5%、1% 显著性水平。下同。

表 4 PSM-DID 回归结果

Table 4 PSM-DID regression results

项目	Env	S.Err.	$P> t $
跨省份横向生态 补偿政策实施前	对照组	0.091	
	实验组	0.100	
	Diff (T-C)	0.009	0.006
跨省份横向生态 补偿政策实施后	对照组	0.123	
	实验组	0.153	
	Diff (T-C)	0.030	0.006
Diff-in-Diff	0.021	0.009	0.013**

注: Env 表示生态环境质量, Diff (T-C) 表示实验组与对照组的差值, Diff-in-Diff 表示双重差分法结果。

3.2.2 平行趋势检验

双重差分法的核心假设为平行趋势假设,即跨省份横向生态补偿政策实施前实验组和对照组表现出相似的变化趋势。采用事件分析法进行平行趋势检验,结果如图 2 所示。由图 2 可见,跨省份横向生态补偿政策实施前实验组与对照组无显著差异,政策实施后,生态环境质量回归系数虽存在波动,但显著为正,表明政策实施效果显著,平行趋势检验通过。

3.2.3 安慰剂检验

为排除不可观测因素的干扰,采用反事实思想,通过构建虚拟实验组的方式进行安慰剂检验。从全样本中随机抽取 19 个城市作为实验组,并随机生成政策实施年份,重复实验 500 次,结果如图 3 所示。由图 3 可见,估计系数整体呈正态分布,大部分集中在零点附近且不显著,明显区别于基准回归系数 0.019 9。这表明在无真实政策干预的情况下,随机抽取的实验组不会产生类似真实政策实施后的效果。

综上,安慰剂检验通过,进一步增强了研究结果的可靠性。

3.2.4 缩短时间窗口

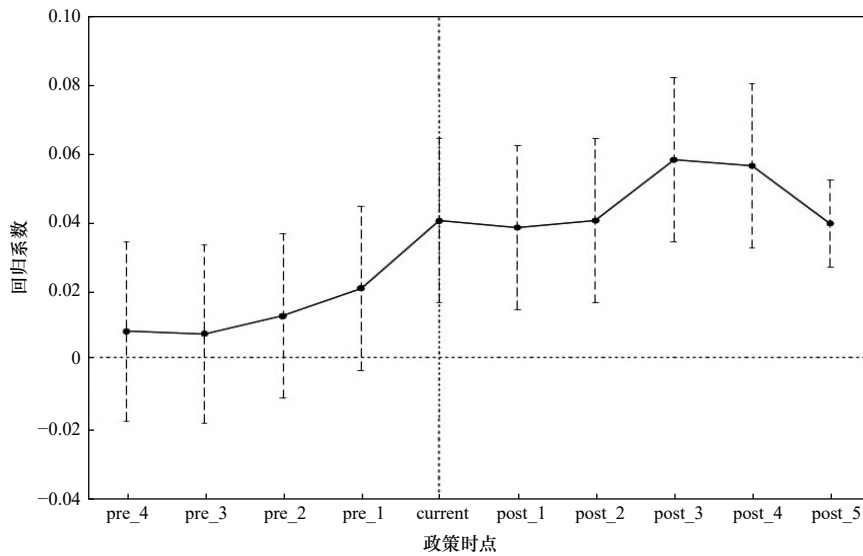
为避免时间周期性对实验结果的干扰,参考胡洁等^[36]的做法,将样本时间窗口缩短至 2011—2022 年重新进行基准回归,结果(见表 5)显示,无论是否加入控制变量,回归系数都为正且通过 10% 显著性水平的检验,稳健性检验通过。

3.3 机制检验

为深入揭示跨省份横向生态补偿政策影响生态环境质量的作用路径,借鉴罗红艳等^[37]的做法,分别检验经济发展水平和创新发展水平的作用机制,结果如表 6 所示。

从经济发展水平来看,回归系数为正且通过显著性检验,表明实施跨省份横向生态补偿政策能够显著促进实施地区的经济发展,在“一水共护”迈向“一域共富”过程中,实现经济发展与生态环境质量提升的双重效应,假设 2 得到验证。

