

引用格式:张晖,顾典,吴霜,等.流域生态补偿政策下受偿地区碳减排效应:以新安江流域为例[J].资源科学,2022,44(4):768-779.
[Zhang H, Gu D, Wu S, et al. Effect of emission reduction in the compensated areas under the policy of watershed eco-compensation: A case study of the Xin'an River Basin[J]. Resources Science, 2022, 44(4): 768-779.] DOI: 10.18402/resci.2022.04.10

流域生态补偿政策下受偿地区碳减排效应 ——以新安江流域为例

张晖¹,顾典¹,吴霜²,虞祎³

(1. 南京林业大学经济管理学院,南京 210037;2. 浙江大学公共管理学院,杭州 310058;
3. 南京农业大学经济管理学院,南京 210014)

摘要:作为中国治理生态环境的重要政策工具之一,流域生态补偿政策正逐步探索由单一水环境治理向流域综合环境治理的转变之路。现如今,流域补偿政策能否实现碳减排效应,在碳达峰、碳中和双重挑战中发挥积极作用成为众多学者研究的热点。本文基于2006—2019年地级市面板数据,将新安江流域生态补偿试点视为准自然实验,构建双重差分模型探究流域生态补偿政策对受偿地区碳排放的影响。结果表明:①新安江流域生态补偿政策显著降低黄山市碳排放总量,抑制效应为4.9%;②补偿政策的外溢效应与政策效应的作用方向一致,且该溢出效应随着距离的增加而衰减;③碳减排效应机制分析结果验证“流域生态补偿政策—产业结构转型—推进技术进步—碳排放下降”正向传导机制成立,且该政策并未通过抑制经济增长实现碳减排。最后,从逐步开展流域生态补偿政策、实现补偿模式多元化、警惕污染产业就近转移等三方面提出相关建议。

关键词:流域生态补偿;碳减排;双重差分法;新安江流域;溢出效应;受偿地区

DOI: 10.18402/resci.2022.04.10

1 引言

流域生态补偿政策的实施是中国为解决日益严重的流域水污染问题以及治理过程中行政管理机构条块分割矛盾而提出的以流域为单位、上下游协同开展环境治理活动的制度安排。2012年起,中国先后于新安江、九洲江、汀江—韩江、东江等多处流域开展流域生态补偿试点工作,试图通过建立流域生态补偿的长效机制,保护流域水环境,提高流域绿色发展水平。直至2020年,试点流域利用生态补偿资金实施上游水环境综合整治,区域水环境质量明显改善^[1]。由于生态系统具有整体性,系统内部各种因素及生态系统之间的相互联系,具有功能和结构的依赖性,因此,以治理水污染问题为核心目标的流域生态补偿政策在解决流域水质问题的

同时,也能够改善整个流域的生态系统,发挥显著的生态效益^[2,3]。这就说明,流域生态补偿政策的绩效不仅局限于水环境改善,还包括其余生态系统服务,例如固碳释氧、净化大气环境。

气候变化是诸多学者一直关注的领域。2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和的承诺,使应对气候挑战成为当前中国面临的重大挑战之一。从国际经验来看,协同治理已成为中国环境质量管理必经之路^[4]。而应对气候挑战和生态环境保护在治理目标、治理路径、监管主体等方面具有协同性^[5]。那么,流域生态补偿机制建设已明显改善该流域的水资源环境,它是否也具有显著的碳减排效应呢?目前政策绩效研究大多集中于水环境,流域生态补偿政策实施能否有助于碳减排,这是一个与中国应

收稿日期:2021-07-27;修订日期:2021-10-27

基金项目:国家社会科学基金项目(21BGL167)。

作者简介:张晖,男,江苏兴化人,教授,研究方向为农业资源与环境经济。E-mail: zhanghui@njfu.edu.cn

通讯作者:虞祎,女,安徽合肥人,副教授,研究方向为农业资源与环境经济。E-mail: yuyi@njau.edu.cn

2022年4月

对碳达峰、碳中和挑战密切相关但尚未得到深入研究的重要问题。新安江是安徽省三大水系之一,横跨安徽省和浙江省,是中国首个跨省流域生态补偿机制的试点区域。目前新安江流域已顺利完成3轮试点工作,水环境逐步改善。本文基于2006—2019年新安江流域及周边地级市相关数据,采用准自然实验方法,构建稳健双重差分模型检验流域生态补偿政策的碳减排效应,从而为推广“新安江模式”、发挥流域生态补偿政策的减污降碳协同效应提供科学借鉴。

2 文献综述

生态补偿的相关实践始于国外,美国卡茨基尔河和特拉华河流域的生态补偿实施效果良好,此后大批试点在全球范围展开^[6]。中国流域生态补偿实践开始较晚,且横向补偿大多以政府主导为主,采用双向补偿模式,流域上下游政府在中央政府监督或带头下签订补偿协议,协议规定若上游实施环境保护行动,成功保障下游用水水质,下游须支付上游相应的生态补偿;若上游未能成功提供符合标准的水质,则上游有责任对下游承受的环境损害进行补偿。自2012年新安江流域被确定为中国首个跨省流域生态补偿机制试点区域以来,各级政府不断加大环境保护力度,推进上下游协同共治,初步实现森林、湿地、水流、耕地、空气等重点领域和禁止开发区域、重点生态功能区等重要区域生态补偿全覆盖。试点期间,水质考核达标门槛趋于严格,皖浙两省补偿资金出资由第一轮1亿元提升至第二、三轮的2亿元,补偿资金专项用于新安江流域产业布局优化、流域综合治理、水污染治理和生态保护等方面。

自流域生态补偿政策试点以来,学术界就展开诸多研究,研究重点以确定补偿利益相关者、补偿标准、补偿方式等前期工作为主。①从补偿利益相关者看,沈满洪等^[7]根据“谁开发谁保护、谁污染谁治理、谁破坏谁恢复”原则,认为流域生态补偿主体是指生态补偿责任的承担者,而补偿客体为流域源头生态环境保护 and 建设的贡献者和利益受损者。②从补偿标准看,耿翔燕等^[8]、李长健等^[9]、丁振民等^[10]分别利用成本投入法、支付意愿法、生态效益法

