柯水发,陈津志,黄丹妮.国家重点生态功能区政策能否促进县域绿色经济增长？[J]. 中国环境科学, 2026,46(1):539-554.
Ke S F, Chen J Z, Huang D N. Can the policy of national key ecological functional zones promote green economic growth in counties? [J]. China Environmental Science, 2026,46(1):539-554.

国家重点生态功能区政策能否促进县域绿色经济增长？

柯水发,陈津志*,黄丹妮 (中国人民大学农业与农村发展学院,北京 100872)

摘要：国家重点生态功能区政策是我国生态治理制度体系的重要组成部分,国家重点生态功能区政策是否能够推动县域的绿色经济增长还有待进一步的探究.基于 2005 年至 2020 年中国县域面板数据,采用双重差分法和机器学习方法分析了政策对县域绿色经济增长的影响.研究发现,国家重点生态功能区政策显著促进了县域绿色经济的增长,幅度为 2.77%.机制分析表明,政策使得县域生态系统服务功能价值增加 6.59%、转移支付获得增加 11.71%、绿色技术创新幅度增加 1.63%、中度污染企业数量减少 11.72%,经济结构更加现代化.异质性分析表明,政策总体效应在西部地区较强.机器学习结果表明,福利基础较强、财政负担较大和功能区面积较大的地区政策对绿色经济增长的促进效果较弱.以上发现有利于深入理解国家重点生态功能区对地区绿色经济发展内在机理和不足之处,为因地制宜完善重点生态功能区政策进一步推动区域绿色经济增长提供了有益的参考.

关键词：国家重点生态功能区；县域经济；产业绿色转型；区域经济结构调整
中图分类号：X324 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-6923(2026)01-0539-16

Can the policy of national key ecological functional zones promote green economic growth in counties? KE Shui-fa, CHEN Jin-zhi*, HUANG Dan-ni (School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China). *China Environmental Science*, 2026,46(1)：539~554

Abstract：The National Key Ecological Function Zone Policy is an important part of China's ecological governance system, but whether it promoted county-level green economic growth remained unclear.Using county panel data for 2005~2020, the policy's impact on green economic growth was analyzed with a difference-in-differences design and machine-learning methods. The results show that the policysignificantly increased county green economic growth by 2.77%. Mechanism analyses indicated that the policy raised the value of ecosystem services by 6.59%, increased transfer payments by 11.71%, enhanced green technological innovation by 1.63%, and reduced the number of moderately polluting firms by 11.72%. The economic structure was further modernized. The heterogeneity analysis showed that the overall policy effect was stronger in western regions. Machine learning results show that the promotion effect was weaker where the welfare base was stronger, the fiscal burden was heavier, and the functional zone covered a larger area. These findings help us better understand how the policy promotes green economic growth and its shortcomings. The results provide useful reference for improving the policy according to local conditions and further promoting regional green economic growth.

Key words：national key ecological function zone；county economy；industrial green transition；regional economic restructuring

国家重点生态功能区政策被认为是中国可持续发展战略的重要构成.2011 年第一批国家重点生态功能区试点方案公布,试点县域实行严格的产业准入负面清单,并重点推动县域已有产业进行生态化、绿色化和现代化改革,通过减少污染排放的方式增强具有关键生态服务功能和生态环境承载力脆弱的地区的生态修复功能和生态环境承载力,减少地区经济发展对环境的负面影响.同年七月,财政部印发《国家重点生态功能区转移支付办法》,通过专项转移支付的方式,对区域进行生态保护补偿.自然生态环境是地区经济和社会可持续发展的基础,且国家重点生态功能区政策涵盖了全国多个县域,具有广泛的地理和经济差异性.因此探究该政策在县域层面对绿色经济发展的实际影响、政策推动绿色经济发展具体路径以及政策对区域经济结构的影响,具有重要的现实意义.但从已有研究成果来看,国家重点生态功能区政策对县域绿色经济增长的影响尚未得出一致认可的结论[1-2].因此,探究重点生态功能区政策对县域绿色经济发展和产业绿色转型的实际影响,特别是如何在政策的扶持下实现生态和经济的协调发展,是本文的主要研究目标.

收稿日期：2025-05-26
基金项目：国家社会科学基金一般项目资助(19BGL161)
* 责任作者, 博士研究生, chenjinzhi@ruc.edu.cn

在全球生态环境压力加剧和经济增长陷入困境的背景下,生态保护与经济发展之间关系引发了学界浓厚的探索兴趣,构建协调经济发展与生态环境保护的新发展模式已成为学界关注的前沿话题[3-6].已有研究多集中于生态保护政策对经济及环境的影响、政策外部性以及环境规制对地方产业结构和创新效率的影响等方面[7-9].生态保护政策除了直接推动政策地区生态修复和治理,还能够通过提供生态补偿、优化资源利用方式和提升生态系统承载力等方式推动区域经济系统可持续发展,其成效取决于地方政府的治理模式与财政支出意愿[10].在改革过程中,双线补偿机制和监管政策起到了有效的强化激励作用[11].虽然面对绿色经济发展的迫切要求,保护环境、放缓经济高发展速度已经成为主流诉求,但绿色支出对环境污染的抑制存在滞后现象,因此国际上对于绿色经济发展也有另外的声音:即要求立即采取严格的环境治理行动对发展中国家是不合理的,帮助发展中国家人民获得安全饮用水和卫生设施比治理城市空气污染要重要得多[12-13].因此,在注重环境保护的同时也应该考虑现实问题,理应将保护绿色和民生结合起来,才是真正的可持续发展[14].

与国家重点生态生态区直接相关的研究多集中功能区政策的经济效应、环境效应和区域异质性影响.环境效应方面,国家重点生态功能区政策带来的转移支付对地方政府生态保护的财政起到了关键性的支持作用,有力的减少了生态脆弱地区的经济压力,推动了县域的生态系统服务水平提升,尤其是在水土保持型和生物多样性维护型功能区[15-16].政策通过约束高污染准入与优化资源配置,引导产业结构调整、提高绿色产业比重并淘汰落后产能,构成县域绿色转型的关键机制[17].然而,重点生态功能区政策对区域经济系统的具体影响,学界仍存在一定的分歧.一方面,在中央设立的专项转移支付和技术、人才和资源等政策倾斜下,地方政府通过一系列的相关经济改革措施,推动了试点县域经济发展和民生福祉的改善[18].另一方面,生态功能区严格的产业准入限制和环境监管措施也在一定程度上限制了地区经济的发展,特别是对以传统产业如畜牧业为主的县域经济体可能产生负面冲击[19].但从长远的角度看来,政策通过放松地区经济发展考核压力、提高环境监管的方式,将倒逼地方探索新模式,通过改善生产效率和转变发展方式来减轻产业发展压力,实现环境质量与产业转型的相容发展[20].最后,发达地区适应性更强,试点多与欠发达县域重合、转型压力更大,这种差异性使得重点生态功能区政策在不同县域的效果呈现出明显的异质性,进一步加大了政策的评估难度[21].

尽管现有文献已经对国家重点生态功能区政策的环境效应与社会效应做出了一定的探索,但对政策的县域绿色经济增长效应、产业结构调整效果及其区域异质性的系统性研究依然不够充分.现有研究多聚焦单一经济或生态效应,较少关注县域整体提升与长期生态—经济平衡.基于此,本研究试图解答以下几个话题:国家重点生态功能区政策是否推动了县域绿色经济的增长;政策对县域绿色经济的影响路径是什么;政策效应是否存在显著的区域异质性.本文的边际贡献在于:首先,该项研究基于大规模全国县级面板数据和双重差分模型验证了国家重点生态功能区对区域绿色经济增长的贡献,并对其区域异质性进行了探究.其次,对产业结构调整、污染企业数量、绿色专利数量、生态系统服务价值以及转移支付金额等多个关键影响路径进行了探究,从多角度揭示国家重点生态功能区政策对县域绿色经济增长的影响机制.最后,基于研究结论提出了生态与经济协调发展的可行路径,并从经济收益、生态价值与产业优化三方面给出区域适配性建议.

