

孔凡斌,陆雨,徐彩瑶.从“污染控制”到“协同共治”:新安江横向生态补偿试点的生态质量改善效应评估[J].中国人口·资源与环境,2026,36(3):209-224.[KONG F B,LU Y,XU C Y.From“pollution control”to“collaborative governance”:evaluating the ecological quality improvement effects of the Xin'an River horizontal ecological compensation pilot[J].China population,resources and environment,2026,36(3):209-224.]

# 从“污染控制”到“协同共治”:新安江横向生态补偿试点的生态质量改善效应评估

孔凡斌<sup>1,2</sup>,陆雨<sup>3</sup>,徐彩瑶<sup>3,4</sup>

(1.南京林业大学经济管理学院,江苏南京210037;2.南京林业大学数字林业与绿色发展研究院,江苏南京210037;  
3.浙江农林大学经济管理学院,浙江杭州311300;4.浙江农林大学浙江省乡村振兴研究院,浙江杭州311300)

**摘要** 新安江横向生态补偿是中国首次探索建立流域横向生态补偿机制的典型实践案例,该实践突破以水质达标为核心的末端治理范式,向统筹生态系统整体功能与区域协同治理的制度模式转型。在实现流域水环境质量改善这一初始目标的基础上,该试点能否进一步推动生态系统服务能力的整体提升,并实现上下游地区生态质量的协同改善,是检验其政策成效的关键所在。该研究基于2007—2023年安徽省和浙江省70个县的面板数据,运用双重差分模型检验新安江横向生态补偿对流域整体和上下游地区的生态质量改善效应、不同试点阶段的政策累积效应、作用机制以及不同试点县改善效应的差异性。研究结果如下:①横向生态补偿显著提升了流域整体的生态质量水平,该结论经过一系列稳健性检验后依然成立。②异质性检验结果表明,横向生态补偿能够显著促进上游地区的生态质量改善,但对下游地区并不显著;从流域整体来看,横向生态补偿的累积效应呈逐步增强趋势;从区域分布来看,随着补偿机制不断优化与考核标准逐步强化,横向生态补偿的累积效应逐步由下游向上游传导,带动区域间生态改善趋于协同,推动上下游“协同共治”格局的形成。③作用机制检验结果表明,上游地区生态改善主要来自工业绿色转型与农业设施化水平的提高,下游地区则主要来自工业绿色转型和生态产业化效率的提升。④横向生态补偿对不同试点县生态质量改善效应的影响存在差异。该研究为完善跨区域生态补偿政策体系,推动流域生态协同共治与差异化激励机制设计提供了实证依据与政策参考。

**关键词** 新安江流域;横向生态补偿;生态系统服务能力;政策绩效;双重差分法

**中图分类号** F062.2;F323.3 **文献标志码** A **文章编号** 1002-2104(2026)03-0209-16 **DOI**:10.12062/cpre.20250922

随着工业化和城镇化的加速推进,中国各大流域普遍面临着水环境污染与生态系统退化等难题<sup>[1-3]</sup>,而横向生态补偿机制则成为解决跨行政区江河流域水环境污染问题的重要制度创新与实践路径<sup>[5]</sup>。新安江流域作为长三角地区重要的生态屏障和水源涵养区,具有突出的生态战略地位。该流域总面积超过1.1万km<sup>2</sup>,地跨安徽省与浙江省,源头位于安徽省黄山市休宁县,下游流经浙江省杭州市淳安县。流域内自然资源丰富,生态系统服务功能类型多样,是生物多样性保护和水资源涵养的重要区域。然而,伴随快速的城市化与工业化进程,流域水环境质量逐渐下降,生态系统服务功能趋于弱化,水质污染和生态退化问题日益凸显。为此,自2007年以来,安徽、浙江两省开始探索跨省域水环境治理合作,积极推进新

安江横向生态补偿机制的构建,以应对日益严峻的流域生态环境问题。2012年,安徽和浙江两省签订新安江横向生态补偿协议,建立生态效益“对赌”机制,成为全国首个跨省流域生态补偿试点。截至2020年,两省已顺利完成3轮试点工作。从制度设计来看,新安江横向生态补偿机制遵循“自上而下”的顶层设计模式,由中央政府主导制定框架,由流域上下游政府通过协商确定具体方案,最终实现帕累托最优的生态产权交易。经过3轮试点,该流域上下游水质得到显著改善<sup>[6]</sup>,森林覆盖率从77.4%提升至82.9%,空气优良天数比例常年保持在95%以上,流域生态环境质量整体改善效应明显<sup>[7]</sup>。

横向生态补偿机制的初衷是解决水污染问题,但随着生态文明体制改革的不断推进,流域水环境治理目标

收稿日期:2024-12-19 修回日期:2025-09-19

作者简介:孔凡斌,博士,教授,博导,主要研究方向为生态经济与资源环境经济。E-mail:kongfanbin@aliyun.com。

通信作者:徐彩瑶,博士,副教授,主要研究方向为生态经济与资源环境经济。E-mail:caiyao@126.com。

基金项目:国家自然科学基金面上项目“钱江源区山水林田湖草碳汇服务供需过程耦合机理及碳生态补偿关键机制”(批准号:42371294);国家自然科学基金青年项目“数字乡村建设、森林生态产品价值实现与浙江山区26县共同富裕协同机制及政策研究”(批准号:42301328);国家社会科学基金重大项目“山水林田湖草沙一体化保护和系统治理研究”(批准号:23ZDA105)。

逐步从单一的“污染控制”向“协同共治”转型升级。在试点政策实施过程中,通过环境治理和生态修复,生态补偿地区不仅改善了流域水环境质量,还显著增强了流域生态系统服务功能<sup>[8-9]</sup>与自然生态系统调节服务、供给服务以及文化服务水平的提升效应<sup>[10]</sup>。这一过程表明,横向生态补偿机制应当秉持“山水林田湖草沙是生命共同体”的理念,以统筹流域上下游自然生态系统的一体化保护与修复为核心,因而对补偿机制实施成效的评估应着重关注流域整体生态系统服务能力的动态变化。这就要求,不仅要通过控制污染物排放直接改善流域水环境质量,更要通过促进流域源头及沿岸地区的生态保护与修复,提升流域整体生态系统服务能力<sup>[11-12]</sup>,从而解决水生态环境容量不足的根本问题。因此,在横向生态补偿在初步实现流域水质改善的基础上,系统评估其在“协同共治”导向下对生态系统服务能力和生态质量改善的作用机制与区域差异表现,是深化认识横向生态补偿成效、推动其从“污染控制”走向“协同共治”的关键切入点。本研究旨在探讨新安江横向生态补偿试点过程中,流域整体和上下游地区的生态质量的改善效应特征及其动力机制,据此提出完善横向生态补偿机制、推动流域生态质量协同改善的政策建议,进而为流域综合治理和跨行政区生态保护提供理论依据和决策支撑。

## 1 文献综述

作为推动区域协同治理和提升生态系统服务价值的重要制度创新,流域横向生态补偿已成为生态补偿研究的核心议题<sup>[13]</sup>。与纵向生态补偿机制相比,横向生态补偿更强调流域上下游之间的治理责任协同与生态权益共享,其政策目标不仅在于生态环境效益的提升,也在于构建区域生态公平与长效治理机制<sup>[14]</sup>。新安江流域作为全国首个跨省横向生态补偿试点,其生态治理绩效与生态效益评价同样成为学术界关注的焦点。相关研究主要聚焦于以下方面:一是关于生态环境质量改善成效方面。有研究指出,横向生态补偿具有良好的生态效益<sup>[15-16]</sup>。无论是基于城市层面的宏观数据<sup>[6]</sup>,还是基于工业企业的微观数据<sup>[7]</sup>,均已证实横向生态补偿在水污染控制<sup>[17]</sup>以及减污降碳方面<sup>[9,18-19]</sup>具有积极的治理效果,并能通过财政激励与考核约束等手段,推动上游地区加强水环境治理,从而实现断面水质改善与污染强度下降<sup>[20-22]</sup>。横向生态补偿机制还有效促进了区域工业污染物减排和能源结构优化,实现了生态补偿的综合环境效益<sup>[18]</sup>。然而,现有研究多集中于水环境质量与污染物排放控制方面,在生态系统服务能力提升视角下系统评估其生态质量改善效果的研究仍相对不足。二是关于生态系统服务功能

方面。相关研究主要围绕基于生态系统服务功能的生态补偿标准测算<sup>[23]</sup>、生态系统服务价值量化及其权衡关系分析<sup>[24]</sup>等展开,且大多在评估生态产品价值时参考了谢高地等<sup>[25]</sup>的核算方法。横向生态补偿机制不仅对调节类服务功能、促进生态空间格局重构等具有积极作用<sup>[24]</sup>,也推动了生态产品价值的外显与货币化,为生态系统服务转化为生态资产提供了路径支持<sup>[26-27]</sup>。然而,现有研究多侧重于静态量化与单一指标评估,尚未充分揭示生态服务功能的动态演化特征及其与生态质量提升之间的内在机制。三是关于研究层级与识别精度方面。现有文献多从流域整体或仅针对上游地区展开分析,往往难以识别政策在不同试点县域之间的绩效差异及其驱动机制。部分研究从财政支出扩张、产业结构优化与技术效率提升等维度探讨了横向生态补偿的传导路径<sup>[28-29]</sup>,但目前大多仍聚焦于新安江整体或上下游区域的宏观比较,尚缺乏基于不同试点县之间的系统效应评估,难以为政策的精准优化提供充分的实证依据。

已有文献为本研究提供了有益参考,但从既有研究存在的不足来看,本研究可能的边际贡献在于:一是关注横向生态补偿除流域水环境质量改善以外的生态质量提升效应,从流域生态系统服务能力提升的角度,探讨横向生态补偿试点与流域整体生态质量改善之间的作用机制,从而拓展横向生态补偿政策绩效评价理论的新维度。二是基于生态系统服务能力视角,构建新安江流域县域生态质量改善水平的评价指标体系,为评估新安江流域横向生态补偿试点所产生的生态效益提供更为合理的技术方法,进一步丰富生态补偿制度绩效评价的方法体系。三是在研究深度上,深入探讨上下游6个试点县的生态质量改善效应差异及其动态关系特征,为完善基于县域生态利益协同共治的流域横向生态补偿体系提供精准施策依据。