计算相应流域补偿标准;王西琴等^[11]依据流域生态治理阶段,提出从试行阶段、修复阶段、稳定阶段3阶段设计补偿标准。③从补偿方式看,谢婧等^[12]和包晓斌^[13]认为流域生态补偿方式涉及资金、实物、项目、技术等方面的补偿,其中资金补偿是主要方式。也有部分学者对流域补偿政策实施效果进行评价,发现横向流域生态补偿政策显著提升上游环境保护动机,双向补偿机制的设计使地方政府“偷懒”的道德风险降低,从而降低水污染程度,改善流域生态环境。例如,娜仁等^[14]和张晖等^[15]基于新安江流域试点案例,发现多样化的生态补偿通过增加受偿区劳动就业和促进受偿区产业结构优化升级实现减贫效应,甚至助推上游长期经济发展。此外,学者还通过构建指标体系对流域生态补偿的综合效益进行评价。彭玉婷^[16]构建多层次指标体系,从生态、社会、经济3种角度全面评价水源地生态补偿综合效益,研究表明补偿政策的生态效益最为显著,社会效益、经济效益次之。

综上所述,前人相关研究成果丰富,对流域生态补偿长效机制构建至关重要,但仍有不足之处:①流域生态补偿政策评估研究大多集中于经济与水质方面,有关补偿政策实施后的治污减排协同效应研究较少;②有关政策评估大多采用传统双重差分法,并未考虑处理组和对照组之间的溢出效应。因此,研究流域生态补偿政策下受偿地区的碳减排效应,并进一步考虑处理组和对照组之间的溢出效应十分必要。

3 研究区域与方法

3.1 研究区域

根据最新一轮新安江流域补偿协议规定,受偿范围包括黄山市全境与宣城市绩溪县。由于数据统计口径的差异,未将宣城市绩溪县纳入实验组,即本文实验组为黄山市全境。

双重差分法要求实验组与对照组在政策实施之前的差异尽可能小,如果对照组与实验组为邻近地区,那么基于相近的地理位置和相似的市场潜能等社会经济环境,两者之间的差异往往符合双重差分模型的需求。因此,借鉴景守武等^[17]的做法,选取与实验组相邻和相隔的城市作为对照组,并考虑到

地理邻接的城市与实验组在自然资源、地理环境、气候条件等方面的相似性,按照是否与实验组接壤进一步划分对照组:①选择黄山市相邻的皖浙两省地级市作为基本对照组1,范围包括:池州、宣城、杭州、衢州;②选择黄山市相邻或相隔的皖浙两省地级市作为对照组2,范围包括:铜陵、芜湖、马鞍山、安庆、池州、宣城、杭州、绍兴、金华、丽水、衢州、湖州和嘉兴;③选择黄山市相隔的皖浙两省地级市作为对照组3,范围包括:铜陵、芜湖、马鞍山、安庆、绍兴、金华、丽水、湖州和嘉兴(图1)。

3.2 变量选取

(1)被解释变量:碳排放,以地级市CO₂排放总量的对数表示。中国CO₂排放主要来源于化石能源的燃烧,因此众多学者根据化石能源的消耗量计算CO₂排放量^[18,19]。利用2006年IPCC提供的方法估算新安江流域地级市CO₂排放量,具体公式如下:

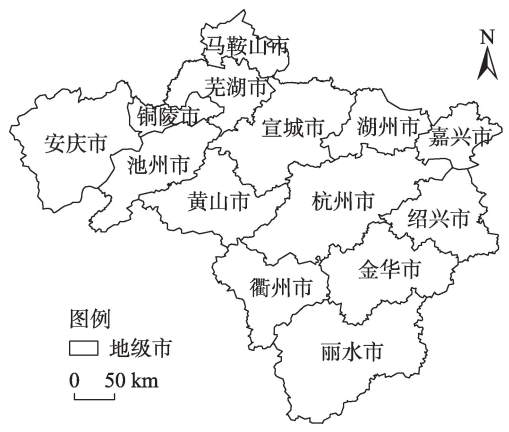


图1 新安江流域地级市分布图
Figure 1 Distribution of prefecture-level cities in the Xin'an River Basin

$$CE = \frac{44}{12} \times \sum AD_s \times NCV_s \times EF_s \times O_s \quad (1)$$

式中:CE表示各地级市化石能源燃烧排放的CO₂;AD_s、NCV_s、EF_s和O_s分别表示第s类化石燃料的消费量、平均低位热值、单位热值含碳量以及碳氧化率。

(2)解释变量:政策实施。引入地区虚拟变量(*Treated*)检验流域生态补偿政策实施区域与未实施区域碳排放的变化差异,引入时间虚拟变量(*Time*)检验政策实施前后实验组与对照组碳排放的变化,变量具体设置如公式:

$$Treated = \begin{cases} 0 & \text{城市实施生态补偿政策} \\ 1 & \text{城市未实施生态补偿政策} \end{cases} \quad (2)$$

式中:当*Treated*=1时,表示实验组黄山市;当*Treated*=0时,表示对照组。

$$Time = \begin{cases} 0 & t < 2012, \text{实施生态补偿政策之前} \\ 1 & t \geq 2012, \text{实施生态补偿政策之后} \end{cases} \quad (3)$$

式中:当*Time*=1时,表示时间处于签订横向流域生态补偿政策当年及以后;当*Time*=0时,表示补偿政策实施之前。流域生态补偿政策用“试点(*Treated*)”和“政策实施时间(*Time*)”交互项表示,即仅黄山市在2012年流域生态补偿政策实施后取1,其余情况均取0。

(3)控制变量:众多学者关于碳减排效应的研究表明,经济发展水平、城镇化率以及森林覆盖率等控制因素均会影响CO₂排放量^[20-22]。本文结合实际情况选取如下控制变量:经济发展水平、技术进步、产业结构、城镇化率、能源消费强度、人口因素和交通因素。变量定义如表1所示。

表1 模型变量定义表
Table 1 Model variable definition

变量分类	变量名称	变量符号	变量定义
被解释变量	碳排放	lnCE	CO ₂ 排放总量的对数
解释变量	政策实施	<i>Treated</i> × <i>Time</i>	地区与时间虚拟变量的交互项
控制变量	经济增长	PGDP	人均实际GDP的对数
	产业结构	INS	第三产业增加值/第二产业增加值
	技术进步	TEC	索罗余值法计算
	城镇化率	CZH	城镇人口/常住人口
	能源强度	NY	能源消费总量/GDP
	人口因素	POP	年末人口数量的对数
	交通因素	TRA	人均民用汽车拥有量的对数