1 政策背景与理论分析

1.1 政策背景

为改善国土资源的空间分布,促进生态文明体制的构建,2010 年底国务院发布了首个全国性国土空间开发规划《全国主体功能区规划》,在首期试点成效基础上,国家发展改革委员会于 2017 年新增240 个县作为试点区域.功能区以生态产品供给为主,兼顾传统产品供给,核心任务是提升生态供给能力并严格约束高强度工业化与城镇化.国家重点生态功能区所采用的主要政策在于严格的产业准入、生态考核、转移支付以及各类恢复植被保护生物多样性等环境工程和措施:第一,实施开发限制措施,通过制定并执行更为严格的环境标准来控制产业进入

门槛.第二,控制建设占地与交通设施扩张,预留野生动物迁徙通道,实施集中、点状开发.第三,因地制宜培育生态旅游、农林牧渔加工与休闲农业等生态产业.第四,实施生态移民政策,有序地将部分居民从生态脆弱地区迁移到附近城镇的安置点以及区域内的县城和主要城镇.第五,提升地方基础设施水平,在自然条件允许的区域,积极推动清洁能源如生物质能、风能、太阳能和地热能的广泛应用.第六,重点生态功能区专项转移支付.自 2011 年起,为了激励地方政府加大对生态环境保护的工作力度,中央财政在均衡性转移支付中特别设立了针对国家重点生态功能区的资金支持机制.

1.2　理论分析

经典的环境经济学对经济增长与生态环境之间的关系进行了深入的探讨,形成了环境库茨涅兹曲线、资源诅咒和富饶的贫穷等核心理论.但理论演进表明社会经济与自然系统是交互耦合,环境与发展并非必然权衡.环境库茨涅兹曲线(EKC)认为经济增长与环境质量之间呈现倒 U 型特征,工业化初期总伴随一定程度的高污染,这种先污染后治理的路径对于以往的工业化进程具有一定解释力,但在技术与规制匮乏的低收入、资源依赖地区易陷入高污染锁定,且达到收入阈值方可转向的适用性受限[22],因此有学者认为经济发展和环境保护之间的转换并不必然要达到某一收入临界值[23].在此背景下,功能区政策通过严格准入、绿色技术推广与专项生态补偿等方式,鼓励直接采用先进清洁技术,加速经济结构由传统高耗能模式向绿色低碳模式转型升级.这一调整路径与制度经济学中制度创新和激励重构相符,通过调整考核和激励制度,使地方政府和企业在追求自身利益最大化的同时选择更加环保路径.资源诅咒理论则指出资源富集容易产生产业单一、创新不足与脆弱性等弊端[24].因此,适当的环境规制有利于破除资源依赖型城市面临的发展瓶颈[25].功能区政策对资源丰富的县域实施产业准入限制和资源保护措施,通过发展生态友好型产业、严格控制资源开发和转移支付提供经济支持,减轻区域经济发展对自然资源的依赖,推动高质量发展,以避免陷入“富饶的贫穷”陷阱.基于上述分析,本文提出假说 1:国家重点生态功能区政策能够促进县域绿色 GDP 增长.

1.2.1　生态系统服务价值与转移支付

生态系统具有为社会经济生产和文化生产提供多种物质产品和非物质产品的重要功能,是实现区域可持续发展的基础[26-27].国家重点生态功能区通过设立保护目标与政策激励,推动县域生态系统修复和保护,提高了区域的森林覆盖率和水土保持能力,增强了生态系统的承载能力[28].由此带动了县域的生态农业、生态旅游业等低污染产业的高质量发展,在减轻环境压力的同时创造了可观的经济价值.同时,中央财政还实行税收返还和转移支付,以弥补地方因限制开发带来的财政损失,支持地方的基础设施建设、生态保护和生态经济发展.并改善医疗、教育等公共服务,推动了良好的经济发展基础的形成[29].此外,国家重点生态功能区的财政支撑措施在生态环境质量较差、经济发展水平相对滞后的地区,能够有效的调动地方政府保护生态的积极性.但曹鸿杰、卢洪友[30]的研究表明,专项转移支付可能受绩效考核与制度设计约束,未能充分支撑生态补偿与资源价值提升.因此,国家重点生态功能区对县域转移支付的具体影响需要进一步探究.结合以上分析,本文提出假说 2:增加生态系统服务价值、提高转移支付获得是影响重点生态功能区县域绿色 GDP 的重要渠道.

1.2.2　产业准入清单与经济结构调整

重点生态功能区多位于经济发展较为滞后的区域,功能区政策允许放松对政策试点县的单纯经济发展考核,并通过产业准入清单对区域产业结构进行严格管控,推动地区产业结构绿色转型.在“环境政策—企业—产业—经济影响”的逻辑关系链中,环境政策与产业的升级、转型、转移、淘汰等密切相关[31].负面清单通过对高污染、高能耗企业的入场限制,从源头上减少了功能区内的污染企业数量,并推动了现存企业更多的考虑使用绿色技术,新技术的使用还使得企业在生产效率方面得到优化,促进了高附加值、低污染的绿色经济发展,推动区域特色产业集群的形成[32-33].这与经典的波特假说相符合,虽然国家重点生态功能区严格的产业准入负面清单制度,可能会在一定程度上对试点县域的产业发展造成负面影响,但环境规制可以激发企业的技术创新活力,从而带来“创新补偿效应”[11].绿色技术的普及和准入门槛将使得生态农业、绿色制造业等新兴产业快速发展,逐渐形成以低污染、可持续为特征的区域产业结构[18].而政策压力下产业结构

调整升级将显著提高地区产业的发展质量,随着对过时产能的淘汰和产业结构的优化升级,区域产业发展对资源和环境造成的压力将大幅度减轻[34].因此,本文提出假说 3:国家重点生态功能区政策通过减少污染企业数量、推动绿色技术创新和调整区域产业结构促进县域绿色经济增长.

1.2.3 区域产业基础与资源禀赋异质性 由于中国区域间的经济发展水平、资源禀赋、产业基础差异显著,国家重点生态功能区政策的实施效果呈现明显的区域异质性.首先,东部产业与人才基础较强、绿色创新能力突出,更易在规制推动下实现绿色升级,而中西部资源依赖度高、转型阻力大,短期承压更强[21].但比较优势理论认为,发达地区会更加倾向于发展具有比较优势的产业,并将逐渐失去比较优势的产业向落后地区转移,这使得东西部都能够从国家重点生态功能区的政策实施中获得更大的经济利益,因此虽然政策会展现出明显的异质性特征,但不同区域的县域均能实现绿色经济的增长.其次,区域的资源禀赋将会影响政策的实施路径,生态旅游资源丰富的地区更容易借助自然资源优势发展生态产业,而缺乏生态资源的区域则难以实现同样的绿色经济效益[35].最后,企业技术创新能力的区域差异也使得政策效果不一,创新能力较强的地区能够在环保政策的压力下实现产业技术升级,而创新能力弱的地区则面临更多挑战.已有研究表明,功能区政策在收入效益、环境效益、产业结构转型等多方面的影响均存在东西部的异质性[19-20].基于以上理论分析,本文提出假说 4:重点生态功能区政策对绿色经济的促进作用具有明显的区域异质性.理论分析框架如图 1 所示.

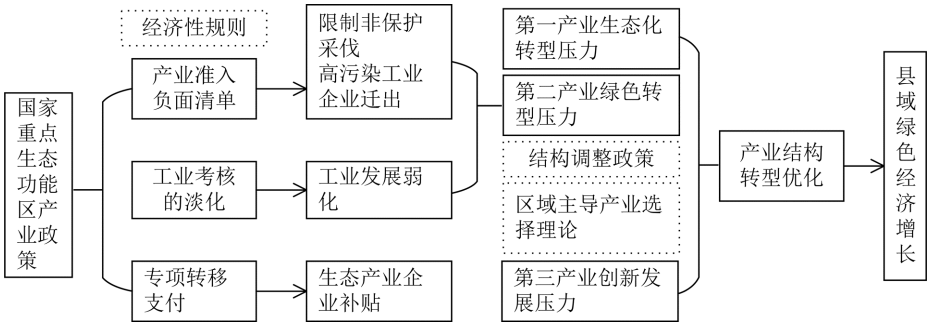


图 1 理论分析框架

Fig.1 Theoretical analysis framework diagram

2 数据来源及模型设定

2.1 数据来源及变量选取

本文基准回归使用经济数据主要来源于 2005~2020 年《中国县域统计年鉴(县市卷)》;NDVI 数据来源于 Wang[36]发布的 1982~2020 年中国生长季月平均 NDVI 数据集,空间分辨率为 0.05°×0.05°;大气污染物数据来源于 EDGAR 全球大气研究排放数据库(https://edgar.jrc.ec.europa.eu);水质数据来源于 Luan 等[37]发布的 2000~2023 年我国湖泊水库高分辨率水质数据集;主要涉及的试点县名单来自于生态环境部发布的国家重点生态功能区第一批县域名录及发展改革委员会发布的第二批新增名录,筛出异常值和缺失值后共 477 个覆盖县.在数据年份选取上,以政策介入前 5 年为起始年,为进行充分的政策实施前后对比,将数据延伸至政策实施后 10 年,共 29321 个样本,1834 个县域.在数据处理过程中,为反映县域经济的绿色增长,本文用县级绿色 GDP 作为因变量,自变量为是否为国家重点生态功能区覆盖县.