## 2 理论分析与研究假说

### 2.1 横向生态补偿试点对流域生态质量水平的直接影响

在流域生态治理中,生态环境问题具有跨区域性和外部性特征,尤其表现为上下游生态行为的利益错配与责任分离<sup>[13]</sup>。外部性理论指出,生态保护行为具有正外部性,往往面临社会收益大于私人收益的激励困境,导致供给不足;生态破坏行为则因负外部性未纳入成本考量,私人成本低于社会成本,形成市场失灵<sup>[29]</sup>。科斯定理指出,在交易成本为零且产权界定清晰的条件下,外部性问题可通过市场协商实现内部化<sup>[30]</sup>。然而,在典型流域治理中,上游地区的生态保护行为能够为下游地区提供清洁水源、改善生态环境等正外部性,但由于受益主体与承

担成本主体分离,保护激励不足,下游地区容易出现“搭便车”问题。

因此,需要借助政府制度性干预,将流域生态保护的外部性内部化。横向生态补偿机制作为缓解资源环境外部性失灵的重要制度安排<sup>[31]</sup>,本质上是以前区域间契约协作为基础,通过财政转移支付或其他激励手段,促使上游地区增加生态保护投入,改善流域整体生态系统服务能力与生态环境质量<sup>[5]</sup>。具体到新安江流域,横向生态补偿试点通过中央财政引导和地方政府协商,构建了“委托-代理”关系框架,明确了上下游责任边界,解决了信息不对称与博弈失灵的问题<sup>[14]</sup>。在补偿激励下,上游地区通过加大对工业污染和农村面源污染的治理力度,提升了流域整体生态系统功能,下游地区则通过支付生态补偿资金,共享生态保护成果。因此,横向生态补偿试点通过激励机制有效提升了流域生态质量水平。据此,提出研究假说H1。

H1:横向生态补偿试点能够显著提升新安江流域整体的生态质量水平。

然而,生态补偿作为一种环境规制手段,其对流域生态质量水平的影响具有不确定性<sup>[32]</sup>。根据“不确定性假说”,不同地区在实施同一政策时,受地方政府执行能力、财政资源、利益诉求等差异影响,可能导致政策效果产生异质性<sup>[33]</sup>。在新安江流域,由于上下游地区在经济发展水平、生态环境承载力及政策激励结构上存在明显差异,地方政府在污染治理标准、执法严格度和资源配置方面的行为模式有所不同<sup>[34]</sup>,从而影响横向生态补偿在不同区域的实际成效。据此,提出研究假说H2。

H2:横向生态补偿试点对新安江流域生态质量水平的影响存在区域异质性。

从制度经济学视角看,横向生态补偿作为解决跨行政区水环境问题的重要政策工具,其治理绩效不仅受制度设计本身影响,也受到政策实施时间与执行路径的影响<sup>[35]</sup>。由于试点轮次和政策目标的差异,横向生态补偿对流域上下游地区生态质量水平的影响,会随着政策的逐步实施和调整而产生政策累积效应<sup>[36]</sup>。新安江横向生态补偿试点从第1轮强调水质达标和中央主导资金拨付,逐步演化为强调多目标协同与地方财政责任共担的机制体系。不同试点阶段在资金结构、考核权重、目标内容等方面均有所差异,导致制度激励强度与执行条件发生变化<sup>[37]</sup>。在这一过程中,上下游地区对制度调整的响应路径并不一致:上游地区因治理任务重、财政依赖高,对制度变化更为敏感;而下游地区因支付责任增加、产业约束提升,可能呈现出绩效趋稳的趋势。因此,横向生态补偿政策在不同试点阶段的制度安排与上下游治理分工共同决定了政策成效的阶段性与区域非对称性。据

此,提出研究假说H3。

H3:横向生态补偿试点在不同试点阶段对新安江流域生态质量水平的影响存在阶段性和异质性,且该效应在上下游地区表现出非对称性。

## 2.2 横向生态补偿试点对流域生态质量水平的间接影响

在流域生态治理中,工业污染和农业面源污染长期共存且相互叠加,是造成水质退化的主要原因<sup>[36]</sup>。传统的末端治理手段存在治理成本高、治理效果不稳定的问题。因此,从源头上推动工业清洁化与农业绿色化是提升流域生态系统服务能力的必要途径<sup>[38]</sup>。横向生态补偿机制在推动工业绿色转型和提升农业设施化水平过程中发挥着“规制约束”与“财政激励”的双重作用。

在工业领域,工业绿色转型是指以减污降碳、清洁生产和绿色技术应用为核心,实现传统工业由高污染、高能耗向清洁、低碳、高效方向演化的结构性变革过程<sup>[39]</sup>。一方面,通过水质目标约束与绩效考核机制,促使地方政府强化环境规制,提高产业准入标准,关停高污染、高能耗企业<sup>[6]</sup>,引导传统制造业向清洁生产和绿色制造方向转型<sup>[40]</sup>。另一方面,财政补偿作为正向激励,为地方政府推进绿色转型提供必要的资金支持,具体包括支持工业园区绿色改造、引进清洁生产技术、为绿色制造项目提供贴息融资等,有效缓解了地方政府在转型初期面临的资金短缺与回报不确定性问题。同时,生态补偿资金的专款性质也促使地方将其优先投向结构性治理与绿色产业发展,推动形成约束与激励并行的政策体系,增强工业绿色转型的内生性与可持续性<sup>[41]</sup>。新安江流域实践表明,上游地区如黄山市通过整顿和关停污染企业,推动工业绿色转型,下游地区关闭了千岛湖库区所有属于重污染行业的企业,推动流域上下游地区形成合力治水的命运共同体,不仅改善了流域水环境质量,还能够有效提升流域整体生态质量水平。据此,提出研究假说H4。

H4:横向生态补偿可以通过促进工业绿色转型,进而提升新安江流域生态质量水平。

在农业领域,面源污染治理是横向生态补偿的重要目标之一。农业设施化水平反映了绿色农业基础能力,主要包括节水灌溉、农资集中配送、生态拦截带建设等要素。农业设施化水平的提升有助于降低农业面源污染,改善农业生态外部性<sup>[38]</sup>。一方面,生态考核要求促使地方政府加强农业污染治理责任落实,强化农业排放监测与农药化肥使用监管;另一方面,财政补偿资金支持设施农业建设与绿色农业技术推广,为地方缓解农业转型中的财政压力提供支撑。例如,黄山市试点推行农资集中配送、生态沟渠等设施农业模式,改善农业生产对流域水质的负面影

响,进而有利于提升流域生态质量水平。据此,提出研究假说H5。

H5:横向生态补偿可以通过提升农业设施化水平,进而提升新安江流域生态质量水平。

在流域生态治理中,实现生态资源的高效利用与生态系统服务功能的持续提升,关键在于提高生态资本配置效率<sup>[42]</sup>。生态资本是自然资源与生态系统服务的积累与储备,是生态系统可持续运转的重要基础<sup>[43]</sup>。而生态产业化效率作为衡量生态资本利用效率与生态产品价值实现程度的核心指标<sup>[44]</sup>,反映了生态系统服务在区域经济中的嵌入水平<sup>[45]</sup>。横向生态补偿作为一种以流域整体协调为导向的制度安排,以生态安全和环境保护为核心目标,以市场机制与公共政策为手段<sup>[19]</sup>,通过激励地方政府和农村居民积极参与生态保护与修复,推动生态资本的恢复与合理配置。这能够提升生态资本存量和利用效率,有利于增强生态系统服务功能及提升生态系统服务能力,推动流域生态质量改善<sup>[46]</sup>。生态产业化效率的提升,尤其是绿色生产工艺的研发和产业结构的不断优化,有助于减少污染排放,推动产业的绿色转型。同时,随着生态产业化效率的不断提高,地方政府和社区的生态保护认同感和参与度增强,逐渐形成良性反馈机制,有利于进一步巩固和提升流域生态质量水平。因此,横向生态

补偿可以通过提升生态产业化效率促进流域生态质量改善。据此,提出研究假说H6。

H6:横向生态补偿可以通过提高生态产业化效率,进而提升新安江流域生态质量水平。

综上,构建新安江横向生态补偿体系改善流域生态质量的理论逻辑框架如图1所示。

### 3 研究设计

#### 3.1 模型设计

运用双重差分模型进行实证分析,模型具体设置如公式(1)所示:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: $i$ 为各样本县; $t$ 为年份; $Y_{it}$ 为被解释变量,代表样本县 $i$ 在 $t$ 年的生态质量水平; $D_{it}$ 为核心解释变量,代表样本县 $i$ 在 $t$ 年是否实施横向生态补偿政策; $\beta_0$ 为常数项; $\beta_1$ 为 $D_{it}$ 的估计系数; $X_{it}$ 为一系列控制变量; $\beta_2$ 为一系列控制变量的系数; $\mu_i$ 为县域固定效应; $\lambda_t$ 为年份固定效应; $\varepsilon_{it}$ 为随机干扰项,同时聚类到县域个体层面。本研究关注的重点是核心解释变量 $D_{it}$ 的估计系数 $\beta_1$ ,当 $\beta_1$ 显著为正时,说明横向生态补偿试点显著提升流域整体生态质量水平,实现了流域生态质量的整体改善。