从创新发展水平来看,回归系数为正,但未通过显著性检验,表明跨省份横向生态补偿政策未能有效促进地区创新水平提高。原因主要包括三方面:一是现行补偿机制多以断面水质作为单一考核指标,缺乏对过程的考核^[38]。根据新古典经济理论中“理性经济人”的假设,实验组中受偿地区可能会选择成本最低、风险最小的方式达到目标水质要求,如直接关停重污染企业等,而忽略了技术创新的长期效益,一定程度上削弱了创新动力。二是创新技术发展对经济依赖性强且周期长,受偿地区受经济基础的限制无法在短时间内实现技术创新的突破^[39]。三是当前跨省



注: pre_4、pre_3、pre_2、pre_1 分别代表政策实施前四年、政策实施前三年、政策实施前二年、政策实施前一年; current 代表政策实施当年; post_1、post_2、post_3、post_4、post_5 分别代表政策实施后第一年、政策实施后第二年、政策实施后第三年、政策实施后第四年、政策实施后第五年。

图 2 跨省份流域横向生态补偿政策的平行趋势检验结果

Fig.2 Parallel trend test results for cross-provincial basin horizontal ecological compensation policy

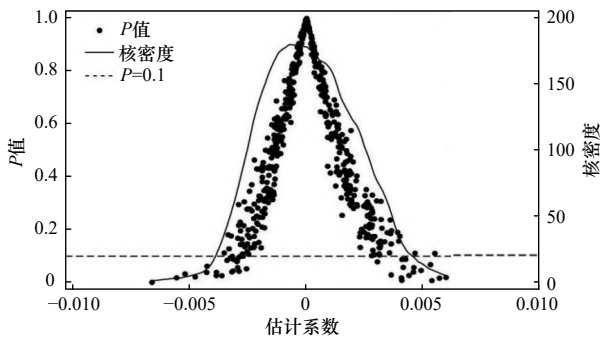


图 3 随机生成实验组的安慰剂检验结果

Fig.3 Placebo test results for the randomized and generated treatment groups

份横向生态补偿政策以“输血型”财政转移支付、专项资金奖励为主^[40],未明确与创新挂钩,难以激活地区创新活力。基于以上分析,假设 3 未通过检验。

3.4 异质性分析

不同流域城市在财政水平、经济区位等方面存在差异,可能影响跨省份横向生态补偿政策的实施效果。因此,本文从财政水平和经济区位两个维度开展政策效应异质性分析。

3.4.1 财政水平异质性

跨省份横向生态补偿政策的实施效果与地方财政水平密切相关,不同财政水平地区的资源配置能力、政策执行力及机制传导效率存在差异,进而影响政策

生态效应的发挥。本文以地方财政收入中位数为分界点,将研究区划分为高财政水平地区和低财政水平地区。由表 7 可见,高财政水平地区回归系数为 0.025 2,且通过 5% 水平显著性检验,表明跨省份横向生态补偿政策显著促进此类地区生态环境质量提升。低财政水平地区的回归系数为负,且未通过显著性检验,说明跨省份横向生态补偿政策在此类地区未能发挥显著作用。从作用机制来看,高财政水平地区凭借强大财力,能够有效贯通政策作用链条,一方面,能直接配套资金用于污染治理与生态修复,强化政策直接环境效应;另一方面,能将补偿资金与自有财政结合,激活经济发展传导机制,通过支持绿色产业培育与产业结构升级,将生态约束转化为发展动能,实现经济与生态协同提升。低财政水平地区受财力限制,生态建设、绿色产业培育与创新研发资金不足,导致经济传导机制受阻、创新传导机制持续缺位。在发展与保护的双重压力下,部分地区可能为维持短期经济增长采取粗放式发展模式,导致政策执行效果不佳或异化,甚至可能加剧区域“马太效应”^[41]。这表明跨省份横向生态补偿政策在不同财政水平下对生态环境保护的作用存在明显差异,高财政水平地区更易将政策要求转化为实际生态效益。