表 1 绿色 GDP 评价指标体系

Table 1 Green GDP index evaluation system

一级指标	二级指标	指标性质	权重
传统国民经济	县域 GDP	正向指标	0.7579
生态产出	NDVI	正向指标	0.0566
自然资源损益	SO_2 排放量	负向指标	0.0017
	NO_x 排放量	负向指标	0.0032
	$PM_{2.5}$ 排放量	负向指标	0.0036
	TN 浓度	负向指标	0.0895
	TP 浓度	负向指标	0.0427
	COD 浓度	负向指标	0.0429
环境治理投入	环境治理成本	负向指标	0.0019

注:TN、TP、COD分别为总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(CODMn).

本文参考董涵等[38]、沈菊琴等[39]、贾湖等[40]的研究,考虑到县域数据获取的限制以及重点生态功能区政策主要是限制工业企业进入、推动污染企业绿色转型以及植被恢复等,构建出如表 1 所示的绿色 GDP 指标体系,并利用熵值法计算各县域综合得分.

此外,参考尹向飞[41]的研究,利用DEA模型计算各县域的绿色经济增长率,并在稳健性检验中替换绿色 GDP 用于验证指标的稳健性.具体而言,本研究DEA 模型的投入指标为县域资本存量、人口密度和环境治理成本,期望产出指标为县域 GDP 和 NDVI,非期望产出为 SO_2 排放量、NO_x 排放量、$PM_{2.5}$ 排放量、TN 浓度、TP 浓度以及 COD 浓度.参考已有学者对于国家重点生态功能区政策对县域经济的研究文献[42-43],本文的控制变量主要包括:地区基本情况、绿色生态水平和自然条件三个部分.经对缺失值和缩尾处理后,共 29321 个样本,变量定义与描述性统计量见表 2.

表 2　变量定义及描述性统计

Table 2　Variable definition and descriptive statistics

变量名称	变量定义	单位	样本数量	均值	标准差
县域绿色 GDP	绿色 GDP	–	29321	0.2604	0.0674
重点生态功能区	是否被确定为政策县,是=1,否=0	–	29321	0.1242	0.3298
人口基础	县域年末户籍人口数量	万人	29321	50.44033	35.5472
医疗基础	人均医疗卫生床位数	床/万人	29321	34.7582	23.1774
福利基础	人均社会福利收养性单位数量	个/万人	29321	0.3928	0.4913
财政能力	地方政府预算内支出占 GDP 比重	%	29321	0.2665	0.3281
覆盖面积	国家重点生态功能区覆盖面积	km^2	29321	3124.57	6507.705
林地面积	县域林地面积	km^2	29321	921.177	1639.869
降雨量	县域年平均降水量	mL	29321	0.0033	0.0015
气温	县域年平均气温	℃	29321	13.8259	5.8135

2.2　模型设定

本研究聚焦于国家重点生态功能区政策对县域绿色经济增长的影响研究,因变量是绿色GDP,自变量为县域是否纳入重点生态功能区管理作为政策干预,为哑变量.由于重点生态功能区政策作为地区型政策,并未实现全国铺开,且存在政策冲击前样本与从未受到政策冲击的样本,符合双重差分法处理组与对照组的要求,且该政策也可视为准自然实验.此外,由于国家重点生态功能区试点县域分为 2011 年和 2017 年两个批次,因此本研究将采用多时点双重差分法进行实证分析,基准回归模型设定如下:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \mathrm{did}_{it} + \beta X_{it} + \delta_{\mathrm{province}} + \delta_{\mathrm{county}} + \gamma_t + \mu_{it} \quad (1)$$

式中:i 和 t 分别代表县域和年份;$\ln y_{it}$ 是 i 县在 t 年的绿色 GDP 取对数;did_{it} 为处理组虚拟变量,当 i 县在 t 年被选为覆盖县时,did_{it}=1,否则 did_{it}=0;X_{it} 为控制变量向量组;γ_t 是时间固定效应;$\delta_{\mathrm{province}}$ 和 δ_{county} 分别为省份固定效应与县域固定效应,控制区位、气候、资源禀赋等影响经济绩效的县域固有特征与省份固定特征;μ_{it} 是随机扰动项.这里我们选择同时控制省份固定效应和县域固定效应的原因是我国的省份拥有充足财政分配权利以及政策协调权利,不同省份在经济、产业结构、自然资源禀赋和发展目标上面的差异可能会导致各省份重点生态功能区政策的具体实施效应产生变化.

为进一步解决样本的内生性问题,保证回归系数的无偏性以识别更准确的因果关系,本研究运用倾向得分匹配—双重差分法(PSM-DID)作为稳健性检验方法之一.双重差分法有效性须具备两个前提条件,即随机事件和随机分组,从实施区域选择来看在规划国家重点生态功能区的时候,政府主要着眼于地理区位和地区的生态资源,试点县和非试点县的城市发展特征可能存在较大差异,因此国家重点生态功能区这一政策冲击并不满足随机分组的假设.本文在 DID 前基于 PSM 为实验组匹配具有相似特征的控制组,运用 Logit 回归测算实验组与控制组变量倾向得分,并根据倾向得分,采用 3 阶近邻匹配法进行样本匹配.基于 Logit 回归估计县域被纳入国家重点生态功能区的概率模型如下:

$$\text{probit}(\text{treat}=1)=\theta+\pi X_{it}+\mu_{it} \quad (2)$$

式中:treat 代表是否受属于政策试点县,X_{it} 为控制变量向量组,μ_{it} 为随机扰动项,π 和θ分别代表估计系数和截距项.

3 实证结果

3.1 基准回归

本部分使用多时点DID模型进行基准回归,表3展示了基准回归的结果.我们首先进行了不包含控制变量的回归,其结果如表 3 列(1)所示,在仅包含核心因变量和自变量的情况下,重点生态功能区政策的实施使得试点县的绿色 GDP 上升了 0.0050,结合2010 年试点县平均绿色 GDP 指数 0.2059,提升幅度约为 2.43%,初步验证了前文的研究假说.为了进一步提高回归的置信度,在随后的回归中采取逐步加入控制变量的方法,表 3 第(2)列和第(3)列分别为仅加入地区基本情况(人口基础、医疗基础、福利基础、财政能力)、同时加入城市基本情况和绿色生态水平(覆盖面积、林地面积)的回归结果,第(4)列为加入全部控制变量的回归结果,第(5)为额外加入省份控制变量的回归结果.可以看出,在逐步加入控制变量的过程中,核心自变量的系数变大且显著性保持在 1%的水平,模型的R2也逐渐变大,这表明模型对政策效应具有良好的解释性.以第(4)列的回归结果为基准,重点生态功能区政策的实施使得试点县的绿色 GDP 上升了 0.0057,综合提升幅度为 2.77%.以上结果总体说明了功能区政策对试点县绿色经济发展水平的积极影响,这一结论打破了以往有关于环境保护政策将在一定程度上限制当地经济发展的固有印象,也为“两山理论”提供了有力的证据支持.