值得注意的是,若 $\beta_1$ 显著为正,也仅反映试点县的平

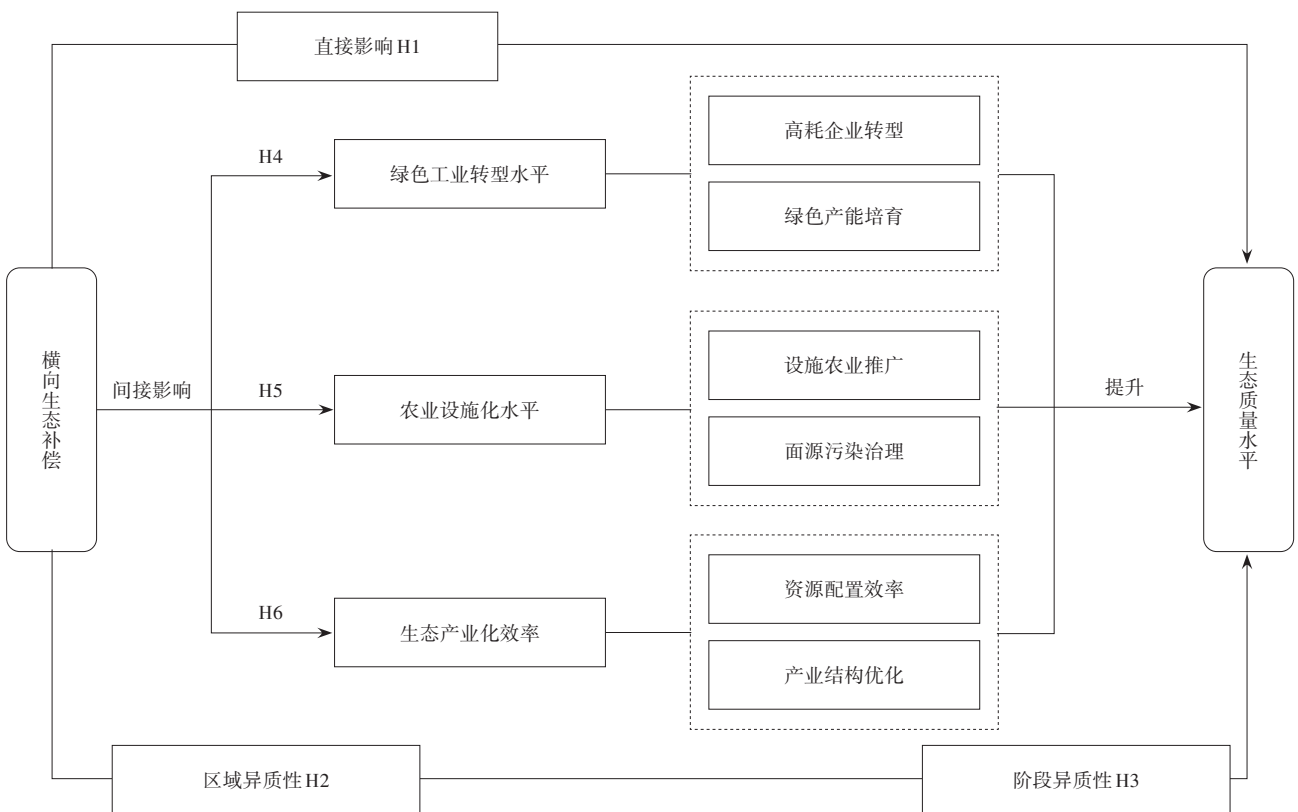


图1 新安江通过横向生态补偿改善流域生态质量的理论逻辑

均处理效应,不能据此判断6个试点县的生态质量水平均实现提升,政策效应可能在县域之间存在异质性。因此,需要在后续分析中将样本划分成上下游地区,以进一步了解横向生态补偿试点在上下游地区的具体影响。

### 3.2 变量选择

#### 3.2.1 被解释变量

根据新安江横向生态补偿试点的目标要求,被解释变量为生态质量水平。鉴于生态质量改善往往通过生态系统服务功能提升而体现,本研究从生态系统服务供给能力视角出发,采用生态产品价值对县域生态质量水平进行综合表征。生态产品价值测算采用生态系统服务价值核算方法<sup>[47]</sup>,指标体系包含物质产品价值、调节服务价值和文化服务价值3个一级指标(表1)。具体通过INVEST模型核算出生态产品的实物量,再结合《生态系统生产总值(GEP)核算技术规范陆域生态系统》计算其价值。指标体系中涉及的所有价格指标均依据当期价格贴现为2015年的居民价格平减指数(CPI)进行折算。

表1 生态质量水平核算指标体系

变量	一级指标	二级指标	计算方法
生态质量水平	物质产品价值	农林牧渔产品价值/亿元	市场价值法
		水源涵养价值/亿元	市场价值法
	调节服务价值	固碳释氧价值/亿元	替代成本法
		土壤保持价值/亿元	影子价格法
		气候调节价值/亿元	替代成本法
	文化服务价值	休憩价值/亿元	旅行费用法

#### 3.2.2 解释变量

解释变量为 $D_{it}$ ,用于识别样本县 $i$ 在 $t$ 年份是否受到新安江横向生态补偿试点的冲击,采用地区虚拟变量 $M_i$ 和时间虚拟变量 $N_t$ 的交乘项来衡量。其中,若样本县为试点县时,则 $M_i$ 赋值为1,反之赋值0;若时间在2012年及之后,则 $N_t$ 赋值为1,反之赋值0。

#### 3.2.3 控制变量

控制变量参照王贤彬等<sup>[48]</sup>的做法,具体的指标设置如下:①固定资产投资。固定资产投资衡量物质资本投入使用情况,增加投资可改善水利和环保设施,促进生态质量改善,采用县域全社会固定资产投资并取自然对数进行衡量<sup>[49]</sup>。②地方财政收入。地方财政收入的增加有助于改善基础建设和推进生态保护,采用县域地方政府的财政收入取自然对数进行衡量<sup>[50]</sup>。③人口密度。人口密度较高的地区人口集中、资源消耗和污染排放的压力增大,往往伴随着生态环境负担加重,从而对生态质量水平产生负面影响<sup>[28]</sup>。特别是在土地开发和资源利

用方面,可能加剧生态系统的退化和生态服务功能的下降,采用每平方千米县域年末总人口数进行衡量。④产业结构。产业结构的调整与升级可以通过优化资源配置和减少污染排放来提升生态质量水平。考虑到现代服务业等第三产业对水资源需求较低,所造成环境污染较小,采用第三产业增加值占地区生产总值的比例进行衡量<sup>[6]</sup>。⑤农业技术水平。农业技术进步能够提升生产效率,减少生态负担,采用农业机械总动力的自然对数进行衡量<sup>[51]</sup>。⑥农业集约水平。农业集约水平反映了单位播种面积上农业产出的经济效益,体现了农业生产方式由粗放型向集约化、技术化转变的程度<sup>[52]</sup>。农业集约水平有助于提高资源利用效率,减少土地过度开发和农业面源污染,从而对生态质量水平产生积极影响,采用农业增加值与农作物总播种面积的比值进行衡量。

#### 3.2.4 机制变量

(1)工业绿色转型水平。横向生态补偿通过政策压力与财政激励相结合,引导县域工业部门加快绿色转型,推动污染排放减少与资源利用效率提升<sup>[53]</sup>。为衡量县域工业绿色转型水平,首先使用工业污染排放强度( $M$ )衡量县域工业生产的环境影响。该指标定义为县域工业废气污染物排放总量(氮氧化物、烟尘、二氧化硫等)与工业增加值的比值,如公式(2)所示:

$$M_{it} = \frac{W_{it}}{I_{it}} \quad (2)$$

式中: $M_{it}$ 表示县域 $i$ 在 $t$ 年份工业污染排放强度, $W_{it}$ 表示县域 $i$ 在 $t$ 年份的工业废气污染物排放量,以氮氧化物、烟尘、二氧化硫等主要污染物的总量计,单位为 $t$ ;  $I_{it}$ 表示县域 $i$ 在 $t$ 年份的工业增加值,单位为万元。

由于工业污染排放强度为负向指标,为更直观地反映县域工业生产的绿色转型程度,本研究进一步将其进行正向化处理,定义为工业绿色转型水平( $G$ ),具体计算方式为工业污染排放强度的倒数,如公式(3)所示:

$$G_{it} = \frac{1}{M_{it}} \quad (3)$$

式中: $G_{it}$ 数值越高,表示县域工业部门单位污染物排放所对应的工业增加值越高,即单位排放产出更高,表明工业生产过程更为清洁高效,工业绿色转型水平更高。

(2)农业设施化水平。在农业领域,横向生态补偿通过引导农业生产方式的转型升级,促进农业内部结构优化与绿色发展。鉴于设施农业具备节水控肥、精准管理、减少面源污染等特征,能够有效提升农业生产的集约化和生态友好水平。本研究选取设施农业占常用耕地面积的比例作为农业设施化水平的衡量指标。设施农业包括温室、大棚、网棚、喷灌设施等,其占比的提高反映了农业生产方式由传统粗放型向集约化、生态友好型转变的趋

势,有助于减轻农业对生态环境的压力,促进流域生态系统服务功能的恢复,进而促进流域整体生态质量改善。

(3)生态产业化效率。生态产业化效率投入产出指标体系构建直接参考孔凡斌等<sup>[45]</sup>的做法,具体的投入产出指标见表2。其中,生态用地面积基于土地利用分类数据,按照《生态产品总值核算规范(试行)》所界定的生态系统属性进行归类,涵盖林地、耕地、湿地、草地等具备生态功能的用地类型,用于表征生态系统服务的空间基础支撑,同时剔除建设用地与未利用地。生态产品总值用于表征生态质量水平,生态产业化效率水平采用超效率SBM-Malmquist指数分解法计算,具体计算方法参考孔凡斌等<sup>[54]</sup>的做法,用MaxDEA软件测算新安江流域70个县2007—2023年的生态产业化效率水平。

表2 新安江流域生态产业化效率的投入-产出指标

指标类型	一级指标	二级指标
投入指标	生态产品总值	物质产品价值/亿元
		调节服务价值/亿元
		文化服务价值/亿元
	物质资本投入	固定资产投资/亿元
		劳动力投入
	土地投入	有效劳动力/万人
产出指标	产业总增加值	生态用地面积/hm <sup>2</sup>
		第一产业增加值/亿元
		第二产业增加值/亿元
		第三产业增加值/亿元