3.4.2 经济区位异质性

为探究不同经济地理区位下政策效应的差异,依

表5 稳健性检验结果

Table 5 Robustness test results

项目	未加入控制变量			加入控制变量		
	Coef.	S.Err.	$P> t $	Coef.	S.Err.	$P> t $
DID	0.017 9	0.010 0	0.075*	0.017 3	0.009 9	0.083*
常数项	0.102 5	0.001 2	0.000***	0.089 5	0.008 9	0.000***
控制变量	NO			YES		
个体固定	YES			YES		
时间固定	YES			YES		
样本量	1 116			1 116		
R^2	0.873 6			0.874 2		

表6 机制检验结果

Table 6 Mechanism test results

项目	经济发展水平			创新发展水平		
	Coef.	S.Err.	$P> t $	Coef.	S.Err.	$P> t $
DID	896.67	428.73	0.039**	0.006 0	0.004 6	0.196
常数项	5 925.58	3 390.32	0.084*	0.032 7	0.006 2	0.000***
控制变量	YES			YES		
个体固定	YES			YES		
时间固定	YES			YES		
样本量	1 302			1 302		
R^2	0.548 8			0.594 3		

表7 异质性检验结果

Table 7 Heterogeneity test results

项目	DID	常数项	控制变量	个体固定	时间固定	样本量	R^2
高财政水平	Coef.	0.025 2	0.158 1	YES	YES	YES	643
	S.Err.	0.010 6	0.023 9				
	$P> t $	0.021**	0.000***				
低财政水平	Coef.	-0.007 2	0.078 7	YES	YES	YES	643
	S.Err.	0.005 2	0.004 9				
	$P> t $	0.169	0.000***				
东中部	Coef.	0.022 9	0.108 3	YES	YES	YES	966
	S.Err.	0.012 6	0.012 3				
	$P> t $	0.073*	0.000***				
西部	Coef.	0.007 9	0.080 8	YES	YES	YES	336
	S.Err.	0.011 5	0.006 9				
	$P> t $	0.498	0.000***				

据国家统计局公布的统计分类标准,将研究区划分为东中部地区和西部地区。由表7可见,东中部地区回归系数显著为正,西部地区回归系数虽为正但未通过显著性检验,表明跨省份横向生态补偿政策在东中部地区的作用更为显著。从作用机制来看,东中部地区生态保护基础较好,绿色发展规划较为成熟,产业结构多元,能够充分利用补偿政策带来的激励,激活经济发展传导机制,将生态约束内化为产业结构绿色升级的动力,推动产业转型与生态治理协同推进,放大政策直接效应。西部地区尽管拥有生态资源优势,但基础设施薄弱,人才匮乏,当前发展重心仍聚焦于基础设施建设、人才吸纳和扩大经济规模,补偿政策所带来的资金支持与生态约束,难以在短期内充分转化为实际效益,最终导致政策正向效应未能充分释放。

4 结论与建议

a) 跨省份横向生态补偿政策对生态环境质量具有显著正向影响,PSM-DID模型结果显示,政策实施后地区生态环境质量提升约0.021,该结论通过了平行趋势检验、安慰剂检验以及缩短窗口期等多重稳

健性检验,表明生态补偿政策通过利益补偿机制,有效激励各地区加强生态环境保护。建议巩固政策正向效应,进一步推动跨省份横向生态补偿政策的深入实施,加快建立健全相关立法与执法体系,逐步扩大政策实施范围,实现生态效益的广泛覆盖。

b) 跨省份横向生态补偿政策能够通过促进地区经济发展推动生态环境质量改善,但受考核标准、补偿方式等因素影响,该政策未能通过提高创新发展水平来促进生态环境质量提升,需优化跨省份横向生态补偿路径。一方面,积极探索市场交易机制在生态补偿政策中的创新应用,鼓励水权交易、碳汇权交易等与横向生态补偿政策协同发展,进一步扩大生态保护资金渠道来源;另一方面,推动补偿方式多元化发展,积极探索技术补偿、产业补偿、政策补偿等多种形式,降低对单一经济补偿的依赖,提高补偿的针对性和有效性,如为技术薄弱地区提供技术支持,对产业发展滞后地区给予产业扶持。