2022年4月

其中,技术进步采用索罗余值法衡量。令 Y 为产出、 A 为技术进步、 K 为资本投入、 L 为劳动力投入,根据科布道格拉斯生产函数 $Q=AK^aL^b$,对等式两边同取对数: $\ln Q=\ln A+a\ln K+b\ln L$ 。其中, a 为资本弹性系数, b 为劳动力弹性系数。产出变量选用新安江流域各地级市GDP衡量,并基于GDP指数将名义GDP换算成以2005年为基期的不变价GDP。资本要素和劳动力要素分别采用历年资本存量和全社会就业人数衡量。借鉴单豪杰^[23]有关资本存量的估算方法和固定资产折旧率的选取,以2005年为基期,采用永续盘存法测算地级市资本存量,相关数据来源于wind数据库。

选取2006—2019年新安江流域周边14个地级市为研究对象,相关数据来源于《安徽省统计年鉴》《浙江省统计年鉴》和部分地级市统计年鉴。

3.3 模型设计

3.3.1 基本模型

政策效应主要基于层次分析法、模糊隶属度函数方法及线性加权等方法,搭建指标体系进行评估^[24-26],众所周知,通过指标体系评估的政策效果往往具有一定的主观性。随后学者逐步使用双重差分法^[27,28]、合成控制法^[29]、动态面板模型^[30]等模型替代搭建指标体系。由此选用双重差分法探究补偿政策实施对受偿地区碳减排效应的影响,基本模型设定如下:

$$\ln CE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Treated \times Time + \beta_2 Treated + \beta_3 Time + \alpha X_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (4)$$

式中:下标 i 表示城市, t 表示年份; $X_{i,t}$ 为控制变量向量; β_0 为常数项; β_1 为政策实施效果; β_2 为地区效应系数; β_3 为时间效应系数; α 为控制变量系数向量; $\varepsilon_{i,t}$ 为扰动项。

3.3.2 溢出稳健双重差分模型

传统双重差分法要求样本满足SUTVA(Stable Unit Treatment Value Assumption)假设,即某个个体受政策影响的程度不会影响其余个体的结果。但现实往往难以满足,原因有二:①政策实施具有外部性,黄山市为保护流域水质,主动提升环境准入门槛,推动清洁技术与环保产业发展,并通过知识溢出效应、优化要素流动格局等改善区域资源配置方

式,推动周边产业实现绿色转型,进而影响区域碳排放量;②个体的策略性迁移决策,黄山市污染企业为避免急剧提升的处罚风险,主动搬迁至环境风险较低的周边城市,从而在实验组与对照组之间发生溢出效应,进而政策处理效果可能蔓延到邻近的对照组。考虑到这一问题,根据Clarke的研究^[31],引进邻近处理组,放松SUTVA假设,从而较为准确地估计溢出效应下的政策处理效应和“邻近”处理效应。邻近处理组设定如下:

$$Close_{i,t} = Close_{i,t}^1 + Close_{i,t}^2 + \dots + Close_{i,t}^k \quad (5)$$

对于 $\forall k \in (1, 2, 3, \dots, k)$,有:

$$Close_{i,t}^k = \begin{cases} 1 & \text{当}(k-1) \times h \leq D_i \leq k \times h \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中: D_i 为基于对照组 i 城市与黄山市的经纬度坐标计算得出的地理距离,其中经纬度坐标来自百度地图API数据; h 为带宽类型参数,它将连续距离变量 D_i 划分为 k 组。

模型设定如下:

$$\ln CE_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Treated \times Time + \beta_2 Treated + \beta_3 Time + \gamma Close_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

式中: $Close_{i,t}$ 为邻近处理组; γ 表示补偿政策对邻近处理组的实施效果。

3.3.3 平行趋势检验

根据事件研究法^[32],选取流域生态补偿试点实施前后5年进行共同趋势检验。模型设定如下:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \sum_{k=-5, k \neq -1}^5 \delta_k D_{i,t}^k + u_i + u_t + \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

式中: $D_{i,t}^k$ 表示新安江流域生态补偿试点这一事件的虚拟变量; δ_k 表示虚拟变量的回归系数; u_i 和 u_t 分别表示个体效应和时间效应。其中, $D_{i,t}^k$ 赋值方式为:令 $k=t-2012$,当 $k=-5$ 时, $D_{i,t}^{-5}=1$,否则为0;以此类推,当 $k=-4, -3, \dots, 5$ 时,相应的 $D_{i,t}^k=1$,否则为0。回归模型以流域生态补偿试点前一年即 $k=-1$ 为基期,因此回归不显示2011年回归系数^[33,34]。

3.3.4 作用机制检验模型

为进一步探究流域生态补偿试点政策影响受偿地区碳减排的机制,本文从经济增长、产业结构和技术进步3种路径分析补偿政策碳减排效应的影

响机制。具体模型如下:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 Treated \times Time + \alpha X_{i,t} + u_i + u_t + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

式中: $Y_{i,t}$ 分别表示 $PGDP$ 、 INS 和 TEC 。经济增长模型中, $Y_{i,t}$ 用 $PGDP$ 衡量, $X_{i,t}$ 包括 INS 、 CZH 和 POP 变量向量; 产业结构模型中, $Y_{i,t}$ 用 INS 衡量, $X_{i,t}$ 包括 TEC 、 CZH 和 POP 变量; 技术进步模型中, $Y_{i,t}$ 用 TEC 衡量, $X_{i,t}$ 包括 $PGDP$ 和资本存量变量。

4 结果与分析

4.1 碳排放演化时空格局分析

新安江流域各地级市的碳排放情况差异明显(图2)。以2019年为例,全流域呈现北高南低、东高西低的地区特征。具体而言,杭州市位于第一梯队,嘉兴、绍兴和金华位于第二梯队。尽管杭州为非工业城市,但受经济总量、城镇化水平和人口因素影响,以及近几年新增建筑、数据中心、交通等耗能,碳排放量始终维持在较高水平。嘉兴、绍兴和金华均位于杭州市及上海市周边,原有工业基础较好,2009年长三角一体化战略以来,杭州、上海等城市加强产业结构调整力度,部分污染产业逐步向绍兴、嘉兴和金华等近距离城市转移。其中,嘉兴市大力发展以纺织业为代表的传统工业,逐步成为皮革制品产业、纺织业和服装业等多个污染产业聚集地。由于环保技术的落后以及环保意识的淡薄,传统污染产业聚集地能耗高、污染重的隐患最终导致嘉兴市环境质量的显著下降以及碳排放量的大幅增加。第三梯队包括芜湖、安庆和湖州。芜湖作为传统工业城市,玻璃、水泥产量常年位于安徽省前位,工业增加值仅次于省会合肥,近年来大力支持

