DOI:10.20069/j.cnki.DJKX.2026002

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

陈旭东，郭 权，鹿洪源
天津财经大学 财税与公共管理学院，天津 300222

移动端阅读

摘要:流域横向生态补偿机制作为生态文明建设的重要组成部分,对推动经济社会发展方式绿色转型具有重要意义。以2006—2021年中国9个跨省流域横向生态补偿机制受偿省份的地级市为研究对象,采用交错双重差分模型检验流域横向生态补偿机制对受偿城市绿色发展效率的影响。研究发现:流域横向生态补偿机制显著提升了受偿城市的绿色发展效率,绿色创新效应与产业结构效应是两个重要传导机制。异质性分析表明,在国家级城市群中的城市和资源型城市中,流域横向生态补偿机制的政策效果更为明显。此外,协议内部中央财政补贴、以协议为依托的国际组织贷款、协议外部绿色金融三类补充资金均在流域横向生态补偿机制与绿色发展效率之间起到正向调节作用。据此提出扩大流域横向生态补偿机制覆盖范围、强化上下游政府合作机制、畅通补充资金融通渠道等政策建议。

关键词:跨省流域横向生态补偿机制;绿色发展效率;绿色创新;产业结构调整
文献标识码:A **文章编号**:1002-2848-2026(01)-0135-14

一、问题提出

中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,推动经济绿色发展是实现高质量发展的关键环节。习近平总书记在2024年1月二十届中央政治局第十一次集体学习时强调,绿色发展是高质量发展的底色,新质生产力本身就是绿色生产力。要牢固树立和践行绿水青山就是金山银山的理念,坚定不移走生态优先、绿色发展之路。实现绿色发展的关键在于提升绿色发展效率。绿色发展效率将资源和环境因素引入传统经济效率测度模型,能够更真实地反映经济发展的绿色发展水平[1]。通过提升绿色发展效率,形成以生态环境保护为核心的经济发展模式,不仅能满足人民日益增长的生态环境需要,还能为实现经济长期高质量发展提供保障,进一步践行绿水青山就是金山银山的发展理念[2]。

流域横向生态补偿机制是中国生态文明建设的重要组成部分,在解决中国环境问题中起到举足轻重的作用[3]。相较于传统的纵向生态补偿机制,流域横向生态补偿机制通过“生态对赌”式的横向转移支付激励与约束机制,将生态环境污染的负外部性与治理的正外部性内部化,在缓解跨区域资源与利益分配不均衡方面更具优势。2021年出台的《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》明确提出要健全横向补偿机制,流域横向生态补偿成为“绿水青山”向“金山银山”转变的重要举措。党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革 推进中国式现代化的决定》进一步强调,要健全横向生态保护补偿机制,建立促进高质量发展转移支付激励约束机制。流域横向生态补偿机制作为践行“绿水青山就是金

基金项目:国家社会科学基金青年项目(25CJY051)。
作者简介:陈旭东,男,天津财经大学财税与公共管理学院教授,博士生导师,研究方向为公共财政与税收;郭权,男,通信作者,天津财经大学财税与公共管理学院硕士研究生,研究方向为绿色财税政策,电子邮箱为guoquan@uibe.edu.cn;鹿洪源,男,天津财经大学财税与公共管理学院讲师,研究方向为绿色财税政策。

山银山”理念的重要财政政策创新[4]，其生态环境效益已经得到广泛认可，但其经济效益的评价却存在较大分歧。主要原因是受偿城市的横向转移支付收入难以完全覆盖其污染治理的现实成本①与限制污染产业发展的机会成本②。因此，受偿城市能否在末端治理污染的同时，通过提升绿色发展效率发展绿色经济，弥补治理成本并实现经济发展，是评价流域横向生态补偿机制是否具有可复制性和受偿城市能否实现长期可持续发展的关键。

目前评估流域横向生态补偿机制效果的文献主要集中于探讨其生态环境效益与经济效益，研究对象从新安江模式这一首例跨省流域横向生态补偿机制逐步延伸至赤水河流域、汀江—韩江流域、东江流域、九洲江流域等更大范围。其中，流域横向生态补偿机制对生态环境的改善作用得到学者们的一致认可。在对多个流域横向生态补偿机制进行效应评估后，研究发现，该机制可增加地方政府环境治理投资、推动地区产业结构升级并提升地区科技创新能力[5-6]，显著降低上游水污染与碳排放总量[7-8]，改善下游地区水质[9]，并且上游受偿地区环境改善的效果相较下游地区更为明显[10]。此外，学者们将各类流域横向生态补偿模式进行了对比分析。夏勇等[11]使用流域交界断面水质数据进行研究，发现双向对赌形式的流域横向生态补偿机制的政策效果优于单向补偿形式的流域横向生态补偿机制和纵向流域生态补偿机制。Xu等[12]则利用差分博弈模型对无生态补偿、上游单向生态补偿、下游单向生态补偿和上下游双向生态补偿四种情景进行对比，同样发现上下游双向生态补偿可以最大程度减少污染物排放，是跨省流域横向生态补偿的最佳方式。

虽然已有文献普遍认可流域横向生态补偿机制的生态环境改善作用，但对其经济效益的评价存在较大分歧。部分学者认为该机制可以促进地区经济发展。景守武等[13-15]分别基于企业微观数据和市县宏观数据进行的实证研究表明，跨省流域横向生态补偿机制可显著提高企业的全要素生产率水平及上游受偿市县的水环境和绿色全要素生产率，进而推动经济增长。卢文秀等[16-17]进一步指出，该机制可实现经济增长惠及更广泛人群，有助于缩小收入差距，促进共同富裕。另一部分学者则认为流域横向生态补偿机制对经济发展有负向影响[18]，原因在于上游受偿城市政府为加大环境治理而牺牲部分经济发展机会，导致工业企业大量退出[19]，而第三产业产值未能弥补第二产业比重下降的机会成本[20]，从而导致地区经济发展水平下降。此外，流域生态补偿机制涉及多主体协同参与，利益相关者参与意愿不足、合作经验缺乏等，也是降低流域生态补偿机制正向经济效应的重要因素[21]。总体而言，尽管已有研究从环境与经济双重视角展开分析，但仍有不足。

基于此，本文选取2006—2021年中国9个跨省流域横向生态补偿机制受偿省份的69个地级市为研究对象，运用交错双重差分模型检验该机制对受偿城市绿色发展效率的影响效果、传导机制及异质性效应，并进一步分析三类补充资金的调节效应。本文可能的边际贡献主要有三点。第一，从绿色发展效率视角出发，切入生态补偿的影响效应研究，从理论和实证两个维度，检验跨省流域横向生态补偿机制促进受偿城市绿色发展效率提升的内在机制，更贴近“绿水青山就是金山银山”的发展理念，弥补现有研究不足。第二，本文通过向各省份人民政府申请信息公开，系统收集截至2019年底所有已签订的跨省流域横向生态补偿机制数据，更好地控制区域特征对实证结果的干扰，综合考察政策效果，得出更具一般性和可推广的结论与建议。第三，在探究跨省流域横向生态补偿机制对受偿城市绿色发展效率影响的基础上，本文进一步使用三重差分模型明晰协议内部补充资金（中央财政补贴）、协议依托补充资金（国际组织贷款）和协议外部补充资金（绿色金融）三类补充资金的调节作用，为完善市场化、多元化的流域横向生态补偿机制与促进地区绿色发展转型提供政策建议。