c) 跨省份横向生态补偿政策对地区生态环境质量的影响存在区域异质性。从财政水平来看,高财政

水平地区的政策效果更为显著;从经济区域来看,东中部地区的政策实施效果优于西部地区。因此应实施差异化政策方案,强化对薄弱地区的支持。针对低财政水平、西部地区,构建补偿与能力建设的复合支持体系,加强在环境基础设施、绿色产业培育、专业技术人才等方面的能力建设,增强其内生发展能力,实现从“输血”到“造血”的转变;针对高财政水平、东中部地区,结合实际情况科学设定补偿标准,推动生态补偿与绿色经济协同发展,积极发挥引领作用。加强不同地区在生态补偿政策实施中的交流与合作,建立结对帮扶机制,推动低碳技术、管理经验跨区域共享,提升政策落地能力。

参考文献 (References):

- [1] 中华人民共和国中央人民政府.中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议 [EB/OL].北京:中华人民共和国中央人民政府,(2025-10-28)[2026-01-31].https://www.gov.cn/zhengce/202510/content_7046050.htm.
- [2] 曹俐,王梦瑶,雷岁江,等.基于准自然实验的生态转移支付政策环境效应评价 [J].*环境科学研究*,2022,35(11):2627-2638.
CAO L,WANG M Y,LEI S J,et al.Environmental effect evaluation of ecological transfer payment policy based on quasi-natural experiment[J].*Research of Environmental Sciences*,2022,35(11):2627-2638.
- [3] MURADIAN R,CORBERA E,PASCUAL U,et al.Reconciling theory and practice:an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services[J].*Ecological Economics*,2010,69(6):1202-1208.
- [4] 徐大伟,刘春燕,常亮.流域生态补偿意愿的 WTP 与 WTA 差异性研究:基于辽河中游地区居民的 CVM 调查 [J].*自然资源学报*,2013,28(3):402-409.
XU D W,LIU C Y,CHANG L.A study on the disparity of WTP and WTA of the basin's willingness to compensate:based on the residents' CVM investigation in the middle Liaohe drainage basin [J].*Journal of Natural Resources*,2013,28(3):402-409.
- [5] WUNDER S.Revisiting the concept of payments for environmental services[J].*Ecological Economics*,2015,117:234-243.
- [6] YU H H,LI S W,YANG J M.Responsibility definition and standard calculation of forest horizontal ecological compensation:a case study of Chongqing,China[J].*Frontiers in Sustainable Food Systems*,2025,9:1580737.
- [7] 杨加猛,盛杰,仇梦媛,等.森林横向生态补偿政策对受偿地区的经济影响效应:基于福建、江西、浙江和广东四省的准自然实验研究 [J].*生态经济*,2024,40(9):112-120.
YANG J M,SHENG J,QIU M Y,et al.Economic impact of forest horizontal ecological compensation policy on the compensated areas:a quasi-natural experimental study on Fujian,Jiangxi,Zhejiang and Guangdong Provinces[J].*Ecological Economy*,2024,40(9):112-120.
- [8] CHEN J,YANG S,DU H,et al.Horizontal ecological compensation zoning and standard in China's major grain-producing areas based on virtual cultivated land flow[J].*Frontiers in Environmental Science*,2025,13:1578780.
- [9] 于婷,毛德华,陈铸,等.基于“三位一体”的湖南省耕地生态产品价值核算及横向生态补偿 [J].*生态学报*,2025,45(24):12014-12029.
YU T,MAO D H,CHEN Z,et al.Research on the value accounting of cultivated land ecological products of Hunan Province based on the protection of quantity,quality and ecology of cultivated land and horizontal ecological compensation[J].*Acta Ecologica Sinica*,2025,45(24):12014-12029.
- [10] SONG J B,LIANG Z,GUO Q,et al.Current situation,dilemmas and measures to improve horizontal ecological compensation coordination mechanisms in river basins[J].*Sustainability*,2023,15(2):1504.
- [11] 陈进.流域横向生态补偿进展及发展趋势 [J].*长江科学院院报*,2022,39(2):1-6.
CHEN J.Progresses and development trend of horizontal ecological compensation in river basin[J].*Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*,2022,39(2):1-6.
- [12] 董战峰,李红祥,璩爱玉,等.长江流域生态补偿机制建设:框架与重点 [J].*中国环境管理*,2017,9(6):60-64.
DONG Z F,LI H X,QU A Y,et al.Framework and the key points in establishment of the ecological compensation mechanism of the Yangtze River[J].*Environmental Conformity Assessment*,2017,9(6):60-64.
- [13] 张倩.黄河流域横向生态补偿的协同治理困境与实践路径 [J].*人民黄河*,2023,45(8):54-58.
ZHANG Q.Synergistic governance dilemma and practical approach of horizontal ecological compensation in the Yellow River Basin[J].*Yellow River*,2023,45(8):54-58.
- [14] LIU Y W,YUAN L.Study on the influencing factors and profitability of horizontal ecological compensation mechanism in Yellow River Basin of China[J].*Environmental Science and Pollution Research*,2023,30(37):87353-87367.
- [15] 金友良,徐颖,曾辉祥.“对赌式”流域横向生态补偿政策对企业劳动投资效率的影响 [J].*财会月刊*,2023,44(12):40-46.
JIN Y L,XU Y,ZENG H X.The impact of 'Betting-Type' watershed horizontal ecological compensation policies on the labor investment efficiency of enterprises[J].*Finance and Accounting Monthly*,2023,44(12):40-46.
- [16] 张益豪,郭晓辉.横向生态补偿能缩小城乡收入差距吗?[J].*经济与管理研究*,2024,45(6):3-18.
ZHANG Y H,GUO X H.Can horizontal ecological compensation narrow the urban-rural income gap?[J].*Research on Economics and Management*,2024,45(6):3-18.
- [17] 袁汝华,贾葵源.双碳背景下流域横向生态补偿政策对碳排放的影响 [J].*农林经济管理学报*,2024,23(3):377-386.
YUAN R H,JIA K Y.Impact of river basin horizontal ecological