汽车及零部件、材料、电子电器和电线电缆产业;安庆石油化工、纺织服装和机械装备产业较为发达,2019年化工产值占全市工业总产值过半,纱产量位于安徽省首位;湖州与嘉兴地理位置相似,位于杭州及上海周边,2019年湖州市第二产业比重过半,第三产业与第二产业的比值为0.87,明显低于新安江流域平均值1.17,2009—2018年污染产业比重由5.56%提升至7.69%,原有环境治理力度难以匹配飞速增长的工业经济,导致现有碳排放持续上升的局面。其余城市位于第四和第五梯队。

根据不同年份新安江流域碳排放的分布情况(图3a),2006—2019年大部分地级市碳排放等级提升一个等级。2012年前后新安江流域整体碳排放趋势改变显著,2006—2012年新安江流域碳排放逐年上升,过半城市碳排放等级明显提升,2012—2019年流域碳排放总量呈波动趋势,2019年流域碳排放情况较2012年无明显差异。其中,黄山市2006—2019年碳排放始终位于较低水平(图3b)。2006—2012年黄山市碳排放处于稳步上升阶段,此时黄山市以追求经济发展为先,降污减排意识淡薄。随着2012年流域生态补偿机制的正式启动,黄山市作为新安江流域上游,肩负保护流域水资源、恢复流域生态环境等重大责任,为此,黄山市组合环境规制、林长制等多种治理手段,影响污染企业选址决策,进一步发挥森林固碳功能,全面提升绿色发展水平,因此2012—2019年全市碳排放成波动下降趋势。

4.2 双重差分模型基本结果分析

采用双重差分法探究流域生态补偿政策对受

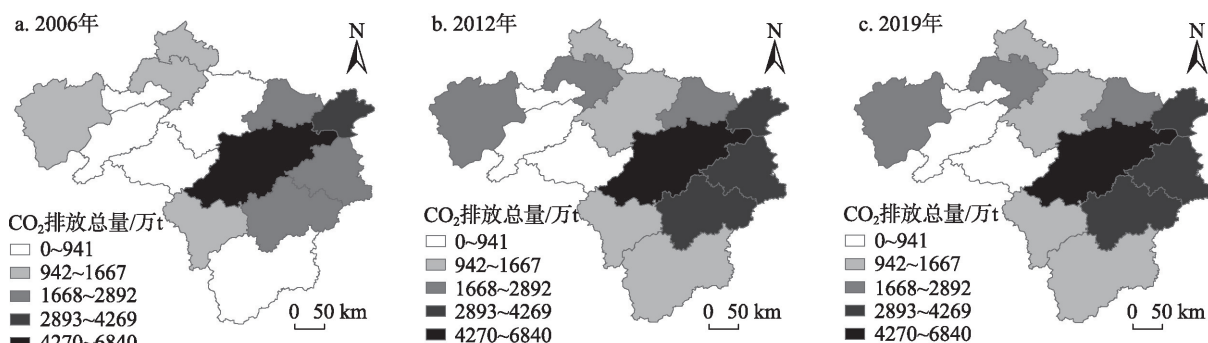


图2 2006、2012和2019年新安江流域CO₂排放总量分布

Figure 2 Change of total carbon dioxide emissions in the Xin'an River Basin, 2006, 2012, and 2019

2022年4月

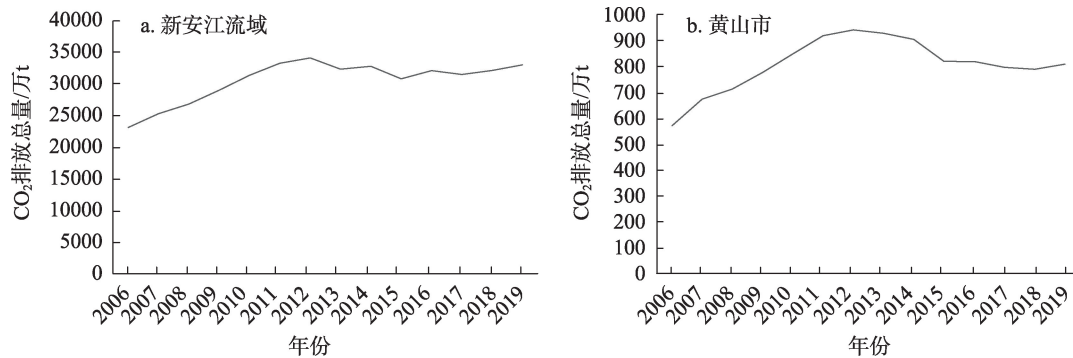
图3 2006—2019年新安江流域和黄山市CO₂排放变化

Figure 3 Change of carbon dioxide emissions in the Xin'an River Basin and Huangshan City, 2006-2019

偿地区碳减排的影响(表2)。模型1和模型2均未考虑控制变量,结果显示,政策系数显著为负,即新安江流域生态补偿政策显著推动实验组碳排放的下降。模型3和模型4在此基础上加入控制变量,交互项系数为-0.049,说明相较于对照组,实验组碳排放显著下降4.9%,即补偿政策显著促进了碳减排。可能的原因有:黄山市政府采取了一系列强制性措施减少当地碳排放,例如实施开发区发展工程、建设安装或改造升级减排设备、推进低碳园区、建设近零碳排放景区,同时积极运用技术支持、产业转移、共建园区等多种补偿方式,大力推广“田园徽州”“黄山好水”等生态产品品牌,培育壮大绿色产业集群。