表 3 重点生态功能区政策对县域绿色 GDP 的影响

Table 3 Impact of key ecological function zone policies on county green GDP

变量	绿色 GDP				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
DID	0.0050***	0.0060***	0.0060***	0.0057***	0.0055***
	(0.0011)	(0.0010)	(0.0010)	(0.0010)	(0.0010)
控制变量	否	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是
省份固定效应	否	否	否	否	是
截距项	0.2598***	0.1839***	0.1770***	0.2319***	0.2554***
	(0.0001)	(0.0208)	(0.0556)	(0.0571)	(0.0356)
R^2	0.8845	0.8866	0.8868	0.8873	0.8899
观测值	29321	29321	29321	29321	29321

注:括号内为聚类稳健标准误,*** P<0.01, ** P<0.05, * P<0.1.

3.2 平行趋势检验与政策动态效应

参考已有的文献,本文在基准回归的基础上通过事件研究法进行平行趋势检验[44].首先,将重点生态功能区政策覆盖时点的前一期作为基期,然后生成各政策年份相对于政策当期的相对时间虚拟变量并通过其替换基准模型的政策变量,具体模型如下:

$$y_{it}=\alpha_0+\sum_{i=-6}^{-2}\alpha_{i+7}D_i+\sum_{i=0}^{9}\alpha_{i+6}D_i+\beta X_{it}+\varepsilon_i+\varphi_t+\lambda+\mu \quad (3)$$

式中:D_i 是相对于重点生态功能区政策实施年份的虚拟变量,包括政策覆盖前五期、政策覆盖当期及政策覆盖后九期,X_{it}、ε_i、φ_t、λ、μ分别为控制变量向量组、个体、时间和省份固定效应和随机扰动项.从图 2 中可以看出政策覆盖前的政策效应基本与基期相同,这表明功能区试点县绿色经济的增长是由政策效应引起的而非事前差异,DID模型适用的前提条件满足.政策动态效应方面,从 1 期也就是政策正式推行一年后的时点开始,至第 7 期政策的动态效应虽然存在一定程度的波动,但是整体上处于逐年增加的趋势.这表明重点生态功能区政策推动县域绿色经济增长的效果在短时间内可能不够明显,但是随着该县被确定为重点生态功能区的年限增长,政策对当地的绿色经济发展的推动作用会逐渐显现并不断增强.这与王

煜昊等人[45]对跨境电商试验区赋能企业供应链韧性的研究结论类似,卢盛峰等人[46]在对政府迁移政策影响土地溢价的研究中也观察到了类似的政策动态特点.值得注意的是,随着重点生态功能区政策实施年限的增加,其政策效应在政策推行九年后出现了一定程度的减弱.以上结果表明有必要进一步强化国家重点生态功能区政策,以持续促进县域绿色经济增长.

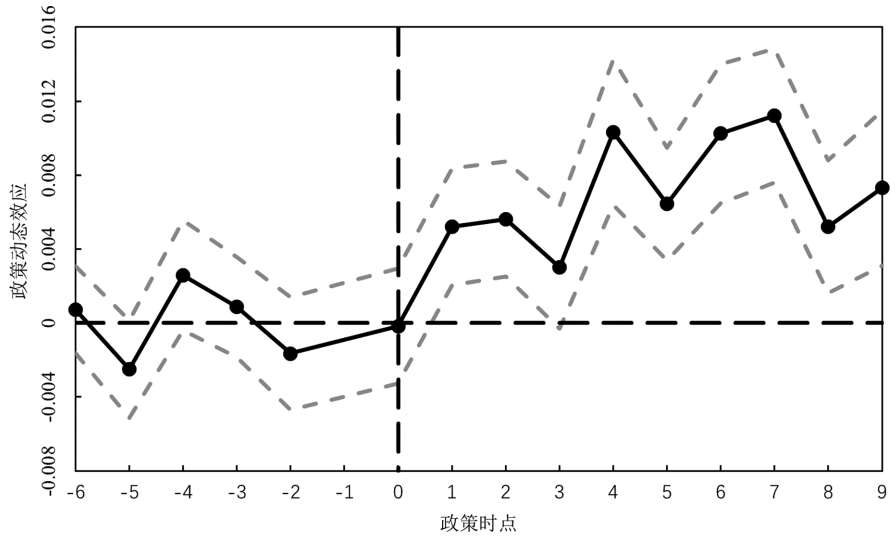


图 2　平行趋势检验

Fig.2　Paralleltrend test

黑色实线和黑色圆点代表各期估计系数的变化情况,灰色虚线代表置信区间

3.3　稳健性检验

3.3.1　替换样本 PSM-DID　本部分将通过倾向得分匹配(PSM)的方法进行样本筛选.鉴于截面 PSM 和逐年 PSM 在不同的方面各有优劣,因此本研究分别采用了截面 PSM 和逐年 PSM 的方法进行样本筛选与匹配,其结果如表 4 所示.附件[61]中的图 1 和图 2 分别展示了截面 PSM 以及逐年 PSM 匹配前以及匹配后实验组与对照组倾向得分值的核密度分布,可以看出通过 PSM 的方法进行样本筛选后,实验组与对照组的差距明显缩小,这表明 PSM 的匹配策略是有效的.表 4 第(1)列展示了通过截面 PSM 方法进行样本筛选的回归结果,第(2)列则展示了通过逐年 PSM 方法进行样本筛选的回归结果,可以看出无论是通过截面 PSM 还是逐年 PSM 筛选样本得出的回归结果均显著支持重点生态功能区促进了试点县的绿色 GDP 增长,这表明基准回归的结果是稳健的.

3.3.2　更换因变量和样本子区间　为了避免由变量测量误差所引起的偏误,本研究将通过更换因变量的方式进行稳健性检验.因此本部分将使用绿色 GDP 增长率替换因变量.表 4 第(3)列反映了替换因变量的回归结果,与基准回归的结果相同,自变量的回归系数在 1%的水平下显著为正.此外,考虑到 2020 年我国的宏观经济因素受到较大的外部冲击,因此本研究考虑剔除 2020 年的样本,其结果如表 4 第(4)列所示,可以看出即使在剔除 2020 年的数据之后,自变量的回归系数显著性及其方向仍然与基准回归一致.以上两个结论进一步的验证了基准回归的稳健性.

3.3.3　安慰剂检验　为了进一步验证基准回归的结果并非随机形成,同时排除国家重点生态功能区试点县内同期其他非政策因素以及相似政策对县域绿色 GDP 的影响,从而证明国家重点生态功能区政策效应的真实性.参考已有研究,通过构造虚拟政策时间和随机筛选国家重点生态功能区域内县城并随机产生政策实施时间并将上述过程重复 1000 次从时间和空间两个维度进行安慰剂检验[47-49].造虚拟政策时间采取将政策时点提前 4 年的方式,其结果如表 4 第(4)列所示,政策时间提前后 DID 回归系数不再显著.随机抽取样本安慰剂检验的结果如图 3 所示,可以看出仅有极少部分的随机抽取样本的回归结果是显著的,且基准回归系数 0.0057 远大于 0.001,这表明基准回归的估计结果不是由随机因素导致的.

3.3.4 排除其他政策干扰 最后,为了排除同期其他相似政策干扰,以得出纯粹的因果效应,本文选择将政策窗口期为 2014 年和 2015 年的生态文明先行示范区政策以及政策窗口期为 2017 年、2018 年、2019 年和 2020 年的生态文明示范市县政策作为干扰政策纳入回归模型,具体试点县域名单详见国家发展改革委员会公布的第一批和第二批生态文明先行示范区建设名单以及生态环境部公布的第 1~4 批国家生态文明建设示范市县名单.回归结果如表 4 第(6)、第(7)、第(8)列所示,DID2 和 DID3 分别为生态文明先行示范区以及生态文明建设示范市县政策的虚拟变量,在排除了其他政策影响之后,国家重点生态功能区政策对县域绿色 GDP 的影响仍然在 1%的水平下显著为正.