二、政策背景与理论分析

（一）政策背景

相较于森林和土地等可按管辖权分割的自然资源，流域具有跨行政区、难以分割的特点导致上下游

① 新安江生态补偿前两轮试点中，黄山市累计为新安江生态保护投入资金120.6亿元，但补偿资金仅有35.8亿元，资金压力仍然较大，参见https://czj.huangshan.gov.cn/zxzx/tpxw/8759809.html。

② 从新安江生态补偿试点开始至2018年，黄山市共关停了170多家污染企业，共否定外来投资项目180个，投资总规模达160亿元，参见https://www.ah.gov.cn/public/1681/7983801.html。

地方政府在同一流域的治理理念存在差异，致使流域环境改善成为生态治理的难点。中国政府过去主要依托纵向行政命令解决跨省份水污染问题，但长期效果不佳[13]。2011年，在财政部和原环境保护部的推动下，浙江和安徽签订了新安江流域生态保护补偿协议，尝试通过横向生态补偿机制调节流域上下游政府间的利益关系，实现生态保护外部性的内部化，由此开启中国首个跨省流域横向生态补偿机制。随后，党的十八届三中全会提出“推动地区间建立横向生态补偿制度”；2015年，《关于加快推进生态文明建设的意见》提出“建立地区间横向生态保护补偿机制，引导生态受益地区与保护地区之间、流域上游与下游之间，通过资金补助、产业转移、人才培训、共建园区等方式实施补偿”；2016年，国务院办公厅印发《关于健全生态保护补偿机制的意见》，提出“在长江、黄河等重要河流探索开展横向生态保护补偿试点”；2024年6月实施的《生态保护补偿条例》进一步强调，“国家鼓励、指导、推动生态受益地区与生态保护地区人民政府通过协商等方式建立生态保护补偿机制，开展地区间横向生态保护补偿”“生态补偿机制应坚持激励与约束并重，生态效益与经济效益、社会效益相统一”。截至2024年1月，新安江模式已从最初的新安江流域扩展至全国20个流域（河段）与21个省份①。本文实证分析部分涉及的9个试点流域相关内容如表1所示。

表1　9个跨省流域横向生态补偿机制相关内容统计结果

补偿省份	受偿省份	开始时间	涉及流域	协议名称
浙江	安徽	2012年	新安江流域	《新安江流域水环境补偿试点实施方案》
广东	广西	2015年	九洲江流域	《九洲江流域跨界水环境保护合作协议》
广东	福建	2016年	汀江—韩江流域	《关于汀江—韩江流域上下游横向生态补偿的协议》
广东	江西	2016年	东江流域	《东江流域上下游横向生态补偿协议》
天津	河北	2016年	滦河流域	《关于引滦入津上下游横向生态补偿的协议》
四川、贵州	云南	2018年	赤水河流域	《赤水河流域横向生态保护补偿协议》
北京	河北	2018年	潮白河流域	《密云水库上游潮白河流域水源涵养区横向生态保护补偿协议》
江苏	安徽	2019年	滁河流域	《关于建立长江流域横向生态保护补偿机制的合作协议》
湖南	江西	2019年	渌水流域	《渌水流域横向生态保护补偿协议》

（二）理论分析

1.流域横向生态补偿机制提升绿色发展效率的理论逻辑

基于产权理论和公共物品理论，生态环境具有公共物品属性，容易引发“搭便车”问题与“公地悲剧”，导致相关主体缺乏环境保护的激励。这不仅导致经济发展过程中出现过度开发和排放的问题，使经济发展呈现粗放型发展模式，还会引发市场资源配置扭曲问题，对经济增长产生负面影响[9]。针对这一问题，庇古理论主张借助政府“有形的手”，通过对负外部性行为征税、对正外部性行为补贴，实现外部性的内化，提高资源配置效率并缓解环境污染；科斯定理则强调利用市场“无形的手”，通过明确生态产品产权主体的权责边界并降低交易成本，提高资源配置效率并改善生态环境。流域横向生态补偿机制是在对庇古理论和科斯定理融合创新的基础上，同时引入政府机制与市场机制形成的一项基于环境标准的产权交易[4]。这种产权交易以流域断面水质是否达标为依据，确定经济和生态发展的权利归属，有效解决了生态环境产权界定不清的难题[13]。通过“双向对赌”机制，流域横向生态补偿机制可以对上游受偿城市政府同时产生环境规制和财政激励的双重效应，实现有效市场与有为政府的良性互动：一方面，在水质不达标时，通过经济惩罚将污染的负外部性内化，促使受偿城市政府加大环境保护支出和污染治理强度[5]；另一方面，在水质达标时，通过经济奖励将环境治理的正外部性内化，根据财政激励理论，这不仅能促使受偿城市政府进一步加大环境保护支出，还能提升其在绿色引导基金、绿色基础设施建设等方面的投入[3]。因此，流域横向生态补偿机制能够纠正环境污染的负外部性行为、鼓励生态保护的正外部性行为，提高资源配置效率，进而促进地区绿色发展效率的提升，实现经济与环境的共赢发展。基于以上分析，本文提出如下研究假说：

H1：流域横向生态补偿机制可以促进受偿城市绿色发展效率提升。

2.流域横向生态补偿机制提升绿色发展效率的传导机制

环境经济学将环境污染归因于规模效应、结构效应与技术效应。若想提升绿色发展效率，即在同等

① 参见http://zyhj.mof.gov.cn/gzdt/202401/t20240116_3926029.htm。

产出规模下降低污染排放与能源消耗，就需要提升生产与减排技术并优化生产结构[22]。因此，本文提出绿色创新效应与产业结构效应两条路径，以探究流域横向生态补偿机制提升受偿城市绿色发展效率的传导机制：一方面，该机制可以促进受偿城市绿色创新能力提升[3]，通过绿色创新效应推动效率提高；另一方面，该机制可以调整受偿城市产业结构，降低污染产业占比，增加环保产业比重[6]，通过产业结构效应提升绿色发展效率。

第一，绿色创新效应。新古典环境经济学认为，绿色技术创新具有“环保”和“创新”双重外部性及不确定性，仅靠市场机制难以推动绿色创新供给量达到最优水平。因此，提高绿色创新水平需要有效市场与有为政府共同作用，流域横向生态补偿机制实现了两者的良性互动。一方面，受偿城市的有为政府在激励约束机制下，为实现源头治理目标，会提高辖区内环境规制强度，利用资金激励企业、研究机构与高校进行绿色研发，并强化绿色技术创新的产权保护[15]。另一方面，根据波特假说，合理的环境规制提升了企业污染排放成本，企业为保持在有效市场中的动态竞争优势，会通过绿色创新降低污染排放、提高资源利用与生产效率。同时，上游受偿城市政府的资金激励和知识产权保护不仅有助于降低绿色创新的外部性和不确定性，引导企业资源向绿色创新倾斜[3]，还有助于产生信号传递作用，引导市场资源集聚于绿色创新能力较强的部门，提高绿色研发项目融资能力，最终提升绿色创新水平。