4.3 流域生态补偿政策的溢出效应检验

根据前文分析,横向流域生态补偿政策显著降低实验组单位碳排放量。但传统的双重差分模型仅能探究独立个体下补偿政策对碳排放强度的影

响,对存在溢出效应的政策处理效应则难以估计。因此,采用溢出稳健—双重差分法进一步分析,回归结果见表3。其中, $Close[50, 100]$ 表示距离处理组黄山市50~100 km的对照组,包括铜陵、池州和宣城, $Close(100, 150]$ 表示距离处理组黄山市100~150 km(不含100 km)的对照组,包括马鞍山和安庆,可见最优带宽 h 为50 km。表3中, $Treated \times Time$ 、 $Close[50, 100]$ 、 $Close(100, 150]$ 三者的系数均为负,表明外溢效应与政策效应的方向相同,且在统计上显著,这表明流域生态补偿政策对受偿地区碳排放的抑制作用外溢到周边城市,外溢范围包括铜陵、池州、宣城、马鞍山和安庆。流域补偿政策所带来的资金、产业、技术等多元化补偿调整了受偿地区产业结构、技术水平与能源消费强度,并通过知识溢出效应、产业波及效应改变区域资源配置方式,推动区域技术进步,调整区域产业结构,进而产生显著的外溢效应。此外, $Close[50, 100]$ 系数的绝对

表2 基本回归结果

Table 2 Regression results

变量	模型1	模型2	模型3	模型4
$Treated \times Time$	-0.744*** [-13.51]	-0.038** [-1.71]	-0.039** [-2.50]	-0.049** [-2.36]
常数项	7.488*** [151.27]	7.459*** [2018.12]	-3.161*** [-6.52]	7.796*** [6.86]
控制变量	No	No	Yes	Yes
时间效应		控制		控制
地区效应		控制		控制
R^2	0.04	0.99	0.93	0.99
N	196	196	196	196

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平上显著,括号中数字为 t 值,下同。

表3 溢出效应下流域补偿政策对碳排放的影响

Table 3 Impact of the watershed eco-compensation policy on carbon emissions with spillover effect

变量	系数	T值	P值
<i>Treated</i> × <i>Time</i>	-0.062***	-3.58	0.003
<i>Time</i>	0.055**	2.62	0.021
<i>Close</i> [50, 100]	-0.026***	-3.25	0.000
<i>Close</i> (100, 150]	-0.010***	-1.37	0.006
常数项	7.360***	4.54	0.000
控制变量		No	
地区效应		控制	
时间效应		控制	
<i>R</i> ²		0.99	
<i>N</i>		196	

值明显大于 *Close*(100, 150] 系数的绝对值,可见负向溢出效应随着距离的增加而衰减,原因在于知识溢出效应具有本土化特征^[35],从而使“学习效应”随距离增加而减弱,进而带来溢出效应的减弱。因此,距离黄山 100 km 以内的铜陵、池州和宣城,外溢效应明显高于外围城市马鞍山和安庆;而皖浙两省社会经济发展、技术水平差距较大,与黄山接壤的杭州本身对流动性要素的吸引力较强,产业波及效应和技术溢出效应不明显,流域补偿政策对碳排放抑制作用难以外溢至浙江省内。

4.4 稳健性检验

为检验上述研究结果的可靠性,进行稳健性检验,具体方法为平衡趋势检验、安慰剂检验和改变对照组,以此规避实验组与对照组样本选择偏差的风险。

(1) 平行趋势检验

运用双重差分法进行政策评估的前提之一是实验组与对照组的被解释变量在政策实施前满足平行趋势检验,否则双重差分法估出的结果是有偏的。具体而言,黄山市的碳排放与其余对照组的排放量在补偿政策实施前无显著差异,或者即使存在差异,但上述差异并不会随时间推移而发生显著变化,满足上述条件即可视黄山市与其余对照组满足平衡趋势检验,此时双重差分法评估的结果是无偏的,补偿政策的评估结果才有意义。首先,由图4可知,流域生态补偿政策实施之前,图4实验组与对照组碳排放变化趋势高度相似,尽管实验组与对照组

之间存在明显差异,但上述差异在 2006—2011 年期间并未发生显著变化。其次,选取流域生态补偿试点实施前后 5 年进行共同趋势检验,结果如图 5。由图 5 可以看出,2012 年之前的回归系数均不显著,再次验证实验组与对照组满足平行趋势检验;在 2012 年之后,回归系数总体持续下降,表明新安江流域生态补偿政策对受偿地区碳减排效应具有显著负向影响。因此,本文可以采用双重差分法对流域生态补偿政策的碳减排效应进行评估。

(2) 安慰剂检验

为进一步验证实证结果的稳健性,虚构政策时间进行反事实检验。除流域生态补偿政策影响外,其他政策变革或者随机性因素极有可能影响被解释变量的变动,而这种与补偿政策实施没有关联的

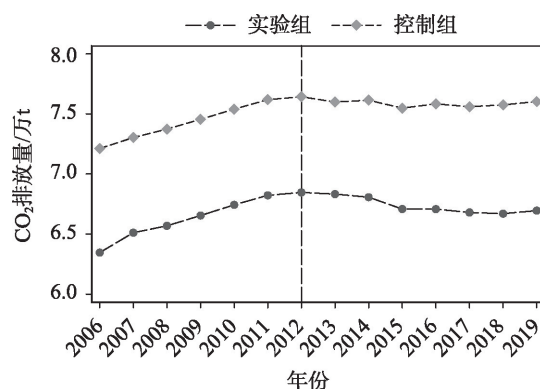
图4 2006—2019年实验组与对照组CO₂排放变化趋势

Figure 4 Trend of carbon dioxide emissions in experimental group and control group, 2006-2019

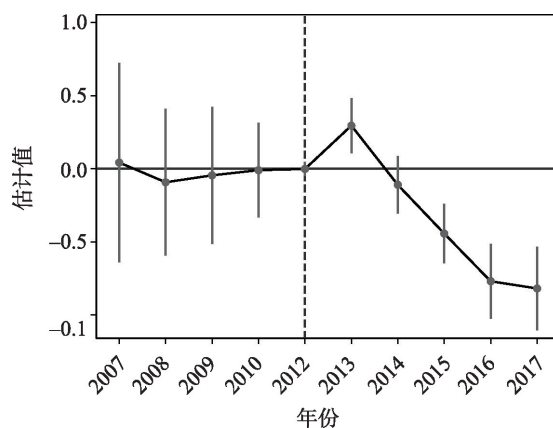


图5 流域生态补偿前后5年碳排放平行趋势检验

Figure 5 Parallel trend test of carbon dioxide emissions between five years before and after watershed eco-compensation

变动很可能导致前文的研究结论不成立。为排除上述风险,在未实施流域生态补偿政策的2006—2011年样本区间内,假设流域生态补偿政策实施时间提前至2009年或2010年,若此时实证结果显著为负,表明前文的估计结果出现偏误,碳排放量的下降与补偿政策无关,而是受其他政策或随机因素的影响。表4的回归结果显示,在10%的置信水平下,交互项系数均不显著,即实验组与对照组在政策实施前满足平行趋势。因此,前文的实证结果是稳健的。