注:考虑到超效率SBM-Malmquist指数计算生态产业化效率需要一年基期数据,因此,用于计算的数据的时间跨度为2006—2023年。

### 3.3 数据来源与处理

考虑到县域数据的可获得性以及新安江横向生态补偿试点的实施年份,将研究期确定在2007—2023年。

首先,本研究的社会经济数据主要来自2008—2024年的《安徽省统计年鉴》《浙江省统计年鉴》《中国县域统计年鉴》以及安徽省和浙江省各市的统计年鉴,其中缺失的数据从国民经济和社会发展统计公报中进行补充,部分缺失数据采用线性插值法进行补充。其次,计算各县域生态系统服务价值(水源涵养量、固碳释氧功能量、土壤保持量、调节气候功能量)所需的数据分别来自国家气象科学数据中心、中国科学院资源环境科学与数据中心、武汉大学发布的空间分辨率为30 m的土地利用数据集、国家气象数据中心。鉴于有部分县域(如原安徽省安庆市潜山县和浙江省温州市洞头县)在研究期内经历了行政区划调整,导致统计口径发生变化,部分关键指标存在时序不可比性,因此在建模过程中未将其纳入回归样本,最终获得70个县的样本数据。最后,依据《新安江流域水环境补偿试点实施方案》,将其中6个县在2012年参与新安江横向生态补偿试点作为处理组,共计得到1 190个数据样本,其中控制组1 088个样本,处理组102个样本。本研究采用县域数据对新安江流域上下游地区进行划分,具体划分标准为:流域上游地区(安徽省黄山市休宁县、黟县、祁门县、歙县,宣城市绩溪县),流域下游地区(浙江省杭州市淳安县)。表3为各变量的描述性统计结果。

## 4 实证结果分析

### 4.1 基准回归结果

表4展示了横向生态补偿试点对新安江流域整体生态质量水平影响的基准回归结果,其中列(1)未加入控制变量,列(2)加入控制变量。结果显示,无论是否加入控制变量,横向生态补偿试点对新安江流域整体生态质量水平的估计系数均为正,且在1%水平上显著。这表明横

表3 变量的描述性统计结果

类型	变量	全样本(n=1 190)		处理组(n=102)		控制组(n=1 088)	
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差
被解释变量	生态质量水平	14.025	0.710	14.460	0.804	14.028	0.689
解释变量	<i>D</i>	0.061	0.239	0.706	0.458	0.000	0.000
控制变量	固定资产投资	11.491	0.940	10.940	0.681	11.543	0.944
	人口密度	3.855	2.169	1.291	0.436	4.096	2.110
	地方财政收入	11.641	0.866	10.918	0.790	11.709	0.842
	产业结构	0.388	0.103	0.442	0.084	0.383	0.103
	农业技术水平	12.739	0.918	11.842	0.515	12.823	0.902
	农业集约水平	7.589	0.651	7.866	0.499	7.563	0.658
机制变量	工业绿色转型水平	4.298	1.149	3.140	0.792	4.516	1.106
	农业设施化水平	0.089	0.120	0.047	0.048	0.093	0.123
	生态产业化效率	0.647	0.382	0.340	0.106	0.676	0.386

向生态补偿试点能够显著促进流域整体的生态质量改善,验证了研究假说H1。在中央政府环保考核压力和上下游地区政府间利益博弈机制的共同作用下,上游地区为满足生态“对赌”协议中的水质要求,采取了更为严格的环境治理和生态保护措施,如黄山市每年向下游千岛湖输送优质水超过70亿 $m^3$ ,为下游地区水源保护和生态质量提升提供了有力保障。同时,流域下游地区通过生态补偿机制分担了上游地区的治理与保护成本,形成了协同共治、共享收益的良性互动局面,其生态环境质量水平同步改善。据生态环境部环境规划院评估,新安江流域生态系统服务总价值达246.5亿元,其中水生态服务价值达到64.5亿元。

表4 基准回归结果

变量	(1)	(2)
<i>D</i>	0.178*** (0.028)	0.124*** (0.033)
固定资产投资		-0.116*** (0.051)
人口密度		-0.009 (0.023)
地方财政收入		0.532** (0.223)
产业结构		-0.496*** (0.190)
农业技术水平		0.042 (0.054)
农业集约水平		-0.027 (0.055)
县域固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
常数项	13.619*** (0.035)	14.599*** (0.898)
样本量	1 190	1 190
$R^2$	0.634	0.643

注:\*\* $P < 0.05$ ,\*\*\* $P < 0.01$ ;括号内数值为聚类到县级层面的稳健标准误。

此外,从列(2)的控制变量结果来看,固定资产投资对生态质量水平产生了显著负向影响,反映出快速资本扩张对生态环境造成了一定压力;地方财政收入对生态质量改善呈现显著正向作用,表明财政能力提升有助于加强生态保护投入;而产业结构调整对生态质量的影响为负,表明当前产业转型过程中仍存在生态资源利用效率有待提升的问题;人口密度、农业技术水平和农业集约水平的影响未达到统计显著性,可能与试点县农业发展阶段和人口分布特征有关。

## 4.2 平行趋势检验结果

双重差分法的使用需要满足平行趋势检验的要求,即在横向生态补偿试点冲击前,处理组和控制组具有相同的变化趋势<sup>[55]</sup>。这一假设有助于排除系统性偏差,确保所测得的结果真实反映横向生态补偿的因果关系,并有助于减少估计误差。因此,本研究借鉴刘聪等<sup>[56]</sup>的研究方法,利用时间趋势图和事件研究法来检验处理组和控制组是否符合平行趋势的要求。

### 4.2.1 时间变化趋势

基于2007—2023年安徽和浙江两省共70个县的面板数据,按是否实施新安江横向生态补偿试点,将其分为处理组与控制组,计算两组县域生态质量水平自然对数的平均值,通过绘制折线图进行分析,若两条曲线在2012年之前的变化趋势一致,则认为满足平行趋势假定。结果如图2显示,2007—2011年期间处理组与控制组的县生态质量水平保持稳定上升的趋势,且两条曲线在横向生态补偿试点实施前基本平行,表明两组的趋势一致,满足平行趋势的检验要求。

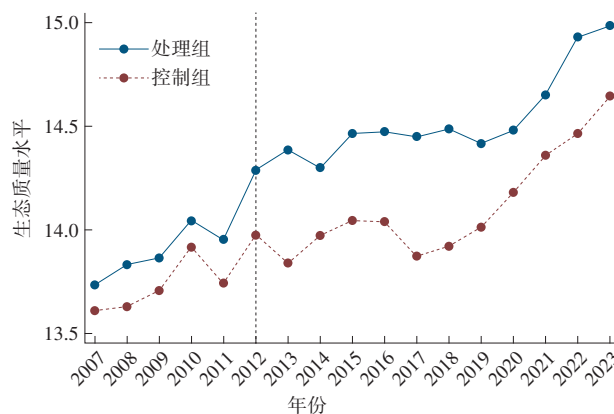


图2 时间变化趋势

### 4.2.2 事件研究法的变化趋势

尽管图2显示出在横向生态补偿冲击之前,处理组和控制组的变化趋势基本相同,但为了增强本结论的可信度,进一步采用事件研究法作为补充检验<sup>[57-59]</sup>,结果如图3所示。结果表明,2012年之前的估计系数均不显著,表明横向生态补偿试点冲击之前处理组和控制组不存在明显差异,而新安江横向生态补偿试点冲击之后处理组和控制组存在明显差异,且绝大部分通过了显著性检验。因此,双重差分法基本上满足平行趋势检验的假定。

## 4.3 稳健性检验结果

### 4.3.1 安慰剂检验

为了缓解可能的不可观测因素的影响<sup>[60]</sup>,本研究采用随机生成处理组进行安慰剂检验。具体地,从新安江

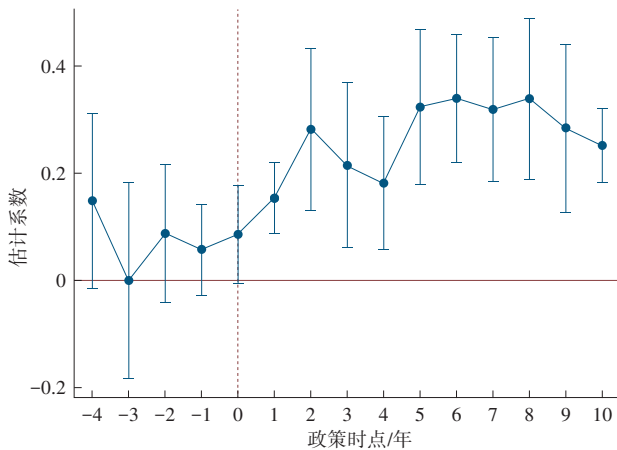


图3 平行趋势检验图

流域的70个样本县中随机抽取6个县作为处理组,赋值为1,将其余64个县划为控制组,赋值为0。随后,将生成的虚拟变量进行重新分析,将上述过程重复进行500次并绘制了估计系数的分布(图4)。结果表明,估计系数呈现正态分布,且绝大多数估计系数集中在零值附近。此外,估计系数明显属于异常值,表明通过了安慰剂检验,从而进一步验证了本研究结论的稳健性和可靠性。

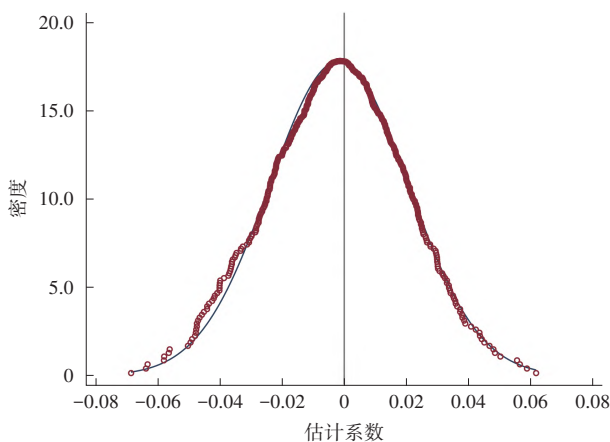


图4 安慰剂检验结果

#### 4.3.2 排除其他政策干扰

由于研究年份跨度较长,新安江横向生态补偿试点效应可能会受到同时期其他相关环境政策的影响。例如,浙江省在2013年实施的“治污水、防洪水、排涝水、保供水、抓节水”政策(以下简称“五水共治”),以及后续在全国范围内逐步推行河长制,都可能对生态补偿效果产生一定干扰。具体来说,“五水共治”政策于2013年由中国共产党浙江省第十三届委员会第四次全体会议提出,目的是提升全省水环境治理能力,改善水质。为了控制