同时，绿色创新水平提升有助于提高绿色发展效率。一方面，绿色创新水平的提升有助于形成绿色生产模式。绿色创新可改进生产设备、工艺和生产技术[23]，减少资源和能源消耗，提高生产效率，促进生产模式绿色化，最终实现绿色发展效率的提升。另一方面，绿色创新水平提升有助于催生新的绿色市场。绿色创新推动企业生产边界拓展，开发新型绿色产品，开拓市场，从而提升绿色发展效率。

第二，产业结构效应。在流域横向生态补偿机制的作用下，有效市场与有为政府的结合同样有助于促进产业结构的绿色化转型升级。一方面，为实现水质改善的共同目标，该机制往往要求上游受偿城市政府强制关停、淘汰或搬迁流域附近的高污染企业，并禁止新的污染企业入驻[20]，从而降低污染产业比重。同时，机制也鼓励受偿政府通过设立绿色基金、融资贴息或政企合作等方式积极引入绿色环保企业，提高受偿城市环保产业比重[6]。另一方面，通过引入绿色清洁企业，可利用其较高的生产效率和较低的污染排放成本为现有市场带来竞争压力，通过成本竞争倒逼现存产业进行绿色转型升级[13]。此外，有效市场还会通过资源重新配置，将劳动力和其他生产要素从生产效率较低的污染产业转移至生产效率较高的绿色产业，实现产业结构的绿色化调整。

与此同时，产业结构调整同样也有助于提升绿色发展效率。一方面，由于限制污染企业准入并积极吸引绿色企业，这种由资源密集型向低能耗、低污染的产业结构调整本身便可以为受偿城市注入新的绿色经济活力[15]，促进绿色发展效率提升。另一方面，通过产业结构调整，可实现产品结构转型，引导人们购买和使用绿色环保产品，推动全社会形成尊重、顺应和保护自然的思想共识和行动自觉，进一步倒逼生产方式变革，最终提升绿色发展效率。

基于以上分析，本文提出如下研究假说：

H2a：流域横向生态补偿机制可以通过绿色创新效应提升受偿城市绿色发展效率。

H2b：流域横向生态补偿机制可以通过产业结构效应提升受偿城市绿色发展效率。

三、研究设计

（一）模型构建

考虑到不同城市开始实施跨省流域横向生态补偿机制的时间点不同，本文参考De Chaisemartin等[24]的方法，构建交错双重差分模型，以识别流域横向生态补偿机制对受偿城市绿色发展效率的因果效应。

$$GDE_{i,t}=\beta_0+\beta_1 DID_{i,t}+\beta_c X_{i,t}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{i,t} \quad (1)$$

其中，$GDE_{i,t}$为城市i在t时期的绿色发展效率水平；$DID_{i,t}$为跨省流域横向生态补偿机制试点变量，若城市i在t时期为跨省流域横向生态补偿机制试点的主要受偿城市，则取值为1，否则取值为0；$X_{i,t}$代表

一系列控制变量；μ_i表示城市i不随时间变化的个体固定效应；δ_t表示t时期不随城市变化的时间固定效应；$\varepsilon_{i,t}$表示随机扰动项。本文主要关注$DID_{i,t}$变量的系数β_1，若β_1显著为正，则说明流域横向生态补偿机制可以显著提升受偿城市的绿色发展效率。

（二）变量设置与说明

1.绿色发展效率

借鉴已有文献的做法，本文使用绿色全要素生产率作为绿色发展效率的代理变量。使用基于松弛变量的数据包络分析模型测算的全局曼奎斯特—卢恩伯格指数（SBM-GML），可以有效解决传统的基于数据包络分析模型测算的曼奎斯特—卢恩伯格指数（DEA-ML）测算过程中存在的估计偏差和未考虑非期望产出等问题。因此，本文使用基于SBM模型的GML指数，对各城市各年份的绿色发展效率进行测算。由于GML指数反映的是$t-1$期到t期的增长率，因此本文设定2006年基期的绿色发展效率为1，并依次与各年度GML指数累乘，最终获得各城市各年份的绿色发展效率（*GDE*）。

根据已有研究与数据可得性，本文设定投入变量为资本投入、劳动投入和能源投入，产出包括期望产出与非期望产出。其中，资本投入以2006年为基期，采用永续盘存法对城市资本存量进行计算，折旧率设定为9.6%；劳动投入使用城市就业总人数衡量；能源投入使用城市折算成标准煤后的能源消耗总量衡量；期望产出使用城市生产总值衡量，并以2006年为基期，采用城市所在省份的国内生产总值（GDP）指数进行平减处理；非期望产出使用城市工业三废（工业废水、工业二氧化硫和工业烟粉尘）排放量衡量。

上述数据除工业废水排放量外，均来源于《中国城市统计年鉴》、中国经济金融研究（CSMAR）数据库与全球统计数据分析平台（EPS），由于《中国城市统计年鉴》中的工业废水排放量于2020年停止更新，因此使用各省市统计年鉴和生态环境统计年报补齐。

2.流域横向生态补偿

在参考卢文秀等[16-17]研究的基础上，本文选取截至2019年底中国签订的所有跨省流域横向生态补偿机制①作为研究对象。其中《酉水流域横向生态保护补偿协议》受偿城市为重庆，由于直辖市的经济发展情况与地级市有较大差异，因此将其剔除，最后共得到新安江、九洲江、汀江—韩江、东江、滦河、赤水河、潮白河、滁河和渌水等9个试点流域。根据试点协议，共涉及安徽、广西、福建、江西、河北、云南等6个受偿省份，共69个地级市。最终，本文选取10个生态补偿机制主要受偿地级市为实验组，考虑到同一省份有相似的经济文化背景，选取受偿地级市所在6个省份的其他59个地级市为对照组。

3.控制变量

在参考柳剑平等[2,23]研究的基础上，本文还控制了以下9个可能影响绿色发展效率的变量：经济发展水平（*Pgd*），使用城市人均实际GDP的对数衡量；第二产业占比（*Psi*），使用城市第二产业增加值占地区生产总值比重衡量；职工平均工资（*Pwa*），使用城市职工平均工资的对数衡量；社会消费水平（*Scl*），使用城市社会消费品零售总额占地区生产总值的比重衡量；人口密度（*Pd*），使用城市单位面积人口的对数衡量；财政自给度（*Fss*），使用城市一般预算内收入占一般预算内支出比重衡量；外商投资水平（*Fdi*），使用城市实际利用外资总额占地区生产总值比重衡量；教育资源水平（*Edu*），使用每万人拥有大、中、小学专任教师数的对数衡量；人力资本水平（*Hum*），使用人均拥有在校大学生数衡量。以上数据均来源于《中国城市统计年鉴》《中国城乡建设统计年鉴》、CSMAR数据库与EPS数据分析平台。