(3)改变对照组的效果对比

实证部分采用了对照组2的结果,为检验结果的稳健性,选取对照组1和对照组3再次回归(表5)。结果表明,无论是对照组1还是对照组3,回归结果政策系数均显著小于0,即补偿政策显著降低了实验组碳排放,进一步证明基本回归结果具有稳

健性。

5 讨论

根据前文研究,新安江流域生态补偿政策对受偿地区——安徽省黄山市的碳排放具有显著的抑制作用,本文将进一步讨论抑制作用的来源(表6)。

由经济增长模型可知,流域生态补偿政策的实施对受偿地区经济增长存在显著的正向作用。流域生态补偿政策已成为黄山市经济发展的新驱动,并有效提升城市产出水平。尽管黄山市为整治环境污染,转变“先污染,后治理”传统发展观念,拔高环境准入门槛,使部分污染密集型企业被迫整改关停;但皖浙两省通过资金、产业、人才等多种补偿方式,成功弥补了黄山市为保护生态环境而在经济发展上作出的巨大牺牲。由产业结构模型可知,流域生态补偿政策有效将黄山市产业结构提升11%,说明补偿政策实施后,黄山市第三产业增加值与第二

表4 安慰剂检验的估计结果
Table 4 Estimated results of the placebo test

变量	模型1	模型2	模型3	模型4
<i>Treated</i> × <i>Time</i>	0.023 [1.03]	-0.010 [-0.42]	0.019 [0.96]	-0.016 [-0.67]
常数项	7.359*** [1422.49]	5.292*** [4.57]	7.359*** [1422.35]	5.310*** [4.56]
控制变量	No	Yes	No	Yes
时间效应	控制	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.99	0.99	0.99	0.99
<i>N</i>	84	84	84	84

表5 改变对照组回归结果
Table 5 Regression results of the modified control group

变量	模型1	模型2	模型3	模型4
<i>Treated</i> × <i>Time</i>	-0.042* [-1.82]	-0.032** [-1.26]	-0.036** [-1.55]	-0.049** [-2.07]
常数项	7.277*** [1191.69]	4.306*** [4.99]	7.474*** [1746.17]	9.907*** [7.27]
控制变量	No	Yes	No	Yes
时间效应	控制	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.99	0.99	0.99	0.99
<i>N</i>	70	70	140	140

表6 流域生态补偿政策碳减排效应的机制分析

Table 6 Mechanism analysis of carbon emission reduction effect of the watershed eco-compensation policy

变量	经济增长	产业结构	技术进步
<i>Treated</i> × <i>Time</i>	0.060** [2.43]	0.110** [1.72]	0.110** [1.78]
控制变量	Yes	Yes	Yes
时间效应	控制	控制	控制
地区效应	控制	控制	控制
<i>R</i> ²	0.97	0.91	0.53
<i>N</i>	196	196	196

产业增加值的比值逐步增加。第二产业由于化石能源能耗大,往往成为碳排放的重要来源,因此,第二产业占比越重的地区碳排放越高^[36]。流域生态补偿政策通过调整产业结构,降低第二产业占比,进而实现碳减排目标。由技术进步模型可知,补偿政策显著提升黄山市技术水平,提升作用为11%,说明更多的企业选择加大碳减排投资,从而满足新出台的环境规制标准,上下游的补偿协议也使污染处理设施得以改造升级,进而实现碳排放的下降。

一方面,流域生态补偿政策所带来的皖浙两省资金、产业、技术等多方面补偿促进了受偿地区经济发展,即补偿政策并未通过抑制经济增长实现碳排放的下降;另一方面,多元化的补偿方式会改变黄山市产业结构高级化和绿色经济发展的相关布局,逐步淘汰粗放式发展模式下的高污染高排放企业,企业为满足环境规制要求,加大碳排放治理投资,实现技术进步,进而降低受偿地区碳排放,并通过溢出效应发挥政策对周边城市碳减排的积极作用。综上所述,新安江流域生态补偿政策主要通过产业结构效应、技术进步效应促进碳减排,但与预期相反,该政策并未通过抑制经济增长实现碳减排,即流域生态补偿政策实现了碳减排与经济增长的双赢。

6 结论与政策启示

6.1 结论

本文基于2006—2019年新安江流域地级市面板数据,采用准自然实验方法,构建双重差分模型探究横向生态补偿政策是否有效减少受偿区碳排放,发挥出治污减排的协同效应。基本结论如下:

(1)新安江流域生态补偿政策可以有效将黄山市碳排放总量减少4.9%。

(2)补偿政策的外溢效应与政策效应的方向相同,外溢范围包括铜陵、池州、宣城、马鞍山和安庆,且该溢出效应随地理距离的增大而呈减小趋势。

(3)补偿政策主要通过高级化产业结构、推进技术进步降低碳排放量,但实现碳减排的同时并未抑制经济增长。

6.2 政策启示

根据新安江流域生态补偿政策实施经验得出以下启示:

(1)逐步开展因地制宜的流域补偿政策,有助于降低受偿区碳排放,提高能源使用效率,早日实现碳达峰、碳中和目标。

(2)政府在推深做实流域生态补偿机制改革的同时,可以市场化、多元化补偿方式,加强流域上下游之间产业、技术、人才等多方合作,充分发挥产业转移、技术补偿、人才交流和项目补偿等补偿方式的激励作用。

(3)尽管补偿政策的外溢效应与政策效应的方向相同,实施流域补偿政策的周边地区仍需及时关注补偿地区污染企业的相关动向,警惕污染企业转入的风险。针对部分跨市的污染企业集中区,可以设立跨市污染企业联防联控制度,明确区分主体共同但内容有异的责任体系,建立跨市环境监管联动机制。

参考文献(References):

- [1] 孙宏亮, 巨文慧, 杨文杰, 等. 中国跨省界流域生态补偿实践进展与思考[J]. 中国环境管理, 2020, 12(4): 83-88. [Sun H L, Ju W H, Yang W J, et al. Progress and consideration on the practice of ecological compensation for trans-provincial basins in China[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020, 12(4): 83-88.]
- [2] 李彩红, 葛颜祥. 流域双向生态补偿综合效益评估研究: 以山东省小清河流域为例[J]. 山东社会科学, 2019, (12): 85-90. [Li C H, Ge Y X. Study on the comprehensive benefit of ecological compensation in Xiaqing River Basin of Shandong Province[J]. Shandong Social Sciences, 2019, (12): 85-90.]
- [3] 耿翔燕, 葛颜祥, 王爱敏. 水源地生态补偿综合效益评价研究: 以山东省云蒙湖为例[J]. 农业经济问题, 2017, 38(4): 93-101.