表 4 稳健性检验结果

Table 4 Results of robustness test

变量	截面 PSM-DID	逐年 DPM-DID	替换因变量	样本子区间	构造虚拟政策时间	排除其他政策	排除其他政策	排除其他政策
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
DID	0.0039***	0.0021**	0.0350***	0.0061***	0.0017	0.0053***	0.0058***	0.0054***
	(0.0009)	(0.0009)	(0.0126)	(0.0011)	(0.0013)	(0.0010)	(0.0010)	(0.0010)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
DID2						0.0055***		0.0055***
						(0.0011)		(0.0011)
DID3							−0.0033*	−0.0031
							(0.0010)	(0.0020)
截距项	0.1923***	0.2481***	0.8905***	0.2388***	0.2373***	0.2312***	0.2317	0.2311***
	(0.0478)	(0.0368)	(0.4250)	(0.0566)	(0.0572)	(0.0571)	(0.0571)	(0.0572)
R^2	0.8997	0.9054	0.2779	0.8912	0.8870	0.8877	0.8874	0.8878
观测值	27314	26566	22913	27488	29321	29321	29321	29321

注:括号内为聚类稳健标准误,*** P<0.01, ** P<0.05, * P<0.1.

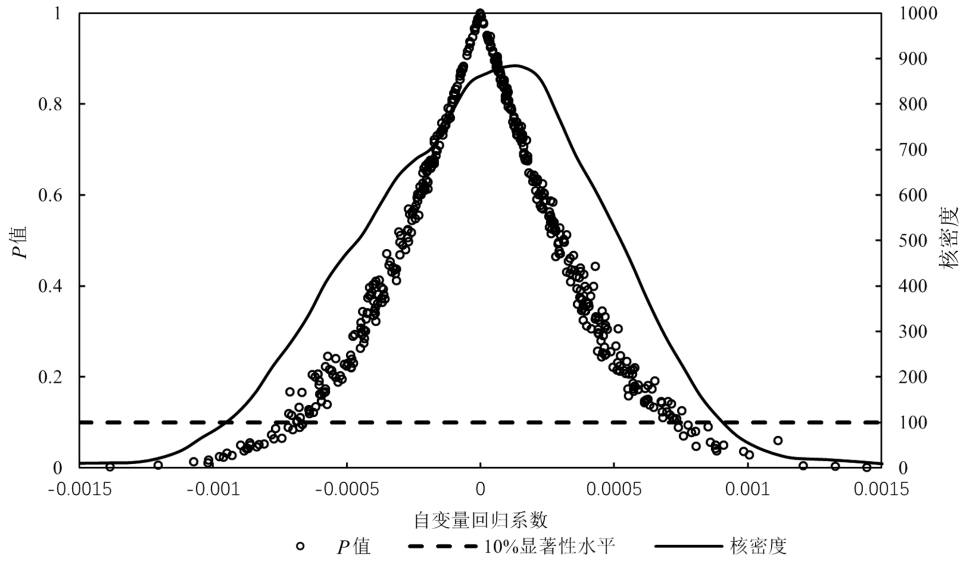


图 3 安慰剂检验

Fig.3 Placebo test

4 内在机制探讨

前文对重点生态功能区推动县域绿色 GDP 增长的总体效应进行了考察,但是以上结论并未能对其内在机理进行更深入的剖析.那么重点生态功能区政策是如何影响县域的绿色 GDP 发展的?为了

解释这个问题,本节将对其内在机制进行探讨.根据前文的理论分析,本研究将重点生态功能区的影响机制分为两个部分.

4.1　经济效应

表 5　重点生态功能区对县域生态系统服务价值及转移支付的影响

Table 5　Impact of key ecological function zones on the value of county ecosystem services and transfer payments

变量	生态服务功能价值	转移支付
	(1)	(2)
DID	0.0659***	0.1171***
	(0.0248)	(0.0151)
控制变量	是	是
固定效应	是	是
截距项	14.4075***	7.6724
	(1.5606)	(0.6149)
R^2	0.9087	0.8738
观测值	5308	29034

注:括号内为聚类稳健标准误,*** P<0.01, ** P<0.05, * P<0.1.

首先是政策直接经济效应.生态系统服务功能价值能够通过多种途径进行转换,对试点县的经济发展提供支撑.此外,为了保障重点生态功能区的高质量建设与发展,同时平衡由生态建设工程典型的正外部性特征导致的县域成本与社会成本错配,中央政府将对试点县进行转移支付补偿.因此,本部分将探究功能区政策是否增加了试点县生态服务功能价值以及转移支付额.本部分生态系统服务功能价值数据来自于中国科学院资源环境科学数据平台的遥感栅格数据(数据来源:https://www.resdc.cn/DOI/DOI.aspx?DOIID=48),通过处理与各县域进行匹配,限于原始数据年份仅包含 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年五个年度的数据,因此经过数据匹配后获得 2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年可用数据,分为政策前两期与政策后两期.转移支付数据由于目前公开的数据年份少、层级有限且不连续,因此参考马光荣等[50]的做法,使用县域一般财政预算支出减去县域一般财政预算收入作为代理变量.县域一般财政预算支出和收入数据来自于《中国县域统计年鉴》,数据跨度为 2005~2020 年.表 5 第(1)列的结果表明,功能区政策使得试点县的生态服务功能价值提高了 6.59%,这表明该政策不仅仅是推动了试点县自然生态环境的修复,更是提高了当地生态环境对经济和社会发展的承载能力.表 5 第(2)列的结果表明,与非覆盖县相比,覆盖县所获得的转移支付提高了 11.71%.转移支付作为最重要的生态补偿手段之一,是平衡区域环境保护成本和社会环境保护成本的最直接、最有效的方式,通过提高对重点生态功能区试点县的转移支付补偿,有效的推动了当地的经济发展与转型,也为当地的社会建设注入了新的动力.

4.2　产业结构调整效应

其次是重点生态功能区的政策结构调整效应.本部分将从污染企业数量、绿色技术创新和三次产业结构三个方面展开探究.污染企业的数据来源于国家统计局建立的中国工业企业数据库(数据来源:http://microdata.sozdata.com/),该数据库共包含 1998~ 2015 年全国工业企业数据,因此本研究选取该数据库 2005~2015 年十年企业面板数据作为研究样本,分为政策前五年和政策后五年.同时,参考余东华等[51]的研究,按照工业企业的门类大类码,将企业分为轻度、中度和重度污染企业三类,由于篇幅限制,详细污染企业分类见附件[61].表 6 第(1)、(3)、(5)列分别展示了重点生态功能区政策对县域轻度污染企业数量、中度污染企业数量和重度污染企业数量的影响,从展示结果可以看出该政策使得试点县的中度污染企业数量显著减少了 11.72%,这表明产业准入清单和区域产业结构绿色转型策略得到了严格的执行.但是该政策对重度污染企业的数量并没有显著的影响,可能的原因在于重度污染企业数量主要包括资源开采类企业,该类企业作为一些县域的重要经济产出企业,短时间内难以替代.这与岳子航等[52]的研究类似,为了保持经济增长,短时间内资源型城市难以摆脱对污染企业的依赖.表 6 第(2)、(4)、(6)行分别展示了重点生态功能区政策对县域各类污染企业占比的影响,结果表明政策的实施使得轻度污染企业的占比上升了 47.59%,中度污染企业的占比下降了 30.70%,而对重度污染企业占比并没有显著的影响.这一结果也与前文的结果相呼应,通过实施产业准入清单后,一部分中度污染企业退出、一部分中度污染企业转型,而轻度污染企业几乎没有受到影响.以上结果表明总体上重点生态功能区政策使得试点县的工业企业向轻污染方向进行了转型.

表 7 第(1)列展示了功能区政策对绿色技术创新

的影响,鉴于数据的可获得性,本部分通过中国研究数据服务平台获取了市级绿色专利获得数据(数据来源:https://www.cnrds.com).由于该数据是以市为基本单位,需要对基础数据进行处理,考虑到重点生态功能区政策试点以县级为基本单位,且在第二期新增了试点县,因此在这里我们使用试点县数量占样本市管辖的县的总数的比例作为自变量.从回归的结果可以看出政策试点县比例的提升显著的促进了市级绿色技术专利的申请,政策县域的占比每增加 1%,本市绿色技术专利申请的数量将增加 1.6268%.除了对本市绿色技术创新的推动效应外,已有研究表明绿色技术创新具有显著的溢出效应[53].表 7 第(2)、(4)、(6)列分别展示了重点生态功能区政策对试点县三产增加值的影响,第(3)、(5)、(7)列分别展示了政策对试点县三产产值占比的影响.从回归的结果可以看出,该政策使得县域三产产值分别提高了 12.85%、13.16%和 5.77%,但总体来看第一产业产值占比和第三产业产值占比分别下降了 1.26%和 1.01%,而二产产值占比提高了 1.4%.第一产业产值和第三产业产值占比下降的原因可能在于相较于成熟的工业化转型路径,生态农业和生态旅游等产业转型较为困难,因此在短时间内试点县的第一产业和第三产业增加速度不如第二产业.附件[61]图 3 展示了试点县工业企业数量的变化趋势.可以看出虽然实行了严格的产业准入清单,试点县的工业企业仍然以稳定的速度增加,这解释了二产占比增加的原因.结合表 6 的回归结果不难得出,工业企业增加的主要类型为轻度污染企业,这表明试点县的工业产业在生态化转型的同时总量也处于增长状态,因此重点生态功能区政策的实施能够显著的推动县域经济结构转型.