4.传导机制变量

绿色创新效应。绿色技术创新是衡量绿色转型的重要指标，而发明专利的创新性高于实用新型专利

① 由于双重差分模型要求样本至少包含政策后1～2期的数据，因此本文选取截至2019年底中国签订的所有跨省流域横向生态补偿机制（除酉水流域），使用2006—2021年的地级市数据进行实证分析。2020—2021年，中国签订的跨省流域横向生态补偿协议包括长江流域（川渝段）、黄河流域（四川—甘肃段）、黄河流域（豫鲁段）3个流域，受偿地区并不在本文研究样本中，因此不会对本文回归估计造成偏误。

和外观设计专利。因此，本文使用城市绿色发明专利授权数加1后的对数（*Gin*）衡量城市绿色创新效应。城市绿色发明专利授权数的来源为中国研究数据服务平台（CNRDS）数据库。

产业结构效应。考虑到资源开采业选址主要受城市资源禀赋影响，火力发电行业是民生保障的重要行业[25]，本文主要考察制造业产业中的污染行业。通过对比《上市公司环境信息披露指南》《上市公司环保核查行业分类管理名录》和《上市公司行业分类指引》，本文共选取化学原料和化学制品制造业等14个污染行业①，使用城市当年新成立污染行业企业数量占新成立企业总数作为新成立污染企业占比的代理变量（*Ppe*）。此外，由于学界目前对环保行业没有明确划分，无法直接检验受偿城市是否提升了环保产业的数量与比例，因此为间接验证新成立环保企业能否弥补禁止污染企业入驻的机会成本，本文同时检验城市当年新成立企业总数的对数（*Te*），用新成立污染企业占比与新成立企业总数共同衡量产业结构。若城市当年新成立企业总数无显著变化或有所提高，但污染企业占比下降，则说明环保企业在相对量和绝对量上均有所增加，有效弥补了禁止污染企业入驻的机会成本。城市当年新成立企业数据来源为“天眼查”企业信息登记平台，通过手动逐年检索得到各城市的新成立企业总数与新成立污染行业企业数量。

（三）数据处理与描述性统计

本文最终选取2006—2021年中国9个跨省流域横向生态补偿机制中6个受偿省份的69个地级市作为研究对象。借鉴以往文献，对收集数据进行如下处理：为剔除物价变动带来的影响，本文以2006年为基期，采用各城市所在省份的GDP指数对本文中所有以货币衡量的数据进行平减；对少量缺失值使用插值法进行处理；对部分变量进行取对数处理。主要变量的描述性统计结果见表2。

表2 变量描述性统计结果

变量类型	变量符号	观测值数	平均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	*GDE*	1 104	1.339	0.517	0.350	4.431
核心解释变量	*DID*	1 104	0.050	0.217	0	1.000
机制变量	*Gin*	1 104	1.923	1.542	0	6.977
	Ppe	1 104	0.061	0.025	0.006	0.159
	Te	1 104	10.262	0.849	6.457	13.372
控制变量	*Pgd*	1 104	10.069	0.623	8.252	11.462
	Psi	1 104	0.464	0.092	0.219	0.747
	Pwa	1 104	10.403	0.427	9.305	11.250
	Scl	1 104	0.348	0.095	0.001	0.726
	Pd	1 104	0.458	0.814	0.029	5.767
	Fss	1 104	0.444	0.179	0.109	1.151
	Fdi	1 104	0.020	0.018	0.001	0.093
	Edu	1 104	4.522	0.137	3.854	5.228
	Hum	1 104	0.016	0.019	0.001	0.115

四、实证结果与分析

（一）基准回归

为验证流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的作用效果，本文根据式（1）建立模型进行回归分析，结果如表3所示，其中第（1）列仅添加核心解释变量与被解释变量，第（2）～（5）列分别进一步加入控制变量、时间固定效应和个体固定效应。回归结果均至少在5%的水平下显著为正，说明流域横向生态补偿机制确实可以促进受偿城市绿色发展效率提升，在保护生态环境的基础上促进经济发展，实现“绿水青山就是金山银山”的发展理念。究其原因，各受偿城市均在流域横向生态补偿机制的促进下坚持有效市场

① 具体包括化学原料和化学制品制造业，纺织业，皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业，造纸和纸制品业，石油、煤炭及其他燃料加工业，医药制造业，化学纤维制造业，橡胶和塑料制品业，非金属矿物制品业，黑色金属冶炼和压延加工业，有色金属冶炼和压延加工业，农副食品加工业，酒、饮料和精制茶制造业和食品制造业。

和有为政府相结合[①]，以实现绿色发展转型。综上所述，研究假说H1得到证明。

表3　流域横向生态补偿对绿色发展效率的影响估计结果

变量	被解释变量：*GDE*				
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）
DID	0.406***	0.172***	0.170**	0.266***	0.181***
	（0.080）	（0.030）	（0.071）	（0.079）	（0.070）
常数项	1.319***	−3.290***	−0.808	−1.745	2.785
	（0.016）	（0.627）	（0.791）	（1.651）	（1.983）
控制变量	否	是	是	是	是
个体固定效应	否	否	是	否	是
时间固定效应	否	否	否	是	是
观测值数	1 104	1 104	1 104	1 104	1 104
调整后的R^2	0.028	0.238	0.526	0.259	0.559

注：1.（）中为稳健标准误。

2. ***和**分别表示在1%和5%的水平下显著。

3. 控制变量估计结果留存备索。

（二）稳健性检验[②]

1. 平行趋势检验

使用交错双重差分模型的前提是实验组与对照组在受到政策冲击前拥有相同的变化趋势，即满足平行趋势假设。因此，本文使用事件研究法进行平行趋势检验，具体构建如下模型：

$$GDE_{i,t}=\beta_0+\sum_{k=-5}^{k=5}\alpha_k\times D_{i,t+k}+\beta_c X_{i,t}+\mu_i+\delta_t+\varepsilon_{i,t} \tag{2}$$

其中，$D_{i,t+k}$是跨省流域横向生态补偿机制受偿城市的哑变量，k取负数表示实施试点机制前k年，取正数表示实施试点机制后k年。由于机制实施前后时间跨度过长（前13期至后9期），本文参考张海峰等[3]的方法，将检验范围缩小至机制实施前后5期范围内，并以机制实施前1期为基准组。α_k表示机制实施前后实验组与控制组之间的绿色发展效率差异。

平行趋势检验结果显示，试点机制实施前，实验组与对照组之间无显著差异，平行趋势假设成立。

2. 安慰剂检验

通过随机生成跨省流域横向生态补偿机制受偿城市名单，产生错误的估计量，并重复这一过程1 000次，得到1 000次随机估计系数的分布。结果显示，随机结果的系数集中分布在0附近且符合正态分布，同时1 000次随机结果系数均无法达到真实的估计值0.181。这表明未观测地区特征对估计结果影响甚微，验证了回归结果的稳健性。