2022年4月

- [Geng X Y, Ge Y X, Wang A M. Study on comprehensive benefit evaluation of ecological compensation in water source area: A case study of Yunmeng Lake in Shandong Province[J]. Issues in Agricultural Economy, 2017, 38(4): 93-101.]
- [4] 董战峰, 周佳, 毕粉粉, 等. 应对气候变化与生态环境保护协同政策研究[J]. 中国环境管理, 2021, 13(1): 25-34. [Dong Z F, Zhou J, Bi F F, et al. Research on synergism policy of climate change and ecological environment protection[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2021, 13(1): 25-34.]
- [5] 王灿, 邓红梅, 郭凯迪, 等. 温室气体和空气污染物协同治理研究展望[J]. 中国环境管理, 2020, 12(4): 5-12. [Wang C, Deng H M, Guo K D, et al. Research progress on cooperative governance of greenhouse gases and air pollutants[J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2020, 12(4): 5-12.]
- [6] Gouyon A. Rewarding the Upland Poor for Environmental Services: A Review of Initiatives from Developed Countries[R]. Bogor Indonesia: Southeast Asia Regional Office, World Agroforestry Centre (ICRAF), 2003.
- [7] 沈满洪, 谢慧明. 跨界流域生态补偿的“新安江模式”及可持续制度安排[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.]
- [8] 耿翔燕, 葛颜祥, 张化楠. 基于重置成本的流域生态补偿标准研究: 以小清河流域为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(1): 140-147. [Geng X Y, Ge Y X, Zhang H N. Study on ecological compensation standard of watershed based on reset coast: A case study of Xiaqing River Basin[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(1): 140-147.]
- [9] 李长健, 孙富博, 黄彦臣. 基于CVM的长江流域居民水资源利用受偿意愿调查分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(6): 110-118. [Li C J, Sun F B, Huang Y C. Investigation and analysis of residents' willingness to use water resources in the Yangtze River Basin based on CVM[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(6): 110-118.]
- [10] 丁振民, 姚顺波. 小尺度区域生态补偿标准的理论模型设计及测度[J]. 资源科学, 2019, 41(12): 2182-2192. [Ding Z M, Yao S B. Model and measurement of payment for ecological services at small scale[J]. Resources Science, 2019, 41(12): 2182-2192.]
- [11] 王西琴, 高佳, 马淑芹, 等. 流域生态补偿分担模式研究: 以九洲江流域为例[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 242-250. [Wang X Q, Gao J, Ma S Q, et al. A model of shared responsibility of watershed ecological compensation: A case study of the Jiuzhoujiang River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 242-250.]
- [12] 谢婧, 文一惠, 朱媛媛, 等. 我国流域生态补偿政策演进及发展建议[J]. 环境保护, 2021, 49(7): 31-37. [Xie J, Wen Y H, Zhu Y Y, et al. Evolution and development direction of river basin eco-compensation policy in China[J]. Environmental Protection, 2021, 49(7): 31-37.]
- [13] 包晓斌. 我国流域生态补偿机制研究[J]. 求索, 2017, (4): 132-136. [Bao X B. Study on basin ecological compensation mechanism in China[J]. Quest, 2017, (4): 132-136.]
- [14] 娜仁, 陈艺, 万伦来, 等. 中国典型流域生态补偿财政支出的减贫效应研究: 来自2010-2017年安徽新安江流域的经验数据[J]. 财政研究, 2020, (5): 51-62. [Na R, Chen Y, Wan L L, et al. Research on the poverty reduction effect of fiscal expenditure of ecological compensation in typical river basins of China: Empirical data from Xin'an River Basin, Anhui Province from 2010 to 2017[J]. Public Finance Research, 2020, (5): 51-62.]
- [15] 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.]
- [16] 彭玉婷. 新安江流域水源地生态补偿的综合效益评价[J]. 江淮论坛, 2020, (5): 75-82. [Peng Y T. Evaluation on the comprehensive benefits of ecological compensation in the water source area of the Xin'an River Basin[J]. Jiang-huai Tribune, 2020, (5): 75-82.]
- [17] 韩梦瑶, 刘卫东, 谢滢甜, 等. 中国省域碳排放的区域差异及脱钩趋势演变[J]. 资源科学, 2021, 43(4): 710-721. [Han M Y, Liu W D, Xie Y T, et al. Regional disparity and decoupling evolution of China's carbon emissions by province[J]. Resources Science, 2021, 43(4): 710-721.]
- [18] 丁斐, 庄贵阳, 刘东. 环境规制、工业集聚与城市碳排放强度: 基于全国282个地级市面板数据的实证分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2020, 20(3): 90-104. [Ding F, Zhuang G Y, Liu D. Environmental regulation, industrial agglomeration and urban carbon emission intensity: Empirical analysis based on panel data of 282 prefectural-level cities in China[J]. Journal of China University of Geosciences (Social Science Edition), 2020, 20(3): 90-104.]
- [19] 朱凡, 李天琦. 中国碳交易市场减排绩效的实证研究[J]. 税务与经济, 2021, (3): 54-62. [Zhu F, Li T Q. An empirical study on emission reduction performance of China's carbon trading market[J]. Taxation and Economy, 2021, (3): 54-62.]
- [20] 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. [Li Z G, Wang J. Spatial emission reduction effect of China's carbon