这一影响,本研究将“五水共治”政策作为一个控制变量,采用二元虚拟变量进行表示,其中1表示政策已实施,0表示未实施。河长制是近年来中国水污染治理的重要举措之一,最初由地方政府自主试点并推广。2016年12月,中共中央办公厅和国务院办公厅发布了《关于全面推行河长制的意见》,明确要求到2018年底前在全国范围内全面实施该政策。随着河长制从地方试点逐步推广至全国,已经成为国家层面的重要生态治理措施,并对各地的水资源管理和生态保护产生了深远影响。鉴于这些政策可能与新安江横向生态补偿试点政策同时实施,本研究将这些政策的影响纳入考虑,确保分析结果的准确性。

参考李坦等<sup>[36]</sup>的做法,本研究将相关环境政策设置成虚拟变量,以分析不同环境政策对生态质量改善的影响,结果见表5。结果表明,在考虑其他政策影响的情况下,结果与基准模型结果依然一致。“五水共治”政策对新安江流域生态质量水平无显著作用,河长制则对新安江流域生态质量水平产生显著正向影响。其原因可能在于不同环境政策实施的方式、重点区域和影响力都不尽相同,“五水共治”政策在2013年在浙江省全面推开,对处在新安江流域上游地区的安徽省来说,作用效果可能不明显。河长制最早在浙江省部分县域进行试点,并于2018年底在全国范围内实施,故对新安江流域上下游的生态质量改善均产生了积极影响。

表5 排除其他政策影响的估计结果

变量	(1)	(2)
<i>D</i>	0.225*** (0.057)	0.214*** (0.064)
“五水共治”		0.031 (0.043)
河长制		0.528*** (0.090)
控制变量	是	是
县域固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
常数项	13.610*** (0.020)	13.568*** (0.804)
样本量	1 190	1 190
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.663	0.676

注:\*\*\* $P < 0.01$ ;括号内数值为聚类到县级层面的稳健标准误。

#### 4.3.3 替换被解释变量

被解释变量是以生态产品总值表征的生态质量水平,将其替换成生态环境质量指数<sup>[60]</sup>,重新进行回归。该指数数据来自国家地球系统科学数据中心发布的全国生态环境质量遥感监测栅格数据集,通过提取栅格数据并

分县进行空间平均,构建了各县生态环境质量面板数据,结果见表6。结果表明,替换变量后的回归结果和基准回归结果基本一致,表明本研究结果是稳健可靠的。

**表6 替换被解释变量的估计结果**

变量	(1)	(2)
$D$	0.010*** (0.003)	0.012*** (0.003)
控制变量	否	是
县域固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
常数项	0.601*** (0.001)	0.750*** (0.068)
样本量	1 190	1 190
$R^2$	0.579	0.626

注:\*\*\* $P < 0.01$ ;括号内数值为聚类到县级层面的稳健标准误。

#### 4.4 异质性检验结果

##### 4.4.1 区域异质性

新安江流域上下游地区在生态环境政策及其执行等方面存在差异,因而横向生态补偿试点对生态质量的改善效应在新安江流域上下游地区也有所不同。因此,进一步对新安江横向生态补偿试点的区域异质性进行分析,如公式(4)所示:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \gamma_1 (D_{it} \times S) + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: $S$ 为空间虚拟变量,流域下游地区浙江省的县域赋值为1,其余县域赋值为0。其他变量的设定和公式(1)保持一致。由此,横向补偿试点对流域上游地区产生的影响为 $\beta_1$ ,对流域下游地区产生的影响为 $\beta_1 + \gamma_1$ 。

表7为区域异质性的回归结果。结果显示, $D_{it}$ 的系数为0.089,在10%水平上显著,表明横向生态补偿促进流域上游地区生态质量改善了8.9%;( $D_{it} \times S$ )的系数为0.055,但在统计水平上并不显著。这表明,相较于上游地区,横向生态补偿政策在下游地区的效应并不显著。为验证结果的稳健性,进一步将样本分为上游地区和下游地区分别进行回归,结果见列(2)和列(3)。结果显示,横向生态补偿能够显著促进上游地区的生态质量改善,但对下游地区生态质量改善的影响并不显著。这一结果与实际治理情况相符合。新安江流域上游地区长期面临农业面源污染、林地退化等生态问题,横向生态补偿政策的实施,有效引导了资源向生态保护重点区域倾斜,因而补偿资金和治理措施在上游地区发挥了更直接的生态修复作用;而下游地区,特别是以淳安县为代表的县域,更多依托千岛湖生态资源发展绿色经济,虽然生态保护同

步推进,但短期内对生态环境综合指标的直接拉动作用相对有限。据此,研究假说H2得到了验证。

**表7 区域异质性检验结果**

变量	(1)	(2)	(3)
	新安江流域整体	上游地区	下游地区
$D$	0.089* (0.046)	0.137*** (0.043)	0.047 (0.078)
$D \times S$	0.055 (0.047)		
控制变量	是	是	是
县域固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
常数项	14.053*** (1.498)	12.633*** (1.872)	17.109*** (3.085)
样本量	1 190	748	442
$R^2$	0.641	0.670	0.664

注:\* $P < 0.10$ ,\*\*\* $P < 0.01$ ;括号内数值为聚类到县级层面的稳健标准误。

##### 4.4.2 不同试点阶段的政策累积效应

除了区域异质性,政策的效应往往呈现阶段性和累积性特征,不同试点阶段可能在效应上存在延迟与逐步累积的差异。因此,接下来的分析将引入政策的累积效应,探讨不同试点阶段对流域生态质量的动态影响,这将有助于深入理解政策累积效应。本研究建立横向生态补偿试点的动态效应模型,如公式(5)所示:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \gamma_1 (D_{it} \times H_1) + \gamma_2 (D_{it} \times H_2) + \gamma_3 (D_{it} \times H_3) + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中: $Y_{it}$ 表示生态质量水平。 $H_1$ 、 $H_2$ 和 $H_3$ 分别表示第1轮、第2轮和第3轮试点阶段的虚拟变量。若在第1轮试点阶段,则 $H_1$ 赋值为1,否则为0; $H_2$ 、 $H_3$ 同样赋值。第1轮试点阶段的政策累积效应值为 $\gamma_1$ 。第2轮试点阶段的政策累积效应值为 $\gamma_2$ 。第3轮试点的政策累积效应值为 $\gamma_3$ 。

回归结果见表8。政策累积效应在不同试点阶段和区域表现出显著的阶段性差异,具体分析如下。

在第1轮试点阶段,横向生态补偿政策对新安江流域整体生态质量水平产生了显著正向的累积效应。这表明在政策启动初期,通过中央财政支持和上下游对赌机制的共同作用,流域整体的生态环境得到初步改善。从区域差异来看,上游地区的政策累积效应为0.189,但在统计上并不显著;下游地区的政策累积效应为0.551,在5%水平上显著,且效应幅度高于整体水平。这一现象表明,尽管横向生态补偿机制的设计初衷是激励上游地区加强水环境保护,但在政策初期阶段,下游地区率先实现了生

表8 不同试点阶段的政策累积效应检验结果

试点阶段	(1)	(2)	(3)
	新安江流域整体	上游地区	下游地区
第1轮试点阶段	0.288 <sup>*</sup> (0.126)	0.189 (0.130)	0.551 <sup>**</sup> (0.278)
第2轮试点阶段	0.195 (0.127)	0.124 (0.133)	-0.070 (0.278)
第3轮试点阶段	0.363 <sup>***</sup> (0.127)	0.432 <sup>***</sup> (0.131)	0.142 (0.281)
控制变量	是	是	是
县域固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是
常数项	14.656 <sup>***</sup> (1.492)	14.612 <sup>***</sup> (1.879)	12.278 <sup>***</sup> (2.452)
样本量	1 190	748	442
R <sup>2</sup>	0.540	0.576	0.669

注: \* $P < 0.10$ , \*\* $P < 0.05$ , \*\*\* $P < 0.01$ ; 括号内数值为聚类到县级层面的稳健标准误。

态质量的明显改善。可能原因在于,第1轮试点期间,资金拨付与考核结果脱钩,导致上游地区在补偿激励强度和治理执行力方面相对有限;而下游地区作为直接受益方,具备更强的财政投入能力和更完善的环保治理基础,因而主动加大了生态治理投入,率先体现了生态改善成效。此外,上下游地区在治理基础和投入条件方面也存在差异。上游地区的生态修复工程周期较长,短期内难以快速改善生态指标;而下游地区通过农业面源污染治理、污水治理设施完善等措施,可以在较短时间内实现生态环境改善。因此,第1轮试点阶段总体呈现出下游率先改善、流域整体累积效应初步显现的特征。

在第2轮试点阶段,新安江流域横向生态补偿政策的整体累积效应有所减弱,整体生态质量水平的累积效应系数为0.195,在统计上并不显著。相较于第1轮试点阶段,政策累积效应增速出现放缓现象,表明补偿政策的边际激励作用有所下降。从区域差异来看,上游地区的政策累积效应系数为0.124,下游地区为-0.070,二者均未通过显著性检验,且效应差异趋于缩小。第2轮试点期间,中央财政资金逐年递减,地方财政负担上升,加之前期相对容易治理的生态问题已基本修复,生态治理进入边际递减阶段。这导致无论是上游地区还是下游地区,生态质量改善的速度均有所放缓,政策累积效应趋于收敛。因此,第2轮试点阶段呈现出累积效应增速放缓、上下游区域效应趋同的阶段性特征。