3. 异质性处理效应检验

由于交错双重差分模型可能存在异质性处理效应问题，使用传统双向固定效应模型（TWFE）进行估计时，可能出现“坏的控制组”和负权重问题，从而导致估计量存在潜在偏误[24]。为此，本文首先参考Goodman-Bacon[26]提出的Bacon分解法，将TWFE估计量拆分为若干个2×2的DID组合，计算每个组合的处理效应和权重。分解结果[③]表明，“坏的控制组”（以较早接受处理组为控制组）的权重仅占1.3%，且平均处理效应的系数与其他两组同向，表明异质性处理效应问题对本文结果影响较小。此外，本文进一步使用Callaway等[27]提出的重新加权估计（CSDID）与Arkhangelsky等[28]提出的合成控制双重差分

① 玉林创新推广“高架网床＋益生菌”生态化、“环保公司＋养殖场（户）”专业化、“收粪合作社＋养殖户”社会化、无害化等“四化处理”模式；黄山成立了新安江绿色发展投资基金，大力引入绿色食品、汽车电子、绿色软包装、新材料等产业；唐山以滦河生态资源为依托，建设以文化体验、滨水度假、户外露营等为一体的滦河水韵旅游产业带等。

② 篇幅限制，部分结果留存备索。

③ 篇幅限制，结果留存备索。

(SDID)进行平均处理效应检验,结果均在10%水平下显著为正,进一步验证了研究结论的稳健性。

4.更换被解释变量测度方法

为剔除绿色发展效率测度方法对回归结果的影响,本文在基准回归SBM-GML法测度的基础上,进一步使用SBM-DDF法、GML-DDF法和EBM-GML法对绿色发展效率重新进行测度,替换原本的被解释变量[①]。结果表明,更换测度方法后流域横向生态补偿机制对受偿城市绿色发展效率的影响仍在5%水平下显著为正,未改变本文结论。

5.排除极端值影响

由于样本中的极端异常值可能会导致估计结果出现偏误,因此本文将基准回归中所有连续型变量分别进行1%缩尾处理,重新进行回归。结果表明,流域横向生态补偿机制对受偿城市绿色发展效率的影响仍为正且在1%的水平下显著,说明剔除极端异常值之后仍未改变研究结论。

6.倾向匹配得分估计

为降低交错双重差分模型可能存在的样本选择偏误所带来的内生性问题,本文进一步通过倾向匹配得分匹配—双重差分法(PSM-DID)进行稳健性检验。本文分别使用1∶1最近邻匹配、1∶3最近邻匹配和核匹配3种方法,使用所有控制变量作为协变量进行匹配,匹配后的回归结果表明,流域横向生态补偿机制的系数均为正且在1%的水平下显著,在降低样本选择偏误后仍未改变本文结论。

7.控制变量滞后一期

为避免控制变量与被解释变量可能存在的双向因果问题,本文将所有控制变量滞后一期,回归结果表明,流域横向生态补偿机制对受偿城市绿色发展效率的影响仍在5%的水平下显著为正,说明在避免控制变量与被解释变量的双向因果问题后,本文结论依旧是稳健的。

8.排除其他并行政策

为排除样本期间内其他重要环境政策对本文估计结果的影响,本文在回归中加入低碳试点城市、新能源示范城市、生态文明先行示范区和碳排放权交易试点4个环境政策的虚拟变量。回归结果表明,在排除其他并行政策后,系数依旧在1%的水平下显著为正,可以证明本文结论的稳健性。

五、传导机制检验与异质性分析

(一)传导机制检验

本文基于前文理论分析阐释流域横向生态补偿机制可以通过绿色创新效应和产业结构效应两条传导机制提升受偿城市绿色发展效率。为避免统计检验的功效不足以及效应估计偏误,借鉴江艇[29]的研究方法,先将式(1)中的被解释变量替换为传导机制变量,实证检验流域横向生态补偿机制对传导机制变量的影响,再使用理论论证传导机制变量对被解释变量绿色发展效率的影响。

表4第(1)列结果显示,流域横向生态补偿机制对城市绿色发明专利授权数对数的回归结果在10%的水平下显著为正,说明该机制能够通过提升环境规制强度和增加绿色创新财政投入,促进受偿城市绿色创新水平提升。结合内生增长理论,绿色创新作为一种强调提高资源利用效率的创新类型,在存量上可以提高生产效率、降低排放强度;在增量上可以开拓新的绿色市场,从而提升绿色发展效率,在改善生态环境的同时实

表4 传导机制检验估计结果

变量	(1)*Gin*	(2)*Ppe*	(3)*Te*
DID	0.173*	−0.004**	0.008
	(0.099)	(0.002)	(0.058)
观测值数	1 104	1 104	1 104
调整后的R^2	0.879	0.778	0.917

注:1.()中为稳健标准误。

2. **和*分别表示在5%和10%的水平下显著。

3.城市和时间固定效应已控制,控制变量估计结果留存备索。

① 篇幅限制,结果留存备索。

现经济的可持续发展。综上所述，研究假说H2a得到证明。

表4第(2)列结果显示，流域横向生态补偿机制对城市新成立污染企业占比的回归系数在5%的水平下显著为负，第(3)列结果显示，对城市新成立企业总数对数的回归结果不显著。这表明，流域横向生态补偿提高了企业入驻的环保门槛，抑制了受偿城市污染企业入驻比例，但并没有降低企业入驻总量，说明环保企业的入驻填补了污染企业未能进入的空白，环保企业实现了总量和比例的双重提升，流域横向生态补偿确实可以促进受偿城市的产业结构调整。与此同时，产业结构绿色化调整不仅有助于减少环境污染和资源消耗，还有助于转变城市的发展模式，提高资源配置效率与生产效率，进而提升绿色发展效率。综上所述，研究假说H2b得到证明。

(二)异质性分析

1.城市群城市异质性

城市群作为大范围空间组织形态，是资本、劳动和技术等生产要素在空间上合理配置的集中体现[2]。城市是否位于城市群中可能导致流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的影响存在差异。本文根据国务院正式批复的11个国家级城市群发展规划，将样本城市划分为“城市群城市组”与“非城市群城市组”两组，分别进行回归。结果如表5第(1)(2)列所示，城市群城市组的回归系数在1%的水平下显著为正，非城市群城市组的回归系数不显著，并通过组间差异检验。原因可能在于：城市群建设突破了行政边界形成的市场分割，降低了城市之间的市场分割程度，位于城市群中的受偿城市更容易通过技术、资本、劳动等生产要素流动实现绿色创新水平的提升和产业结构的绿色化转型；而没有位于城市群中的受偿城市仍保持“单枪匹马”的传统发展模式，难以突破行政边界学习模仿其他城市绿色发展的优势经验，实现绿色发展转型的难度较大。