- emission trading: Quasi-natural experiments and policy spillovers [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(1): 26–36.]
- [21] 王桂新, 李刚. 生态省建设的碳减排效应研究[J]. *地理学报*, 2020, 75(11): 2431–2442. [Wang G X, Li G. Effect of “Ecological Province” construction on carbon emission reduction in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2431–2442.]
- [22] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952–2006年[J]. *数量经济技术经济研究*, 2008, 25(10): 17–31. [Shan H J. A reassessment of China’s capital stock K : 1952–2006[J]. *Journal of Quantitative and Technical Economics*, 2008, 25(10): 17–31.]
- [23] 李文华, 刘某承. 关于中国生态省建设指标体系的几点意见与建议[J]. *资源科学*, 2007, 29(5): 2–8. [Li W H, Liu M C. A discussion on indicator systems of eco-province construction in China [J]. *Resources Science*, 2007, 29(5): 2–8.]
- [24] 应晓妮, 吴有红, 徐文舸, 等. 政策评估方法选择和指标体系构建[J]. *宏观经济管理*, 2021, (4): 40–47. [Ying X N, Wu Y H, Xu W G, et al. The selection of policy evaluation method and the establishment of an indicator system[J]. *Macroeconomic Management*, 2021, (4): 40–47.]
- [25] 付琳, 曹颖, 郭豪, 等. 十二五以来中国低碳发展进展及政策评估[J]. *中国环境管理*, 2021, 13(1): 16–24. [Fu L, Cao Y, Guo H, et al. China’s low-carbon Development progress and policy evaluation since the 12-th Five-Year Plan period[J]. *Chinese Journal of Environmental Management*, 2021, 13(1): 16–24.]
- [26] 陈衍泰, 齐超, 厉婧, 等. 一带一路倡议是否促进了中国对沿线新兴市场国家的技术转移? 基于 DID 模型的分析[J]. *管理评论*, 2021, 33(2): 87–96. [Chen Y T, Qi C, Li J, et al. Has the “Belt and Road” initiative promoted China’s technology transfer to emerging market countries along the Belt and Route? Analysis based on the model of DID[J]. *Management Review*, 2021, 33(2): 87–96.]
- [27] 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, 43(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, 43(11): 2277–2288.]
- [28] 杨秀汪, 李江龙, 郭小叶. 中国碳交易试点政策的碳减排效应如何: 基于合成控制法的实证研究[J]. *西安交通大学学报(社会科学版)*, 2021, 41(3): 93–104. [Yang X W, Li J L, Guo X Y. The impact of carbon trading pilot on emission mitigation in China: Empirical evidence from synthetic control method[J]. *Journal of Xi’an Jiaotong University (Social Sciences)*, 2021, 41(3): 93–104.]
- [29] 刘杨, 曲如晓, 曾燕萍. 中国自由贸易试验区的政策效应评估[J]. *国际贸易问题*, 2021, (4): 1–16. [Liu Y, Qu R X, Zeng Y P. Evaluation of policy effects in China pilot free trade zone[J]. *Journal of International Trade*, 2021, (4): 1–16.]
- [30] Clarke D. Estimating difference-in-differences in the presence of spillovers[J]. *MPRA Paper*, 2017.
- [31] 易巍, 龙小宁, 林志帆. 地理距离影响高校专利知识溢出吗? 来自中国高铁开通的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2021, (9): 99–117. [Yi W, Long X N, Lin Z F. Does geographical distance affect patent knowledge spillover in colleges and universities? Empirical evidence from the opening of China’s high-speed railway[J]. *China Industrial Economy*, 2021, (9): 99–117.]
- [32] Beck T, Levine R, Levkov A. Big bad banks? The winners and losers from bank deregulation in the United States[J]. *The Journal of Finance*, 2010, 65(5): 1637–1667.
- [33] 陈超凡, 王泽, 关成华. 国家创新型城市试点政策的绿色创新效应研究: 来自 281 个地级市的准实验证据[J]. *北京师范大学学报(社会科学版)*, 2022, (1): 139–152. [Chen C F, Wang Z, Guan C H. Green innovation effect of National Innovative City Pilot Policy: Quasi-experimental evidence from 281 prefecture-level cities [J]. *Journal of Beijing Normal University (Social Sciences)*, 2022, (1): 139–152.]
- [34] 曹清峰. 国家级新区对区域经济增长的带动效应: 基于 70 大中城市的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2020, (7): 43–60. [Cao Q F. The driving effect of state-level new districts on regional economic growth: Based on empirical evidence of 70 large and medium-sized cities[J]. *China Industrial Economics*, 2020, (7): 43–60.]
- [35] 易巍, 龙小宁, 林志帆. 地理距离影响高校专利知识溢出吗? 来自中国高铁开通的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2021, (9): 101–119. [Yi W, Long X N, Lin Z F. Does geographical distance affect patent knowledge spillover in colleges and universities: Empirical evidence from the opening of China’s high-speed railway[J]. *China Industrial Economy*, 2021, (9): 101–119.]
- [36] 纪玉俊, 廉雨晴. 制造业集聚、城市特征与碳排放[J]. *中南大学学报(社会科学版)*, 2021, 27(3): 73–87. [Ji Y J, Lian Y Q. Manufacturing agglomeration, urban characteristics and carbon emissions[J]. *Journal of Central South University (Social Sciences)*, 2021, 27(3): 73–87.]

Effect of emission reduction in the compensated areas under the policy of watershed eco-compensation: A case study of the Xin'an River Basin

ZHANG Hui¹, GU Dian¹, WU Shuang², YU Yi³

(1. College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 2. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China)

Abstract: As one of the important policy tools for ecological environment management in China, the policy of watershed eco-compensation is upgrading from water environment management alone to comprehensive environment management of watersheds. Current, many studies focus on this policy to examine whether it can play an active role against the challenges of peaking carbon dioxide emissions and achieving carbon neutrality. Based on the 2006- 2019 panel data of prefecture-level cities, this study took the Xin'an River Basin—a pilot area for watershed eco-compensation—as a natural experiment site to build a difference-in-differences (DID) model to investigate the effect of the policy on carbon emissions in the compensated area. The results are as follows: (1) The policy of eco-compensation implemented in the Xin'an River Basin significantly reduced the total carbon dioxide emissions in Huangshan City, and the inhibitory effect was 4.9%; (2) The spillover effect of the eco-compensation policy was significantly in the same direction as the policy effect, and this spillover effect decreased as the distance increased; (3) The results of the analysis on the effect of carbon emission reduction verified the validity of the following positive transmission mechanism: The policy of watershed eco-compensation—industrial structure transformation—technological progress—carbon emission reduction. Moreover, this policy did not achieve carbon emission reduction by depressing local economic growth. Finally, relevant policy recommendations were put forward to gradually carry out the policy watershed eco-compensation, realizing the diversification of compensation ways, and preventing the relocation of pollution-intensive industries to the neighboring areas.

Key words: watershed eco-compensation; carbon emission reduction; DID method; Xin'an River Basin; spillover effect; compensated areas