在第3轮试点阶段,横向生态补偿政策的整体累积效应显著扩大,整体生态质量水平的累积效应系数为0.363,并在1%水平上显著提高。这表明,随着政策的持

续推进,横向生态补偿政策的治理成效得到了进一步释放。从区域差异来看,上游地区政策累积效应系数达到0.432,并在1%水平上显著,表明上游地区的生态质量改善在第3轮试点阶段尤为显著;下游地区政策累积效应系数为0.142,未通过显著性检验。这是因为:在第3轮试点阶段,中央政府完全退出,安徽省和浙江省自主谈判并强化了生态考核标准,有效激励了上游地区加大治理投入,加速了生态修复进程;下游地区虽然在生态质量累积效应上未显著提升,但在经济发展方面出现了生态产业化趋势,以淳安县为代表的地区通过改善水质,打造生态水产品品牌,带动了区域经济增长,形成了良好的生态与经济联动机制。因此,第3轮试点阶段呈现出上游治理成效显著、流域整体政策累积效应持续扩大的特征。

综上,新安江流域横向生态补偿政策在不同试点阶段呈现出阶段性累积效应特征。第1轮试点阶段,下游地区的政策累积效应显著,流域整体累积效应初步显现;第2轮试点阶段,累积效应增速放缓,区域差异趋于收敛;第3轮试点阶段,上游地区的生态质量改善效果显著,政策累积效应持续扩大,体现出补偿机制激励效应的深化与治理成效的累积释放。据此,研究假说H3得到了验证。

#### 4.5 作用机制检验

上文分析了新安江流域横向生态补偿政策在区域异质性和不同试点阶段政策效应上的差异性表现,但其导致上下游地区生态质量改善效应差异的具体机制仍有待进一步实证检验。为此,本研究引入横向生态补偿试点与机制变量的交互项,系统识别横向生态补偿影响流域生态质量改善的内在作用路径,如公式(6)所示:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 D_{it} + \beta_2 (D_{it} \times B_{it}) + \beta_3 B_{it} + \beta_4 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中: $B_{it}$ 为机制变量,分别表示工业绿色转型水平、农业设施化水平与生态产业化效率; $D_{it} \times B_{it}$ 为核心交互项,用以识别横向生态补偿通过不同作用机制对生态质量改善的影响; $\beta_2, \beta_3, \beta_4$ 为待估系数。其他变量含义同上。

回归结果见表9。从表9列(1)和列(4)的回归结果来看,横向生态补偿通过提升工业绿色转型水平,对新安江流域上下游地区生态质量水平均产生了显著正向影响,但下游地区的生态质量改善效应更显著。这表明,横向生态补偿通过促进上下游地区传统工业的绿色转型,推动高污染、高能耗行业退出,发挥了积极的生态改善作用。然而,上游地区以休宁县为代表,传统产业以矿产开采、木材加工为主,绿色技术吸收能力较弱,且补偿资金更多用于居民搬迁和基础设施建设,导致用于工业改造的投入相对有限。传统企业关停后,受限于交通条件和产业接续滞后,生态旅游等新兴产业难以快速成势,上游

地区更多依赖行政关停式的“被动防御型治理”,生态质量改善相对缓慢。下游地区以淳安县为例,依托更完善的工业基础和更强的绿色创新能力,通过广泛应用节能减排技术,设立绿色产业基金撬动社会资本,并依靠绿色产品溢价实现收益反哺,形成了完整的绿色转型闭环。这种“主动增值型治理”模式促使下游地区生态质量改善效果更加显著。据此,研究假说H4得到了验证。

从表9列(2)和列(5)的回归结果来看,农业设施化水平对横向生态补偿政策效果的影响在上下游地区存在显著差异。在上游地区,横向生态补偿与农业设施化水平的交互项系数为22.249,在1%水平上显著为正,表明农业设施化水平的提升有效放大了政策对生态质量的改善作用。而在下游地区,交互项系数为-3.400,且在1%水平上显著为负,说明农业设施化水平的提升削弱了补偿政策的生态改善效果。在上游地区,农业设施化主要体现在推广生态农资配送、节水灌溉和生态修复型基础设施建设,有助于控制农业面源污染、恢复农田生态功能,符合水源涵养区的生态定位。然而,在下游地区,设施农业发展则可能导致土地集约利用增强、生态空间被挤占,尤其在发展观光农业、特色农业过程中,设施扩张与生态保护目标之间存在矛盾。这种农业发展模式与生态功能定位的不匹配,成为下游地区农业设施化水平抑制横向生态补偿成效的重要原因。据此,研究假说H5得到了验证。

从表9列(3)和列(6)的回归结果来看,生态产业化效率在上下游地区对横向生态补偿效果的影响存在显著差

异。在上游地区,交互项系数显著为负,表明随着生态产业化效率的提升,补偿政策的生态改善效应有所减弱;而在下游地区,交互项的系数显著为正,表明生态产业化效率提升进一步放大了横向生态补偿对生态质量的提升作用。这一现象反映了上游地区在生态治理能力较低的初期阶段,通过外部补偿资金和政策支持能够实现较大幅度的生态修复,但随着治理效能的提升,生态系统修复趋于饱和,新增投入的边际效益递减,补偿政策的额外生态效应逐渐减弱。相比之下,下游地区以淳安为代表,治理体系较为完善,通过与横向生态补偿的协同联动,能够持续扩展生态治理带来的外部性效应,形成了治理能力提升与政策效果叠加的良性循环。这种流域治理体系建设水平的差异,成为上下游地区在生态产业化效率机制上表现出异向影响的重要因素。据此,研究假说H6得到了验证。

综上,横向生态补偿在新安江流域上下游地区通过不同作用机制促进了生态质量改善。上游地区通过工业绿色转型和农业设施化水平提升,增强了生态质量改善效应,但随着生态产业化效率提升,生态系统修复趋于饱和,补偿政策的边际效应有所递减。下游地区依托更雄厚的产业基础和更强的治理能力,工业绿色转型和生态产业化效率协同增强了生态质量改善效果,而设施农业扩张则在一定程度上削弱了补偿政策的生态效益。这种流域内部机制作用的地域差异,表明横向生态补偿政策应根据上下游地区发展基础和生态功能定位,精准匹配激励与治理策略,以实现生态保护与区域可持续发展的协同提升。

表9 作用机制检验结果

变量	上游地区			下游地区		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>D</i>	-0.190 (0.117)	-0.572*** (0.105)	1.475*** (0.470)	-9.153*** (1.132)	0.538*** (0.081)	-0.411*** (0.102)
<i>D</i> × 工业绿色 转型	0.107** (0.042)			2.135*** (0.256)		
<i>D</i> × 农业设施 化水平		22.249*** (2.056)			-3.400*** (0.417)	
<i>D</i> × 生态产业 化效率			-4.392*** (1.414)			0.871*** (0.272)
控制变量	是	是	是	是	是	是
县域固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
常数项	12.433*** (1.967)	12.497*** (1.880)	13.771*** (2.008)	16.618*** (3.020)	16.785*** (2.998)	17.119*** (3.092)
样本量	748	748	748	442	441	442
<i>R</i> <sup>2</sup>	0.670	0.710	0.699	0.684	0.690	0.664

注: \*\**P* < 0.05, \*\*\**P* < 0.01; 括号内数值为聚类到县级层面的稳健标准误。

## 5 扩展性分析

### 5.1 横向生态补偿对试点县生态质量水平的影响效应

上文分析了横向生态补偿对新安江流域生态质量水平的影响及其作用机制,但横向生态补偿在不同试点县的政策效应是否存在差异?试点县内部的生态质量水平及差距如何?据此,本研究对新安江流域上下游地区试点县分别进行回归,探究在试点县内部横向生态补偿试点所产生的生态质量改善效应。结果见表10。

表10 影响效应检验结果

区域	试点县	生态质量水平
上游地区	绩溪县	0.185*** (0.014)
	歙县	0.266*** (0.017)
	休宁县	0.164*** (0.017)
	黟县	0.213*** (0.017)
	祁门县	0.109*** (0.017)
下游地区	淳安县	0.109*** (0.024)

注:\*\*\* $P < 0.01$ ;括号内数值为以县为聚类变量的聚类稳健标准误。

由表10可知,横向生态补偿对各试点县的生态质量水平均有不同程度的提升作用。其中,上游地区歙县的生态质量改善水平最高(0.266),其次依次为黟县(0.213)、绩溪县(0.185)、休宁县(0.164)和祁门县(0.109)。下游地区淳安县的生态质量改善系数为0.109,改善幅度相对较小。从地理区位和治理责任来看,歙县作为新安江流域的重要干流区,承担着流域中上游水质保护核心区的角色,是水质控制考核的重点县。歙县地势复杂、水系密布,是横向生态补偿中重点治理区域,叠加当地近年来大力推进生态修复工程与面源污染治理,其生态质量改善效果最为显著。黟县虽然不位于新安江主干流,但作为黄山市的重点生态保护区,承担着生态屏障与涵养功能,尤其是以黟山自然保护区、生态旅游区为依托,加大了生态恢复投入,因此生态质量也有较大幅度提升。绩溪县作为新安江源头重要区域之一,虽然财政实力相对薄弱,但补偿机制叠加源头保护项目支持,推动了面源污染控制和生态修复,带来了较明显的生态改善。休宁县地处新安江发源地之一,属于干流上游重要县域,但受限于地势多山、分散开发以及农业活动面广,生态治理难度较大,因此其整

体生态质量改善虽显著,但提升幅度略低于歙县和绩溪县。祁门县位于新安江支流秋浦河流域,虽为生态补偿试点县,但本身生态基础较好,环境污染压力较小,横向补偿政策对其生态质量的边际改善相对有限。下游地区的淳安县,作为新安江流域重要受水区域,以千岛湖为核心资源,治理以来保持较高的生态环境质量。淳安县依托横向补偿资金,持续推进生态保护和绿色产业发展,如生态旅游和康养产业,但由于本身起点较高,生态质量改善幅度在绝对值上与祁门县持平,表明在高基准水平上实现了稳步提升。