2.资源型城市异质性

城市原本的发展模式差异可能使流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的影响存在异质性。本文根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》，将样本城市划分为“资源型城市组”与“非资源型城市组”，分别进行回归。结果如表5第(3)(4)列所示，资源型城市组的回归系数在5%的水平下显著为正，非资源型城市组的回归系数不显著，并通过组间差异检验。可能的原因在于：资源型城市原以矿产、森林等资源开采加工为主，绿色发展效率提升空间较大，在流域横向生态补偿机制的激励约束下，更容易推动绿色转型；非资源型城市本身绿色发展效率水平较高，更依赖末端治理而非源头治理实现流域断面的水质改善。

表5　异质性分析估计结果

变量	(1)城市群城市	(2)非城市群城市	(3)资源型城市	(4)非资源型城市
DID	0.284***	−0.011	0.222**	0.011
	(0.098)	(0.090)	(0.089)	(0.110)
观测值数	624	480	279	825
调整后的R^2	0.598	0.518	0.702	0.545
经验P值	0.002***		0***	

注：1.()中为稳健标准误。

2. ***和**分别表示在1%和5%的水平下显著。

3. 城市和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

4. 经验P值采用费舍尔检验，通过bootstrap自抽样1 000次得到。

六、进一步分析——补充资金的调节作用

现有流域横向生态补偿机制仍存在补偿标准不完善、资金难以完全覆盖受偿城市绿色转型成本等问题，使受偿城市绿色发展效率提升受阻。在此背景下，通过充裕持续的补充资金缓解受偿城市绿色转型融资约束，进一步扩大流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的提升效果，是流域横向生态补偿机制得

以有效长期运转的重要保障。通过梳理受偿城市相关宣传新闻，本文将流域横向生态补偿机制补充资金划分为3类：协议内部补充资金（中央财政补贴）、以协议为依托的补充资金（国际组织贷款）以及协议外部补充资金（绿色金融），并通过构建三重差分模型，探讨这3类补充资金对流域横向生态补偿机制提升受偿城市绿色发展效率的调节作用。

（一）中央财政补贴

在中国已实施的流域横向生态补偿机制中，部分项目获得中央财政支持。若流域断面水质达标，受偿城市不仅可获得下游政府提供的横向生态补偿，还可以额外获得中央财政补贴。为检验中央财政补贴这类协议内部补充资金对流域横向生态补偿机制提升绿色发展效率的调节作用，本文构建中央财政补贴虚拟变量（*Cgs*），若流域横向生态补偿机制协议中规定受偿城市可额外获得中央奖励的财政补贴，则*Cgs*取值为1，否则为0。在式（1）中引入*DID*×*Cgs*三重差分交互项进行回归分析。结果如表6第（1）列所示，三重差分交互项系数显著为正，说明中央财政补贴可以放大流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的提升效果。一方面，中央财政补贴增加了受偿城市绿色发展转型的财政奖励，从激励角度扩大流域横向生态补偿机制的作用效果；另一方面，中央财政补贴的介入体现了中央政府的监督作用，从约束角度扩大流域横向生态补偿机制的作用效果。

表6 三类补充资金调节效应估计结果

变量	（1）中央财政补贴	（2）国际组织贷款	（3）绿色金融水平
DID×*Cgs*	0.316* （0.189）		
DID×*Iol*		0.438** （0.172）	
DID×*Gf*			0.807** （0.408）
观测值数	1 104	1 104	1 104
调整后的R^2	0.561	0.564	0.561

注：1.（）中为稳健标准误。

2. **和*分别表示在5%和10%的水平下显著。

3. 城市和时间固定效应已控制，控制变量估计结果留存备索。

（二）国际组织贷款

在中国已实施的流域横向生态补偿机制中，部分受偿城市依托补偿项目向世界银行、亚洲开发银行等国际组织申请贷款资金，以促进城市绿色发展效率的提升。为检验国际组织贷款这类以协议为依托的补充资金对流域横向生态补偿机制的调节作用，本文构建国际组织贷款虚拟变量（*Iol*）。若受偿城市依托跨省流域横向生态补偿机制，以实现城市绿色发展、进行环境综合治理、建立水环境综合管理体系等目标，向世界银行和亚洲开发银行申请了贷款资金，则*Iol*取值为1，否则为0，并在式（1）中引入*DID*×*Iol*三重差分交互项进行回归分析。结果如表6第（2）列所示，三重差分交互项系数显著为正，说明国际组织贷款的补充资金确实可以扩大流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的提升效果。一方面，国际组织贷款提供了受偿城市绿色转型所需的低利率贷款资金；另一方面，该部分贷款资金受到有效监管，确保资金高效、专项地用于提升绿色发展效率，从而扩大流域横向生态补偿机制的作用效果。

（三）绿色金融

根据中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》，要发挥市场机制作用，拓宽市场化融资渠道，鼓励绿色信贷、绿色债券、绿色保险等绿色金融产品参与生态保护补偿。为检验绿色金融这类协议外部补充资金对流域横向生态补偿机制的调节作用，本文参考李素峰等[30]的做法，基于绿色信贷、绿色债券、绿色保险、绿色基金和绿色权益5个指标，使用熵值法测度了绿色金融水平变量（*Gf*），并在式（1）中引入*DID*×*Gf*三重差分交互项进行回归分析。结果如表6第（3）列所示，三重差分交互项系数显著为正，说明绿色金融的补充资金确实可以扩大流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的提升效果。绿色金融在流域横向生态补偿机制中发挥了补充和诱导作用，通过价格调控，引导社会资金向生态修复、生态治理领域倾斜，为受偿城市提供充裕持续的补充资金，从而扩大流域横向生态补偿机制的作用效果。

七、结论与政策建议

随着流域横向生态补偿机制逐渐从“试点”向“推广”发展，亟须探明其在促进生态环境改善的同时，能否有效提升绿色发展效率，从而长期实现“绿水青山就是金山银山”的发展理念。本文基于2006—2021年中国69个地级市的数据，系统考察流域横向生态补偿机制对绿色发展效率的影响效果及其传导机制、异质性效应，并进一步分析三类补充资金对其的调节作用。研究发现：第一，流域横向生态补偿机制显著促进受偿城市绿色发展效率提升，该结论在经过一系列稳健性检验后仍然成立；第二，绿色创新效应和产业结构效应是关键传导渠道，具体体现在流域横向生态补偿机制可以促进受偿城市的绿色创新水平提升，并在抑制污染企业入驻受偿城市的同时吸引环保企业入驻，从而实现污染排放降低和经济发展的共赢；第三，流域横向生态补偿机制的影响效果在不同城市之间存在异质性，在城市群城市与资源型城市中，这种作用效果更为显著，而在非城市群城市与非资源型城市中，这种作用效果不显著；第四，补充资金可以进一步增强机制作用，扩大流域横向生态补偿机制提升受偿城市绿色发展效率的作用效果。基于此，本文提出以下政策启示：