表 6 重点生态功能区对县域污染企业数量及其占比的影响

Table 6 The impact of key ecological functional areas on the number and proportion of polluting enterprises in counties

变量	轻度污染企业	轻度污染企业占比	中度污染企业	中度污染企业占比	重度污染企业	重度污染企业占比
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
DID	0.0164	0.4759***	−0.1172***	−0.3070***	0.0185	0.0007
	(0.0300)	(0.0822)	(0.0348)	(0.0419)	(0.0352)	(0.0091)
控制变量	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是
截距项	0. 9651	−4.8792	2.9241***	−0.9047	2.7342	0.7074***
	(1.3957)	(8.7126)	(1.4219)	(4.6171)	(1.5156)	(0.2191)
R^2	0.9127	0.9013	0.8465	0.8366	0.8266	0.7356
观测值	17,611	17,611	17,611	17,611	17,611	17,611

注:括号内为聚类稳健标准误,*** P<0.01, ** P<0.05, * P<0.1.

表 7 重点生态功能政策对绿色技术创新及产业结构的影响

Table 7 Impact of key ecological function policies on green technology innovation and industrial structure

变量	绿色技术创新	一产增加值	一产占比	二产增加值	二产占比	三产增加值	三产占比
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
DID	1.6268***	0.1285***	−0.0126***	0.1316***	0.0140***	0.0577***	−0.0101***
	(0.6486)	(0.0117)	(0.0045)	(0.0216)	(0.0049)	(0.0108)	(0.0035)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是	是
截距项	4.8925***	9.6116***	0.0681	10.4656***	0.4463	11.2979***	0.7362***
	(1.2360)	(0.5387)	(0.1160)	(0.4621)	(0.1598)	(0.6048)	(0.1922)
R^2	0.9504	0.9668	0.8160	0.9575	0.8139	0.9798	0.7766
观测值	4103	29321	29321	29321	29321	29321	29321

注:括号内为聚类稳健标准误,*** P<0.01, ** P<0.05, * P<0.1.

5 进一步探讨:区域与内在机制异质性

5.1 区域异质性

表 8 第(1)列展示的异质性分析的结果表明,政策使得西部地区的绿色 GDP 上升了 0.0106,并在 1%水平上显著.东部地区的政策效应相较于西部地区

显著下降 0.0252,即东部地区的净效应为−0.0146,呈负向且显著.中部地区的政策效应相较于西部地区下降 0.0035,净效应为 0.0071,虽低于西部但仍为正向且显著.这表明政策的实施对西部地区绿色经济增长有更为明显的促进作用,而东部地区甚至出现抑制性效应,中部地区则处于两者之间.与中部、东部地区相比,西部地区产业发展基础较弱,产业发展相对落后,工业结构更为简单,可能会更容易实现产业结构的调整,而中部地区和东部地区的经济结构更为成熟,产业结构相对固化,更容易经历转型期的阵痛.本文将在下面的部分探究出现此种差异的具体原因.

表 8　区域异质性分析

Table 8　Regional heterogeneity analysis

变量	绿色 GDP	生态服务价值	转移支付
	(1)	(2)	(3)
DID	0.0106***	0.0472***	0.0047
	(0.0010)	(0.0190)	(0.0154)
DID×East	−0.0252***	0.0173	0.0587**
	(0.0026)	(0.0424)	(0.0293)
DID×Mid	−0.0035***	−0.0486**	0.0527***
	(0.0013)	(0.0233)	(0.0206)
控制变量	是	是	是
固定效应	是	是	是
截距项	0.2542***	9.8344***	8.3023***
	(0.0691)	(1.6682)	(0.7470)
R^2	0.8886	0.9085	0.8845
观测值	29321	5308	29321

注:括号内为聚类稳健标准误,*** P<0.01, ** P<0.05, * P<0.1.

5.2　影响机制的异质性分析

生态服务价值及转移支付异质性分析的结果如表 8 第(2)列和第(3)列所示.重点生态功能区政策对试点县的生态系统服务价值和转移支付获得的影响展现出了类似的特征,即虽然在不同区域都存在一定的普惠性,但却表现出了明显的地域差异,特别是在东部地区.表 8 第(2)列的结果表明功能区政策使得西部地区的生态系统服务价值上升了 4.72%,东部地区与西部地区不存在显著差异,而中部地区的政策效应比西部低 4.86%,净效应为−0.14%,并且该差异在 5%水平显著.这表明政策对生态系统服务价值的提升主要体现在西部和东部,而在中部地区效果不明显,甚至趋于无效.表 2 第(3)列的结果表明政策在西部地区的效应为 0.47%,但未达显著水平.东部地区政策效应在西部基础上增加 5.87%(5%水平显著),净效应为 6.34%.中部地区政策效应在西部基础上增加5.27%(1%水平显著),合计为5.74%.结果表明,政策在东部和中部地区能显著提升转移支付水平,而在西部地区效果并不显著.以上结果表明重点生态功能区提高生态系统服务价值的效应主要出现在东西部,对中部几乎无影响;政策提高转移支付获得的效应主要出现在中东部,而对西部几乎无影响.因此,需要加强中部地区自然生态环境的修复力度,加快推动生态系统服务功能价值的经济转化,可以增加对中部地区的财政和技术支持力度.

污染企业数量的异质性分析结果如表 9 中(1)~(3)列所示.总体看来政策对不同污染程度企业数量的影响存在明显区域异质性.在西部地区,政策显著减少了中度污染企业数量,而对轻度和重度污染企业影响不显著.东部地区则表现出对轻度和重度污染企业的显著压减作用.但对中度污染企业影响不显著.中部地区三类企业的政策效应均未达到显著水平.整体来看,政策在东部和西部地区更有效地遏制了污染企业的扩张,尤其在西部对中度污染企业和在东部对轻重污染企业的治理效果突出.中部地区则未表现出明显的治理成效,反映出区域间政策执行和产业结构调整的差异.但整体看来,由于功能区政策同时压减了东部地区的轻度污染和重度污染企业,在一定程度上造成了东部地区制造业的萎缩,但该趋势可能也与东部地区寻求产业结构转型的发展规划相符合.表 9(4)−(6)列展示了产业结构调整的异质性分析结果.总体来看,政策对不同区域的产业结构调整也具有明显异质性.在西部地区,政策显著降低了第一产业占比并提高了第二产业占比,且使得第三产业占比有所下降,这表明政策在西部推动产业结构向工业化倾斜.东部地区政策效应则表现为第二产业占比显著下降、第三产业占比显著提升,这说明政策加速了东部服务业比重提升和产业结构高级化.中部地区政策效应为一产占比下降、三产占比提升,二产占比略升但不显著,说明政策在中部带动产业结构优化但整体调整幅度有限.总体来看,政策在东部地区更有利于推动服务业发展,在西部主要促进工业发展,在中部则整体带动产业结构优化.

综合所有的异质性分析结果可知,政策对西部

地区绿色 GDP 的提升效应最强,中部地区绿色 GDP 提升居中,东部地区绿色 GDP 提升最弱.因此,在后续的政策体系优化中,需要鼓励西部继续推进生态与绿色产业协同发展,巩固中度及重度污染企业治理,提升绿色 GDP 质量;鼓励中部完善激励约束与能力建设,着力提升三产比重和生态服务水平,释放绿色增长潜力;协助东部要完成转型期经济平稳衔接,加强高端绿色产业培育,确保绿色 GDP 持续增长.