总体来看,横向生态补偿政策在上游县域中(特别是歙县、黟县、绩溪县)产生了更加显著的生态质量改善效果,主要得益于流域干流地位、水质控制任务重以及补偿资金重点倾斜。而下游地区淳安县则在保持良好生态环境的基础上,通过绿色发展路径实现了生态质量水平的提升。

### 5.2 不同试点阶段试点县生态质量水平的政策累积效应

为进一步识别横向生态补偿在不同试点阶段对各试点县生态质量水平的影响差异,本研究对试点县的3轮试点阶段分别进行回归分析,结果见表11。

表11 新安江横向生态补偿对试点县生态质量水平的政策累积效应检验结果

试点县/	(1)	(2)	(3)
试点阶段	第1轮试点阶段	第2轮试点阶段	第3轮试点阶段
绩溪县	-0.594* (0.332)	-0.312 (0.332)	-0.411 (0.332)
歙县	0.589* (0.333)	0.749** (0.333)	0.978*** (0.333)
休宁县	0.502 (0.334)	0.483 (0.334)	0.854** (0.334)
黟县	0.592* (0.334)	0.670** (0.334)	0.874*** (0.334)
祁门县	0.659** (0.335)	0.580* (0.335)	0.930*** (0.335)
淳安县	0.879*** (0.335)	0.223 (0.335)	0.382 (0.335)

注:\* $P < 0.10$ ,\*\* $P < 0.05$ ,\*\*\* $P < 0.01$ ;括号内数值为聚类到县级层面的稳健标准误。

从绩溪县来看,3轮试点阶段生态质量改善效果整体较弱,且呈现一定程度的波动。尽管绩溪县作为新安江源头保护区,是横向生态补偿政策的重点支持区域,但受限于地形破碎、水土流失严重、农业面源污染治理压力大以及地方治理能力相对薄弱等因素,政策投入在短期内

难以转化为显著的生态质量提升,初期阶段甚至出现了局部生态退化现象。随着治理体系逐步健全,生态环境波动虽有所缓解,但整体改善幅度仍然有限。

从歙县来看,在3轮试点阶段呈现出持续增强的生态质量改善趋势。作为新安江干流控制性节点县,歙县在试点期间积极推进生态廊道建设和水质保护工程,同时依托优越的山水资源,大力发展生态旅游和文旅融合产业,推动生态系统服务能力持续提升,政策累积效应逐步显现。

从休宁县来看,在第1轮和第2轮试点阶段生态质量改善幅度较为平稳,在第3轮试点阶段改善幅度明显扩大。作为新安江发源地之一,休宁县通过实施农药集中配送、农业绿色转型和水生态修复措施,叠加第3轮试点中补偿标准提高与考核约束增强,显著促进了生态质量水平的提升。

从黟县来看,在3轮试点阶段均保持稳定的生态质量改善态势。依托丰富的自然资源和传统文化优势,黟县加快推进生态保护与绿色发展融合,通过生态修复工程与乡村旅游产业的协同发展,横向补偿政策效应得以持续释放,生态环境质量稳步优化。

从祁门县来看,在3轮试点阶段生态质量水平均实现正向提升,且改善幅度逐步放大。祁门县生态本底良好,在横向生态补偿政策支持下,以绿色农业发展和流域面源污染治理为重点,持续推进生态系统修复和环境质量提升,政策累积效应得到有效放大。

从淳安县来看,在第1轮试点阶段实现了较大幅度的生态质量改善,但在第2轮和第3轮试点阶段,改善幅度有所放缓。作为下游主要受水区,淳安县依托千岛湖生态保护和生态旅游发展,早期实现了生态环境质量显著提升;但随着生态基准水平不断提高,后期治理的边际效应递减,生态质量改善进入稳步提升阶段。

综上,随着横向生态补偿政策持续推进,新安江流域各试点县的生态质量水平持续提升,但受地理区位、生态基础、治理资源投入和产业发展路径等多重因素影响,县域间政策累积效应存在明显的空间差异和阶段性变化特征。

## 6 结论与政策建议

在新时代建设人与自然和谐共生的中国式现代化背景下,加快完善新安江横向生态补偿机制可以为建立基于县域生态利益协同的流域横向生态补偿机制提供示范样板。本研究立足山水林田湖草沙生命共同体理念,聚焦其一体化保护和系统治理路径,以新安江流域实施横向生态补偿试点为准自然实验,利用安徽省和浙江省70个县2007—2023年的面板数据,运用双重差分模型等方

法,从异质性分析、作用机制分析和试点县的具体分析等多重视角,探究新安江横向生态补偿对流域整体和上下游地区生态质量改善效应的理论机制和管理优化路径,得出如下主要结论。

第一,横向生态补偿试点提升了流域整体生态系统服务能力,实现了流域生态质量的整体改善,且该结论经过多种识别检验和稳健性检验之后依然成立。第二,从区域异质性来看,横向生态补偿试点仅对新安江流域上游地区生态质量改善有显著提升作用,而对下游地区生态质量改善效应则不显著。第三,从不同试点阶段的政策累积效应来看,横向生态补偿政策呈现出阶段性演变特征:第1轮试点阶段下游地区的生态质量改善效果更明显,第2轮试点阶段政策累积效应增速放缓,第3轮试点阶段上游地区的生态质量改善效果更显著,政策累积效应持续扩大。第四,从作用机制分析结果看,横向生态补偿试点在上游地区主要通过工业绿色转型和农业设施化水平提升促进生态质量改善,而下游地区则依托更雄厚的产业基础与更强的治理能力,通过工业绿色转型和生态产业化效率提升生态质量水平。第五,从试点县内部影响效应来看,横向生态补偿政策促进了各试点县生态质量水平的提升,但改善幅度存在差异,干流重点县的生态修复成效更加显著,源头区和初始生态质量较好的地区改善相对滞后,体现出县域地理位置、生态基础与产业结构差异对政策绩效的深刻影响。

基于以上分析结果和结论,提出以下政策建议。

第一,完善绩效考核与资金拨付联动体系,构建横向生态补偿长效机制。新安江流域生态质量改善不仅源于污染控制,更与生态系统服务能力提升密切相关。应将生态系统服务价值增量纳入补偿依据,通过第三方机构定期评估各县域的生态系统服务价值提升情况,并据此动态调整补偿额度与资金分配。通过明确生态治理的综合性目标,推动县级政府从短期指标应付转向面向流域整体功能优化的治理转型,夯实从污染控制走向系统治理、协同共治的制度基础。

第二,推动构建反向激励与产业协同机制,增强下游地区生态保护内生性。针对横向生态补偿对上游地区的生态质量改善效果显著,但对下游地区却不显著的现象,应从制度层面构建双向激励机制,鼓励下游以反向补贴、绿色技术输出、生态消费引导等形式,反哺上游生态产业转型。一方面,可推动碳汇、生态补偿积分等收益在上下游间合理流动,引导下游从“资金提供者”转变为“市场驱动者”;另一方面,鼓励下游地区建设生态产品认定平台、搭建上下游产业合作机制,实现生态产品订单定向、价值回购与利益共享,推动横向补偿从财政支付走向产业协

同,强化流域内区域互依、功能互补的治理格局。

第三,实施阶段递进式补偿策略,推动政策机制从集中治理向系统治理演进。针对横向生态补偿试点呈现出阶段性累积效应特征的现象,应动态调整补偿标准与治理要求,强化政策的弹性与响应性。初期以污染治理为主,中期侧重生态恢复,后期向价值实现延伸。应根据各县生态基础与治理进度,将试点县划分为“修复导向型”“转型提升型”“生态增值型”等类别,分别对应生态修复项目支持、绿色产业转型引导与生态产品市场化路径培育。针对生态修复任务重的地区,应加强初期治理项目储备与专项基金设立;针对已具备生态基础的地区,应引导其拓展生态产品认证、旅游开发、绿色金融试点等新路径,推动补偿政策从单一转向多元,从“阶段并行”走向“路径匹配”,提升资源配置效率。

第四,探索构建分区分类的治理责任合约,提升流域协同治理的制度化水平。目前新安江横向生态补偿机制在制度层面缺乏对上下游治理分工的明确认定与责任约束,合作更多依赖行政推动,难以实现稳定高效的“协同共治”治理格局。针对不同地区横向生态补偿试点的作用机制存在显著差异的情况,上游地区主要通过工业减排与农业设施化等方式开展生态修复,下游地区则依托较雄厚的产业基础与更强的治理能力,提升生态产业效率与实现生态价值转化。应以生态功能区划为基础,明确上游以生态修复和绿色治理为重点,下游侧重生态产品开发与绿色产业协同,推动建立分工清晰、责权明晰的治理合作机制。可通过制定流域生态治理责任清单、签署区域合作协议等方式,明确财政投入、项目安排、监管考核等关键事项的分工路径,同时建立第三方绩效评估机制和滚动调整机制,提升制度的执行力与适配性,实现从临时协调向制度化协同治理的转型。

第五,建立以关键节点为主导的县域共治机制,提升横向补偿的精准性与公平性。针对试点县内部生态质量改善幅度存在差异的现象,需打破“一刀切”模式,实施更为精准的县域分区分类治理策略。应在干流区、源头区、生态缓冲区等关键生态节点设立“主导型共治单元”,率先探索补偿标准分层分类设计,推动形成“干流带动-支流协同-源头托底”的县域协同格局。同时,可设立生态滞后区“追赶激励机制”,激励生态治理能力不足但潜力大的地区加速融入共治网络,构建“横向公平+纵向激励”相结合的流域治理格局。同时,应完善生态责任落实体系,将自然资源资产离任审计、生态文明建设考核与地方党政领导干部绩效考核深度挂钩,压实各级政府的生态保护责任,确保流域整体生态质量持续稳定提升。