第一，扩大流域横向生态补偿机制覆盖范围。流域横向生态补偿机制拥有可复制性，可以使受偿城市实现环境保护和经济发展共赢的绿色发展目标。因此，遵循“保护责任共担、流域环境共治、生态效益共享”的原则，进一步推动中国各江河湖库建立流域横向生态补偿机制，特别是在长江流域、黄河流域等重点流域实现生态补偿机制全覆盖。由中央政府牵头签订生态补偿标准和绩效考核标准，降低上下游政府之间的“交易费用”，提升资源配置效率。在设定生态补偿标准时，综合考虑上游政府的污染治理成本和上游政府为保护生态环境而丧失的机会成本；同时，明确上游政府的绩效考核任务和未完成考核任务时的惩罚标准，强化激励约束机制，充分保障受偿地生态保护和经济发展的良性循环。

第二，强化上下游政府合作机制。传导机制分析表明，绿色创新效应和产业结构效应是流域横向生态补偿机制促进受偿地绿色发展效率提升的两条关键渠道。在发挥绿色创新效应方面，在协议中明确合作创新任务，推动上下游地区的企业、高等院校和科研机构之间建立产学研合作平台，共同研发适用于治理流域环境污染的绿色创新技术。在发挥产业结构效应方面，在协议中增加产业协作任务，以产业协作机制代替部分资金直接补偿机制，创新生态补偿模式，缓解下游政府财政压力，帮助高污染、高能耗企业转型，吸引环保型、高技术企业集聚。进一步打通流域上下游间的产业链与供应链协作机制，鼓励下游环保企业在扩展业务和进行迁移时，优先选择上游地区，促进流域整体的绿色发展。

第三，畅通补充资金融通渠道。进一步分析表明，补充资金可以扩大流域横向生态补偿机制的作用效果。在协议内部补充资金方面，加强中央对地方财政转移支付在流域横向生态补偿机制中的引导和监督作用，在生态补偿机制开始前三年给予中央纵向转移支付，并以流域生态补偿机制的完善程度与实施效果为标准，明确中央补充资金的逐年退坡机制。在以协议为依托的补充资金方面，财政部、国家发展和改革委员会与生态环境部等相关部门围绕流域生态补偿机制加深合作，帮助上下游政府申请国际组织贷款，并积极争取利费减免。在协议外部补充资金方面，拓展市场化融资渠道，熟练运用绿色信贷、绿色债券、绿色保险等绿色金融工具，通过政府与市场合作机制，引导更多绿色金融产品参与生态补偿。

参考文献：

[1] HAILU A，VEEMAN T S. Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs：an application to the Canadian pulp and paper industry[J]. American Journal of Agricultural Economics，2001，83(3)：605-616.

[2] 柳剑平，胡泊，魏子璇 . 通向绿色之路：国家级城市群建设对城市绿色发展的影响[J]. 产业经济研究，2023，22(4)：27-39.

LIU J P，HU B，WEI Z X. The road to green：the impact of national urban agglomeration construction on urban green development[J]. Industrial Economics Research，2023，22(4)：27-39.

[3] 张海峰，沈坤荣，梁若冰，等 . 生态补偿奖惩机制改革对大气污染治理的优势效应研究[J]. 管理世界，2024，40(6)：114-133.

ZHANG H F, SHEN K R, LIANG R B, et al. Research on the advantage effect of ecological compensation reward and punishment mechanism reform on air pollution control[J]. Journal of Management World, 2024, 40(6): 114-133.

[4] 李坦,徐帆,祁云云.从“共饮一江水”到“共护一江水”:新安江生态补偿下农户就业与收入的变化[J].管理世界,2022,38(11):102-124.
LI T, XU F, QI Y Y. From “drinking one river” to “protecting one river”: the changes of farmers’ employment and income under the ecological compensation in Xin’an river[J]. Journal of Management World, 2022, 38(11): 102-124.

[5] 马军旗,乐章.黄河流域生态补偿的水环境治理效应:基于双重差分方法的检验[J].资源科学,2021,38(11):2277-2288.
MA J Q, YUE Z. Effects of ecological compensation on water environment governance in the Yellow River Basin: a test based on difference-in-difference method[J].Resources Science, 2021, 38(11): 2277-2288.

[6] WAN L, ZHENG Q Q, WU J, et al. How does the ecological compensation mechanism adjust the industrial structure? Evidence from China[J].Journal of Environmental Management, 2022, 301: 113839.

[7] ZENG Q M, BROUWER R, WANG Y R, et al. Measuring the incremental impact of payments for watershed services on water quality in a transboundary river basin in China[J].Ecosystem Services, 2021, 51: 101355.

[8] 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,2024,43(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, 43(3): 377-386.

[9] 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’an river basin horizontal ecological compensation reduce the intensity of water pollution?[J].China Population, Resources and Environment, 2018, 28(10): 152-159.

[10] YU J, XIAN Q, CHENG S L, et al. Horizontal ecological compensation policy and water pollution governance: evidence from cross-border cooperation in China[J].Environmental Impact Assessment Review, 2024, 105: 107367.

[11] 夏勇,张彩云,寇冬雪.跨界流域污染治理政策的效果:关于流域生态补偿政策的环境效益分析[J].南开经济研究,2023,39(4):181-198.
XIA Y, ZHANG C Y, KOU D X. Effects of pollution control policies in transboundary watersheds: analysis of environmental benefits of watershed ecological compensation policy[J].Nankai Economic Studies, 2023, 39(4): 181-198.

[12] XU H, CHEN L X, LI Q F. Research on two-way ecological compensation strategy for transboundary watershed based on differential game[J].Journal of Environmental Management, 2024, 371: 123314.

[13] 景守武,张捷.跨界流域横向生态补偿与企业全要素生产率[J].财经研究,2021,47(5):139-152.
JING S W, ZHANG J. Trans-provincial basin horizontal ecological compensation and enterprise total factor productivity [J].Journal of Finance and Economics, 2021, 47(5): 139-152.

[14] 景守武,张捷.跨省流域横向生态补偿与城市水环境全要素生产率:以浙皖新安江流域为例[J].城市问题,2023,42(1):89-99.
JING S W, ZHANG J. Trans-provincial basin horizontal ecological compensation and total factor productivity of urban water environment: Take the Xin’an river basin in Zhejiang and Anhui province as an example[J].Urban Problems, 2023, 42(1): 89-99.

[15] 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.

[16] 卢文秀,吴方卫.生态补偿横向转移支付能缩小城乡收入差距吗:基于2000—2019年中国典型流域生态补偿的经验证据[J].财政研究,2022,43(7):35-51.
LU W X, WU F W. Can ecological compensation horizontal transfer payments narrow the income gap between urban and rural areas: empirical evidence based on ecological compensation in typical watershed of China from 2000 to 2019

[J].Public Finance Research,2022,43(7):35-51.

[17] 张兵兵,王圆,申广军.流域横向生态保护补偿与共同富裕[J].世界经济,2024,47(4):129-153.
ZHANG B B, WANG Y, SHEN G J. Basin horizontal ecological protection compensation and common prosperity[J]. The Journal of World Economy,2024,47(4):129-153.

[18] LI H L, WEN Z M, WAN Y M, et al. How does the horizontal watershed ecological compensation mechanism effect regional economy:a county level empirical study on Xin'an river basin, China[J]. Ecological Indicators, 2024: 112506.