- compensation policies on carbon emissions in the context of carbon peaking and carbon neutrality[J].*Journal of Agro-Forestry Economics and Management*,2024,23(3):377-386.
- [18] 谌仁俊,李新月,江闯东.“共护一江水”的降碳力量:来自跨省流域横向生态保护补偿机制的实证研究[J].*中国地质大学学报(社会科学版)*,2024,24(5):85-101.
SHEN R J,LI X Y,JIANG C D. Carbon reduction capability of ‘joint protection of the same river’:evidence from the cross-provincial trans-basin ecological protection compensation mechanism[J].*Journal of China University of Geosciences (Social Sciences Edition)*,2024,24(5):85-101.
- [19] 吴凤平,邵志颖,季英雯.新安江流域横向生态补偿政策的减排和绿色发展效应研究[J].*软科学*,2022,36(9):65-71.
WU F P,SHAO Z Y,JI Y W. Research on emission reduction and green development effect of horizontal ecological compensation policy in Xinanjiang River Basin[J].*Soft Science*,2022,36(9):65-71.
- [20] 胡东滨,林媚,陈晓红.流域横向生态补偿政策的水环境效益评估[J].*中国环境科学*,2022,42(11):5447-5456.
HU D B,LIN M,CHEN X H. Effects of river basin horizontal ecological compensation on water environment benefits[J].*China Environmental Science*,2022,42(11):5447-5456.
- [21] 覃凤琴.我国跨省流域横向生态补偿机制的实践探索与政策优化[J].*财政科学*,2022(6):108-116.
QIN F Q. Practical exploration and policy optimization of cross provincial basin horizontal ecological compensation mechanism in China[J].*Fiscal Science*,2022(6):108-116.
- [22] 袁懿婧,杨磊.基于生态系统服务流的山西省生态补偿核算研究[J].*环境工程技术学报*,2025,15(6):2107-2120.
YUAN Y J,YANG L. Research on ecological compensation accounting in Shanxi Province based on ecosystem service flows[J].*Journal of Environmental Engineering Technology*,2025,15(6):2107-2120.
- [23] 沈满洪,谢慧明.跨界流域生态补偿的“新安江模式”及可持制度安排[J].*中国人口·资源与环境*,2020,30(9):156-163.
SHEN M H,XIE H M. Transboundary ecological compensation in the Xin’an River Basin and its institutional arrangement of sustainability[J].*China Population,Resources and Environment*,2020,30(9):156-163.
- [24] 吕炜,凡盼来,王伟同.半市场化环保激励与生态恢复:来自新安江流域横向生态补偿的证据[J].*财贸经济*,2025,46(9):22-37.
LV W,FAN P L,WANG W T. Semi market-oriented environmental incentives and ecological restoration:evidence from horizontal ecological compensation in the Xin’an River Basin[J].*Finance & Trade Economics*,2025,46(9):22-37.
- [25] 景守武,张捷.新安江流域横向生态补偿降低水污染强度了吗?[J].*中国人口·资源与环境*,2018,28(10):152-159.
JING S W,ZHANG J. Can Xin’anjiang river basin horizontal ecological compensation reduce the intensity of water pollution?[J].*China Population Resources and Environment*,2018,28(10):152-159.