表 9 影响机制的异质性分析(污染企业数量)

Table 9 Heterogeneity analysis of impact mechanisms (Number of polluting enterprises)

变量	轻度污染企业	中度污染企业	重度污染企业	一产占比	二产占比	三产占比
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
DID	0.0261	−0.1215***	0.0618	−0.0178***	0.0249***	−0.0195***
	(0.0311)	(0.421)	(0.0415)	(0.0063)	(0.0066)	(0.0046)
DID×East	−0.1813**	−0.1744	−0.2164*	0.0244	−0.0466***	0.0290***
	(0.0830)	(0.1091)	(0.1191)	(0.0077)	(0.0115)	(0.0064)
DID×Mid	0.0382	0.0621	−0.0525	0.0018	−0.0135	0.0233***
	(0.0665)	(0.0734)	(0.0732)	(0.0070)	(0.0085)	(0.0064)
控制变量	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是
截距项	0.9826***	3.0115***	2.9512*	0.2939	0.3494	1.0439***
	(1.4414)	(1.4672)	(1.5397)	(0.2264)	(0.1401)	(0.2728)
R^2	0.9121	0.8447	0.8262	0.8100	0.8115	0.7680
观测值	17611	17611	17611	29321	29321	29231

注:括号内为聚类稳健标准误,*** P<0.01, ** P<0.05, * P<0.1.

6 拓展:基于机器学习方法的部分依赖图分析

机器学习和部分依赖图是进行因果关系检验的前沿方法,目前已经得到国内外的广泛应用与认可[54-58].部分依赖图是对一组指定输入变量和模型预测之间关系的函数描述,同时控制其他非指定输入变量的影响,可以解释一两个因素如何影响机器学习模型的已确定结果[59].本研究将采用梯度提升模型作为机器学习的基准模型,对数据进行处理与预测,梯度提升模型原理见附件[61].通过采用梯度提升模型对数据集的充分预测是构建部分依赖图的基础.在得到预测数据之后,便可以通过部分依赖图对变量间的相互依赖关系进行计算与展示,部分依赖图的基本数学形式如下所示:

$$\hat{f}_{x_s}(x_s)=E_{x_c}[\hat{f}(x_s,x_c)]=\int \hat{f}(x_s,x_c)p(x_s)\mathrm{d}(x_c) \quad (4)$$

式中:x_s 代表对模型预测的目标特征集即主要变量,x_c 是对此集合的补充即其余协变量,这个公式表示,在不同的 x_s 取值下,模型预测结果的期望如何变化.在本研究中,通过蒙特卡罗函数对部分依赖函数 $\hat{f}_{x_s}(x_s)$ 进行计算,最后通过绘图的方式对主要变量之间的相互依赖关系进行展示:

$$\hat{f}_{x_s}(x_s)=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}F(x_{s,k},x_{c,i}) \quad (5)$$

式中:$x_{s,k}$ 中的 k 代表某一具体的 x_s 取值,例如研究施肥量对产量的影响,k 即代表具体的施肥量.在计算过程中,模型将该值固定为 $x_{s,k}$,用来评估在该特定数值下模型的平均预测表现.$x_{c,i}$ 中的 i 代表数据集中的第 i 个样本.n 代表总的样本量.F(.)代表机器学习训练模型,在该研究中为梯度提升模型.

图 4 展示了部分依赖图的估计结果.为了检验模型的有效性,参考 Mullainathan 等[60]的研究,对梯度提升模型进行了 5 折交叉验证.每折的 RMSE 分别为 0.0399,0.0398,0.0408,0.0403 和 0.0397,平均 RMSE 为 0.0401,由于绿色 GDP 指数的标准差为 0.0674,当前模型 RMSE 明显小于基线误差,且平均 RMSE 仅占因变量取值范围(0.0939~0.951)的 4.7%,且经过换算后的模型 R^2 为 0.65(R^2=1−(0.0401^2/0.06735^2)≈0.65),以上结果表明本研究构建的梯度提升模型具有良好的拟合能力和稳定性.

图 4 的 X 轴代表重点生态功能区政策的变化,Y 轴代表不同的输入变量,Z 轴代表政策效应及绿色 GDP 的变化情况.从图 4(a)、(b)、(f)、(g)可以看出,政策与人口基础、医疗基础、林地面积和降

雨量呈现出正相关的特征,即人口基础越大、县域医疗条件越好、林地面积越大和降雨量越大国家重点生态功能区政策实施对绿色 GDP 增长的促进作用效果越好.图 4(c)、(d)、(e)的结果表明,政策与福利基础、财政能力和覆盖面积呈现出负相关关系,这可能与当地能用于第一产业和第二产业发展的区域更小有关.除以上线性关系外,子图(h)展示了非线性特征的依赖关系,子图 (h)展示的结果表明,年平均气温较低和较高的区域都有较好的政策效果,而在年平均气温 10~15℃的区域政策效应出现了明显的下降,这也与政策对中部地区生态系统服务价值提升较低的特征相符合.以上的结果进一步验证了实证分析的稳健性,同时也给出了一些新的结论.

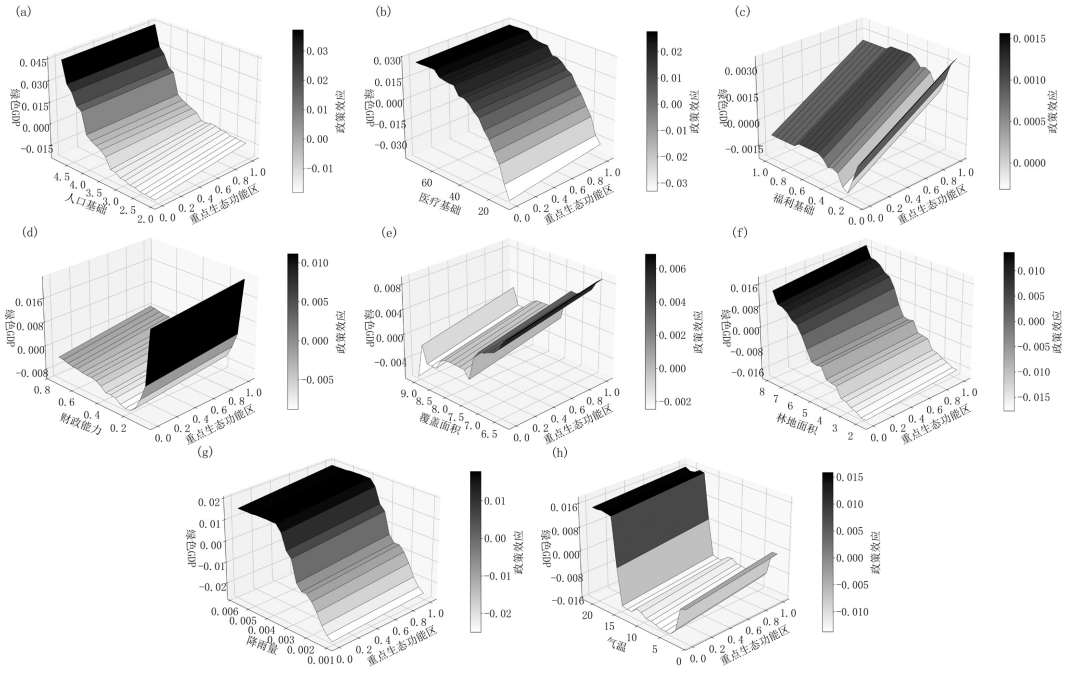


图 4　部分依赖

Fig.4　Partial dependency diagram

7　结论

7.1　从全国维度来看,国家重点生态功能区政策显著的推动了试点县绿色经济的增长,综合提升幅度为 2.77%.

7.2　该政策使得试点县域生态服务功能价值和转移支付分别提高了 6.59%、11.71%,同时该政策使得试点县域重度污染企业减少了 11.72%,但对重度污染企业没有显著影响.

7.3　该政策使试点县域绿色专利申请数量增加了 1.63%,推动了其绿色转型.

7.4　重点生态功能区政策在西部地区最强,中部地区次之,东部地区最弱.其中东部地区主要体现为一三产业绿色转型,西部地区则体现为第二产业绿色转型与生态价值服务功能支撑同步推进的良好局面.