[19] 刘聪,张宁.新安江流域横向生态补偿的经济效应[J].中国环境科学,2021,41(4):1940-1948.
LIU C, ZHANG N. Study on the economic effects of Xin'an river basin horizontal ecological compensation[J].China Environmental Science,2021,41(4):1940-1948.

[20] 张晖,吴霜,张燕媛,等.流域生态补偿政策对受偿地区经济增长的影响研究:以安徽省黄山市为例[J].长江流域资源与环境,2019,28(12):2848-2856.
ZHANG H, WU S, ZHANG Y Y, et al. Effect of watershed eco-compensation mechanism on economic growth in compensation area: take Huangshan city as an example[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2019,28(12):2848-2856.

[21] 赵晶晶,葛颜祥,李颖."多主体协同"对流域生态补偿运行绩效的影响研究[J].中国土地科学,2022,36(11):95-105.
ZHAO J J, GE Y X, LI Y. Study on the influence of "multi-agent collaboration" on the operation performance of watershed eco-compensation[J].China Land Science,2022,36(11):95-105.

[22] 陈诗一,马倩倩.经济集聚与环境污染:来自国家中心城市建设的经验研究[J].当代经济科学,2023,45(6):1-13.
CHEN S Y, MA Q Q. Economic agglomeration and environmental pollution: evidence from the construction of national central city[J].Modern Economic Science,2023,45(6):1-13.

[23] 王伟龙,王健龙,谢成兴,等."中国制造2025"试点示范城市建设对城市绿色发展效率的影响[J].中国人口·资源与环境,2023,33(9):147-158.
WANG W L, WANG J L, XIE C X, et al. Impact of "Made in China 2025" pilot demonstration city construction on urban green development efficiency[J].China Population, Resources and Environment,2023,33(9):147-158.

[24] DE CHAISEMARTIN C, D'HAULTFOEUILLE X. Two-way fixed effects estimators with heterogeneous treatment effects[J].American Economic Review,2020,110(9):2964-2996.

[25] 徐志伟,欧阳业.社会公众的环境关注与污染密集型企业的区位选择[J].当代经济科学,2022,44(6):112-126.
XU Z W, OUYANG Y. Public environmental concern and pollution-intensive enterprises' location selection[J]. Modern Economic Science,2022,44(6):112-126.

[26] GOODMAN-BACON A. Difference-in-differences with variation in treatment timing[J]. Journal of Econometrics, 2021,225(2):254-277.

[27] CALLAWAY B, SANT' ANNA P H C. Difference-in-differences with multiple time periods[J]. Journal of Econometrics,2021,225(2):200–230.

[28] ARKHANGELSKY D, ATHEY S, HIRSHBERG D A, et al. Synthetic difference in differences[J]. American Economic Review,2021,111(12):4088-4118.

[29] 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济,2022,39(5):100-120.
JIANG T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J].China Industrial Economics,2022,39(5):100-120.

[30] 李素峰,杨蕾,冯鸿雁.绿色金融、环境规制与经济高质量发展:基于京津冀协同发展战略对比分析[J].中央财经大学学报,2024,44(3):3-15.
LI S F, YANG L, FENG H Y. Green finance, environmental regulation and high quality economic development: comparative analysis based on Beijing-Tianjin-Hebei synergistic development strategy[J].Journal of Central University of Finance & Economics,2024,44(3):3-15.

编辑:郑雅妮,王磊

Horizontal Ecological Compensation Mechanism in River Basins and Green Development Efficiency: Evidence from Nine Inter-Provincial River Basins in China

CHEN Xudong, GUO Quan, LU Hongyuan

School of Public Finance and Administration, Tianjin University of Finance and Economics, Tianjin 300222, China

Summary China's economy has transitioned from a stage of rapid growth to one of high-quality development, with promoting green economic development being a key aspect of achieving high-quality development. As an important component of the ecological civilization system, the horizontal ecological compensation mechanism in river basins holds great significance for improving green development efficiency. Currently, while the environmental benefits of the horizontal ecological compensation mechanism in river basins have been widely recognized by scholars, considerable disagreement exists regarding the evaluation of their economic benefits. Whether recipient cities under horizontal ecological compensation mechanism in river basins can compensate for the economic costs of environmental governance by improving green development efficiency and developing a green economy while conducting environmental governance, thereby achieving economic development while protecting the ecological environment, is key to evaluating whether the horizontal ecological compensation mechanism in river basins is replicable and whether recipient cities can achieve long-term sustainable development. However, literature comprehensively examining the policy effects of multiple inter-provincial horizontal ecological compensation mechanism in river basins from the perspective of green development efficiency remains relatively scarce.

This paper takes the prefecture-level cities in nine recipient provinces under China's inter-provincial horizontal ecological compensation mechanism in river basins from 2006 to 2021 as research subjects. Based on measuring urban green development efficiency using the SBM-GML index, we employ a staggered difference-in-differences model to test the impact of the horizontal ecological compensation mechanism in river basins on the green development efficiency of recipient cities. The study found that horizontal ecological compensation mechanisms in river basins significantly improve the green development efficiency of recipient cities. Transmission mechanism tests reveal that horizontal ecological compensation mechanisms in river basins enhance the green development efficiency of recipient cities through green innovation effects and industrial structure effects. Heterogeneity analysis demonstrates that the mechanism's effect is more pronounced in cities located within national-level urban agglomerations and resource-based cities. Further research finds that three types of supplementary funds, namely, central fiscal subsidies within the agreement, international organization loans based on the agreement, and green finance external to the agreement, all amplify the policy effect of horizontal ecological compensation mechanisms in river basins.

Compared with existing research, this paper expands in the following three aspects: First, it approaches the study of ecological compensation's impact effects from the perspective of green development efficiency, examining the internal mechanisms through which horizontal ecological compensation in river basins promotes green development efficiency in recipient cities from both theoretical and empirical dimensions, thereby supplementing existing research. Second, by applying for information disclosure from provincial people's governments, this paper compiles all inter-provincial horizontal ecological compensation mechanisms signed in China by the end of 2019 and comprehensively examines the policy effects of inter-provincial horizontal ecological compensation mechanisms in river basins, thus yielding more generalizable and replicable conclusions and recommendations. Third, building upon exploring the impact of the horizontal ecological compensation mechanisms in river basins on green development efficiency in recipient cities, this paper further employs a triple difference model to clarify the moderating effects of three types of supplementary funds on the mechanism's effectiveness: internal supplementary funds (central fiscal subsidies), agreement-based supplementary funds (international organizations loans), and external supplementary funds (green finance).

The research conclusions of this paper provide an empirical foundation and policy recommendations for establishing and improving market-oriented and diversified inter-provincial horizontal ecological compensation mechanisms in river basins to promote regional green development transformation. During the critical period when China's economy transitions from rapid growth to high-quality development, inter-provincial horizontal ecological compensation mechanisms should be further improved and fully utilized to continuously promote regional green development.

Keywords inter-provincial horizontal ecological compensation mechanism in river basins; green development efficiency; green innovation; industrial structure adjustment