- [26] 陈旭东,郭权,鹿洪源.流域横向生态补偿机制与绿色发展效率:基于中国9个跨省流域横向生态补偿机制的证据[J].*当代经济科学*,2026,48(1):135-148.
CHEN X D,GUO Q,LU H Y. Cross-regional ecological compensation mechanisms and green development efficiency:evidence from inter-provincial river basins in China[J].*Modern Economic Science*,2026,48(1):135-148.
- [27] 史歌.高质量发展背景下黄河流域生态补偿机制的建设思路[J].*经济与管理评论*,2023,39(2):49-58.
SHI G. The construction idea of ecological compensation mechanism in the Yellow River Basin under the background of high-quality development[J].*Review of Economy and Management*,2023,39(2):49-58.
- [28] 李政大,黄晨雨,马瑜彬.黄河流域生态环境测度水平的区域差异和分布动态:基于强可持续发展理论的实证分析[J].*河南师范大学学报(哲学社会科学版)*,2024,51(2):39-45.
LI Z D,HUANG C Y,MA Y B. Research on regional differences and distribution dynamics of ecological environment level in the Yellow River Basin:empirical analysis based on strong sustainable development theory[J].*Journal of Henan Normal University (Philosophy and Social Sciences Edition)*,2024,51(2):39-45.
- [29] 刘玘玘,刘书芳.黄河流域城市群生态韧性时空演化及提升路径研究[J].*环境科学研究*,2024,37(7):1534-1545.
LIU H H,LIU S F. Research on spatiotemporal evolution and improvement paths of ecological resilience in Yellow River Basin urban agglomerations[J].*Research of Environmental Sciences*,2024,37(7):1534-1545.
- [30] 李敏,崔晓阳,庞贵芳,等.长江经济带生态环境与经济高质量发展耦合协调及交互影响研究[J].*长江流域资源与环境*,2025,34(7):1399-1412.
LI M,CUI X Y,PANG G F,et al. Coupling coordination and interactive influence of ecological environment and high-quality economic development in the Yangtze River economic belt[J].*Resources and Environment in the Yangtze Basin*,2025,34(7):1399-1412.
- [31] 刘月,何伟,左强.京津冀城市群经济发展与大气环境质量耦合协调度测算及影响因素[J].*环境科学研究*,2025,38(9):2090-2102.
LIU Y,HE W,ZUO Q. Calculation and influencing factors of the coupling coordination degree between economic development and atmospheric environmental quality in the Beijing-Tianjin-Hebei agglomeration[J].*Research of Environmental Sciences*,2025,38(9):2090-2102.
- [32] 鹿洪源,马婕,陈旭东.多主体共治视角下财政生态转移支付的民生与环境协同激励效应:以跨省流域横向生态补偿机制为例[J].*经济经纬*,2025,42(4):16-31.
LU H Y,MA J,CHEN X D. The synergistic incentive effect of fiscal ecological transfer payment on livelihood and environmental quality from the perspective of multi-stakeholder governance:taking the horizontal ecological compensation mechanism in cross-provincial river basins as[J].*Economic Survey*,2025,42(4):16-31.
- [33] 黄永明,丁闻语.跨省流域横向生态补偿政策与绿色经济发展:基