#### 参考文献

- [1] CAI H B, CHEN Y Y, GONG Q. Polluting thy neighbor: unintended consequences of China's pollution reduction mandates [J]. *Journal of environmental economics and management*, 2016, 76: 86-104.
- [2] CHEN Z, KAHN M E, LIU Y, et al. The consequences of spatially differentiated water pollution regulation in China [J]. *Journal of environmental economics and management*, 2018, 88: 468-485.
- [3] WU H Y, GUO H X, ZHANG B, et al. Westward movement of new polluting firms in China: pollution reduction mandates and location choice [J]. *Journal of comparative economics*, 2017, 45(1): 119-138.
- [4] 孔凡斌. 完善我国生态补偿机制: 理论、实践与研究展望 [J]. *农业经济问题*, 2007, 28(10): 50-53.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] CHEN S, ZIVIN J S G, WANG H, et al. *Combating cross-border externalities* [R]. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2022.
- [8] 罗知, 齐博成. 环境规制的产业转移升级效应与银行协同发展效应: 来自长江流域水污染治理的证据 [J]. *经济研究*, 2021, 56(2): 174-189.
- [9] 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.
- [10] REID W V, MOONEY H A, CROPPER A, et al. *Ecosystems and human well-being-synthesis: a report of the millennium ecosystem assessment* [M]. Washington, D. C.: Island Press, 2005.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 毛显强, 钟瑜, 张胜. 生态补偿的理论探讨 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2002, 12(4): 38-41.
- [14] GAO X, SHEN J Q, HE W J, et al. An evolutionary game analysis of governments' decision-making behaviors and factors influencing watershed ecological compensation in China [J]. *Journal of environmental management*, 2019, 251: 109592.
- [15] BORGHESI S, CAINELLI G, MAZZANTI M. Linking emission trading to environmental innovation: evidence from the Italian manufacturing industry [J]. *Research policy*, 2015, 44(3): 669-683.
- [16] OLANDER L P, JOHNSTON R J, TALLIS H, et al. Benefit relevant indicators: ecosystem services measures that link ecological and social outcomes [J]. *Ecological indicators*, 2018, 85: 1262-1272.
- [17] 马庆华, 杜鹏飞. 新安江流域生态补偿政策效果评价研究 [J]. *中国环境管理*, 2015, 7(3): 63-70.
- [18] 湛仁俊, 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.
- [19] 王金南, 刘桂环, 文一惠. 以横向生态保护补偿促进改善流域水环境质量: 《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》解读 [J]. *环境保护*, 2017, 45(7): 14-18.



- [20] 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(4): 181-198.
- [21] 任以胜,龙一鸣,陆林. 流域生态补偿政策对受偿地区水污染强度的影响:以新安江流域为例[J]. 经济地理,2023,43(11): 181-189.
- [22] 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.
- [23] 杨兰,胡淑恒. 基于动态测算模型的跨界生态补偿标准:以新安江流域为例[J]. 生态学报,2020,40(17):5957-5967.
- [24] 李冬花,张晓瑶,王咏,等. 新安江流域生态系统服务演化过程及权衡协同关系[J]. 生态学报,2021,41(17):6981-6993.
- [25] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报,2015,30(8): 1243-1254.
- [26] 袁广达,蔡响. 生态系统服务价值下的新安江跨界生态补偿标准设计[J]. 生态经济,2022,38(2):142-149.
- [27] 丘水林,靳乐山. 生态产品价值实现的政策缺陷及国际经验启示[J]. 经济体制改革,2019(3):157-162.
- [28] 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.
- [29] PIGOU A C, ASLANBEIGUI N. *The economics of welfare* [M]. London:Routledge,2017.
- [30] COASE R H. The nature of the firm[J]. *Economica*,1937,4(16): 386-405.
- [31] 牛志伟,邹昭晞. 农业生态补偿的理论与方法:基于生态系统与生态价值一致性补偿标准模型[J]. 管理世界,2019,35(11): 133-143.
- [32] JAFFE A B, PETERSON S R, PORTNEY P R, et al. Environmental regulation and the competitiveness of US manufacturing: what does the evidence tell us? [J]. *Journal of economic literature*, 1995, 33(1): 132-163.
- [33] 曲富国,孙宇飞. 基于政府间博弈的流域生态补偿机制研究[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(11):83-88.
- [34] 余东华,孙婷. 环境规制、技能溢价与制造业国际竞争力[J]. 中国工业经济,2017(5):35-53.
- [35] NORTH D C. A transaction cost theory of politics [J]. *Journal of theoretical politics*,1990,2(4):355-367.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] PRETTY J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence [J]. *Philosophical transactions of the Royal Society B: biological sciences*,2008,363(1491):447-465.
- [39] 朱东波,任力. 环境规制、外商直接投资与中国工业绿色转型[J]. 国际贸易问题,2017(11):70-81.
- [40] 金刚,沈坤荣. 以邻为壑还是以邻为伴:环境规制执行互动与城市生产率增长[J]. 管理世界,2018,34(12):43-55.
- [41] 于冰,史颖. 新安江生态补偿环境经济效应及影响机制研究[J]. 生态经济,2023,39(7):157-164.
- [42] DAILY G C, et al. *Introduction: what are ecosystem services: nature's services* [M]. Washington, D. C.: Island Press, 1997: 1-10.
- [43] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(6630):253-260.
- [44] 徐彩瑶,任燕,翟郡,等. 数字乡村建设对浙江省山区26县林业产业发展升级的影响[J]. 林业科学,2024,60(5):67-88.
- [45] 孔凡斌,程文杰,徐彩瑶. 数字经济发展能否提高森林生态产品价值转化效率:基于浙江省丽水市的实证分析[J]. 中国农村经济,2023(5):163-184.
- [46] 孔凡斌,程文杰,徐彩瑶,等. 国家试点区森林生态资本经济转换效率及其影响因素[J]. 林业科学,2023,59(1):1-11.
- [47] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报,1999,19(5):607-613.
- [48] 王贤彬,聂海峰. 行政区划调整与经济增长[J]. 管理世界, 2010,26(4):42-53.
- [49] 周亮,车磊,孙东琪. 中国城镇化与经济增长的耦合协调发展及影响因素[J]. 经济地理,2019,39(6):97-107.
- [50] 李敏,姚顺波. 村级治理能力对农民收入的影响机制分析[J]. 农业技术经济,2020(9):20-31.
- [51] 周波,于冷. 农业技术应用对农户收入的影响:以江西跟踪观察农户为例[J]. 中国农村经济,2011(1):49-57.
- [52] 王景新. 集约农业与劳动投资分析[J]. 中国农村经济,1997(4):49-52.
- [53] 李静,杨娜,陶璐. 跨境河流污染的“边界效应”与减排政策效果研究:基于重点断面水质监测周数据的检验[J]. 中国工业经济,2015(3):31-43.
- [54] 孔凡斌,王宁,徐彩瑶. “两山”理念发源地森林生态产品价值实现效率[J]. 林业科学,2022,58(7):12-22.
- [55] 陈林,伍海军. 国内双重差分法的研究现状与潜在问题[J]. 数量经济技术经济研究,2015,32(7):133-148.
- [56] 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.
- [57] 罗知,李浩然. “大气十条”政策的实施对空气质量的影响[J]. 中国工业经济,2018(9):136-154.
- [58] 宋弘,孙雅洁,陈登科. 政府空气污染治理效应评估:来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J]. 管理世界,2019,35(6):95-108.
- [59] 周茂,陆毅,杜艳,等. 开发区设立与地区制造业升级[J]. 中国工业经济,2018(3):62-79.
- [60] XU D, YANG F, YU L, et al. Quantization of the coupling mechanism between eco-environmental quality and urbanization from multisource remote sensing data [J]. *Journal of cleaner production*, 2021,321:128948.

## From “pollution control” to “collaborative governance”: evaluating the ecological quality improvement effects of the Xin’an River horizontal ecological compensation pilot

KONG Fanbin<sup>1,2</sup>, LU Yu<sup>3</sup>, XU Caiyao<sup>3,4</sup>

- (1. College of Economics and Management, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037, China;
2. Institute of Digital Forestry & Green Development, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu 210037, China;
3. College of Economics and Management, Zhejiang A&F University, Hangzhou Zhejiang 311300, China;
4. Rural Revitalization Academy of Zhejiang Province, Zhejiang A&F University, Hangzhou Zhejiang 311300, China)

**Abstract** The Xin’an River horizontal ecological compensation pilot represents a typical case of China’s first institutional exploration of establishing a horizontal ecological compensation mechanism for watershed governance. This practice breaks away from the traditional end-of-pipe governance paradigm centered on water quality compliance and shifts toward an institutional model that integrates overall ecosystem functionality with regional collaborative governance. While the policy initially aimed to improve watershed water quality, a key question remains whether it can further enhance the overall ecosystem service capacity and promote coordinated improvements in ecological quality across upstream and downstream regions—both of which are critical for evaluating its overall effectiveness. This study used panel data from 70 counties in Anhui and Zhejiang provinces between 2007 and 2023 and applied a difference-in-differences (DID) method to assess the effects of the Xin’an River horizontal ecological compensation on ecological quality at both the watershed and subregional levels. It also examined the cumulative effects across different pilot phases, the underlying mechanisms, and the heterogeneity of improvements across pilot counties. The results showed that: ① Horizontal ecological compensation significantly improved the overall ecological quality of the watershed, a conclusion that remained robust under multiple verification tests. ② Heterogeneity analysis indicated that the policy significantly promoted ecological quality improvement in upstream areas, but the effect was not statistically significant in downstream regions. From a watershed-wide perspective, the cumulative policy effects intensified over time. Regionally, as the compensation mechanism was continuously optimized and assessment standards were gradually tightened, the policy’s cumulative effects gradually spread from downstream to upstream, fostering more synchronized ecological improvements and facilitating a collaborative governance pattern across regions. ③ Mechanism testing revealed that ecological improvements in upstream areas were mainly driven by green industrial transformation and increased agricultural infrastructure, while improvements in downstream areas stemmed from green industrial transformation and enhanced ecological industrialization efficiency. ④ The ecological impact of horizontal ecological compensation varied across different pilot counties. This study provides empirical evidence and policy insights for improving cross-regional ecological compensation systems, promoting collaborative watershed governance, and designing differentiated incentive mechanisms.

**Key words** Xin’an River Basin; horizontal ecological compensation; ecosystem service capacity; policy performance; difference-in-differences method

(责任编辑:王爱萍)