- 于中国县域面板数据的经验研究[J].财政科学,2024(8):82-99.
HUANG Y M,DING W Y.Trans-provincial watershed horizontal ecological compensation policy and green economic development: an empirical study based on county-level panel data in China[J]. Fiscal Science,2024(8):82-99.
- [34] 李新越,班凤梅,毕旭,等.黄河流域减污降碳协同效应的时空特征及影响因素分析[J].环境科学研究,2024,37(12):2610-2621.
LI X Y,BAN F M,BI X,et al.Spatio-temporal characteristics and influencing factors of the synergistic effects of pollution and carbon emission reduction in the Yellow River Basin[J].Research of Environmental Sciences,2024,37(12):2610-2621.
- [35] 韦晶,李占清.中国高分辨率高质量 PM_{2.5} 数据集(2000—2023) [EB/OL].北京:国家青藏高原科学数据中心,(2024-08-19) [2025-10-16].<https://data.tpdc.ac.cn/zh-hans/data/6168e75d-93ab-4e4a-b7ff-33152e49d0bf>.
- [36] 胡洁,于宪荣,韩一鸣.ESG 评级能否促进企业绿色转型?基于多时点双重差分法的验证[J].数量经济技术经济研究,2023, 40(7):90-111.
HU J,YU X R,HAN Y M.Can ESG rating promote green transformation of enterprises?[J].Journal of Quantitative & Technological Economics,2023,40(7):90-111.
- [37] 罗红艳,贺正齐,束必勤.黄河流域横向生态补偿政策的经济发展效应研究[J].水利经济,2025,43(3):48-57.
LUO H Y,HE Z Q,SHU B Q.Research on the economic development effects of horizontal eco-compensation policies in the Yellow River Basin[J].Journal of Economics of Water Resources,2025,43(3):48-57.
- [38] 顾向一,李佳伟.长江流域跨省横向生态补偿机制研究[J].资源开发与市场,2025,41(4):493-500.
GU X Y,LI J W.Research on trans-provincial horizontal ecological compensation mechanism in the Yangtze River Basin [J].Resource Development & Market,2025,41(4):493-500.
- [39] 杨秋月,阳镇,陈劲.生态补偿能否促进绿色经济发展?基于新安江流域横向生态补偿试点的证据[J].科学学与科学技术管理, 2024,45(10):3-20.
YANG Q Y,YANG Z,CHEN J.Can eco-compensation promote green economic development?evidence from Xin'an River Basin horizontal eco-compensation pilot[J].Science of Science and Management of S & T,2024,45(10):3-20.
- [40] 璩爱玉,樊瑞娜,董战峰,等.流域横向生态保护补偿机制创新研究:以岷江流域为例[J].环境保护,2024,52(13):27-32.
QU A Y,FAN R N,DONG Z F,et al.Research on the innovation of horizontal ecological protection compensation mechanism in river basins:taking the Minjiang River Basin as an example[J]. Environmental Protection,2024,52(13):27-32.
- [41] 韩冬日,李玉涵,耿莹莹,等.多维邻近视角下长三角城市群绿色生产力空间网络演化[J].环境科学研究,2025,38(12):2603-2615.
HAN D R,LI Y H,GENG Y Y,et al.Spatial network evolution of green productivity in the Yangtze River Delta urban agglomeration:a multidimensional proximity perspective[J]. Research of Environmental Sciences,2025,38(12):2603-2615.

(责任编辑:张 蕊)