7.5　福利基础较强、财政负担较大和生态功能区覆盖面积较大的地区重点生态功能区政策对绿色经济增长的促进效果较弱.

8　研究启示

上述结论揭示了国家重点生态功能区对县域绿色经济发展的影响以及路径,对于进一步完善政策设计和推动县域绿色经济发展具有重要的政策启示: (1)生态系统服务价值和专项转移支付是推动县域经济结构调整和绿色化转型的重要原因,但当前的增长幅度较低,建议进一步优化对试点县域的专项转移补偿机制,并着重保障资金的落实与专项使用.特别是应当针对不同地区的县域在进行产业绿色化改革面临的困难对转移支付金额进行调整,尤其对于中部地区,可以适当提高专项转移支付金额应.(2)国家重点生态功能区政策显著促进了绿色技术创新专利的增加,这是区域产业结构绿色化转

型的重要基础,应当持续优化技术创新鼓励机制,对采用新技术、研发新技术的企业和机构进行奖励和支持.(3)由于西部地区存在一定的重点污染企业转型困难,建议制定更加灵活和精准的产业结构调整支持政策.针对西部地区试点县域,因地制宜的制定符合当地自然、经济和社会基础的技术援助和财税优惠政策,以推动西部地区企业的绿色转型升级.其次,加强对西部地区产业投资的引导,推动西部地区生态农业、生态旅游和可再生能源等产业的发展.(4)由于东部地区在产业转型方面展现出了较强的比较优势,建议建立区域协同机制,建立东中西部县域帮扶体系,推动东部地区先进生产技术、管理技术和资金对中西部企业进行投资.(5)虽然总体上西部地区目前展现出较为理想的政策效应,但是产业结构调整较为困难且第二产业的占比提升较为明显,需要加强对地区过度工业化的防范,以保障重点生态功能区政策基本政策诉求的落实.

参考文献:

[1] 谢婷婷.国家重点生态功能区如何实现环境保护与经济发展的平衡[J]. 世界经济, 2024,47(5):34-63.
Xie T T. Achieving a sustainable balance: strategies for environmental protection and economic development in national key ecological function areas zones [J]. The Journal of World Economy, 2024,47(5):34-63.

[2] 牟雪洁,黄 金,饶 胜,等.国家重点生态功能区产业准入负面清单制度的现状、问题与优化建议 [J]. 中国环境管理, 2022,14(3):38-47.
Mou X J, Huang J, Rao S, et al. Current situation, problems and optimization suggestions of negative list system for industry access in national key ecological function areas [J]. Chinese Journal of Environmental Management, 2022,14(3):38-47.

[3] 陈建垒,王 纯.政策关注、测量与经济效益——基于区域协同发展政策文本的 LDA 建模 [J]. 统计研究, 2024,41(9):32-43.
Chen J L, Wang C. Policy attention, measurement and economic benefits: LDA modeling based on regional co-development policy text [J]. Statistical Research, 2024,41(9):32-43.

[4] 严成樑,赵扶扬,牛 欢.环境目标责任制、环境治理与内生经济增长[J]. 经济研究, 2024,59(4):133-152.
Yan C D, Zhao F Y, Niu H. Environmental target responsibility system, environmental governance and endogenous economic growth [J]. Economic Research Journal, 2024,59(4):133-152.

[5] Haas M B, Guse B, Fohrer N. Assessing the impacts of Best Management Practices on nitrate pollution in an agricultural dominated lowland catchment considering environmental protection versus economic development [J]. Journal of Environmental Management, 2017,196:347-364.

[6] Ziegler A. New ecological paradigm meets behavioral economics: On the relationship between environmental values and economic preferences [J]. Journal of Environmental Economics and Management. 2021,109:102516.

[7] Aziz N, Hossain B, Lamb L. The effectiveness of environmental protection policies on greenhouse gas emissions [J]. Journal of Cleaner Production. 2024,450:141868.

[8] Comineti C D S S, Schlindwein M M, de Oliveira Hoeckel P H. Socio-environmental externalities of sewage waste management [J]. Science of the Total Environment. 2024,945:174109.

[9] Benatti N, Groiss M, Kelly P, et al. Environmental regulation and productivity growth in the euro area: Testing the porter hypothesis [J]. Journal of Environmental Economics and Management. 2024,126: 102995.

[10] Hossain B. Do government spending on pollution abatement and targeted environmental policies promote green growth in Canada? [J]. Journal of Cleaner Production. 2024,434:140391.

[11] Guarini G. The Macroeconomic impact of the porter hypothesis: Sustainability and environmental policies in a post-keynesian model [J]. Review of Political Economy, 2020,32(1):30-48.

[12] Beckerman W. Economic-growth and the environment-whose growth-whose environment [J]. World Development, 1992,20(4): 481-496.

[13] 李为人,张天燕.我国绿色财政对环境污染抑制效应的实证研究 [J]. 商业会计, 2021,(17):4-10.
Li W R, Zhang T Y. An empirical analysis of the impact of China's green fiscal policy on environmental pollution control [J]. Commercial Accounting, 2021,(17):4-10.

[14] Phong N T, Nuong C T, Quang N H. Local perceptions of mangrove protection and livelihood improvement in co-management: Lessons learnt and recommendations [J]. Ocean & Coastal Management. 2023,237:106530.

[15] 范庆泉,刘 惠,刘祎男,等.京津冀生态补偿是否具有"增绿"效应——来自国家重点生态功能区转移支付重点补助的证据 [J]. 经济学报, 2024,11(1):416-444.
Fan Q Q, Liu H, Liu W N, et al.Does ecological compensation in the Beijing-Tianjin-Hebei region affect eco-environmental protection——evidence from the key subsidies for transfer payment in national key ecological function areas [J]. China Journal of Economics, 2024,11(1): 416-444.

[16] 刘慧明,高吉喜,刘 晓,等.国家重点生态功能区 2010~2015 年生态系统服务价值变化评估 [J]. 生态学报, 2020,40(6):1865-1876.
Liu H M, Gao J X, Liu X, et al. Monitoring and assessment of the ecosystem services value in the national key ecological function zones [J]. Acta Ecologica Sinica, 2020,40(6):1865-1876.

[17] 杨颜嘉,管 睿,田 明.国家重点生态功能区的设立能否推动区域高质量发展 [J]. 宏观经济研究, 2024,(6):114-127.
Yang Y J, Guan R, Tian M. Can the establishment of national key ecological function areas promote high-quality regional development? [J]. Macroeconomics, 2024,(6):114-127.

[18] 朱 艳,陈红华.重点生态功能区转移支付改善生态环境了吗?——基于 PSM 的结果 [J]. 南方经济, 2020,(10):125-140.
Zhu Y, Chen H H. Did the transfer payment in key eco-functional areas improve the eco-environment? Based on PSM [J]. South China Journal of Economics, 2020,(10):125-140.

[19] 杨 喆,李晴晴,薛文晧.国家重点生态功能区设立对农村居民收入的影响——基于 PSM-DID 的实证分析 [J]. 资源科学, 2023, 45(1):144-157.
Yang Z, Li Q Q, Xue W H. Impact of the establishment of national

key ecological function areas on rural residents' income: Empirical analysis based on PSM-DID [J]. Resources Science, 45(1):144-157.

[20] 侯孟阳,席增雷,张　晓,等.国家重点生态功能区的环境质量与经济增长效应评估 [J]. 中国人口·资源与环境, 2023,33(1):24-37.
Hou M Y, Xi Z L, Zhang X, et al. Assessing the environmental quality and economic growth of the national key ecological function areas [J]. China Population, Resources and Environment, 2023,33(1):24-37.

[21] 高同彪,刘云达.重点生态功能区县域经济发展问题研究 [J]. 经济纵横, 2019,(12):59-65.
Gao T B, Liu Y D. Research on the development of county economy in key ecological function areas [J]. Economic Review Journal, 2019,(12):59-65.

[22] 吴合显,李　玮.环境库兹涅茨曲线对中国扶贫工作的启示:一种国外思潮的反思 [J]. 贵州师范大学学报(社会科学版), 2018,(2):85-92.
Wu H X, Li W. The environmental Kuznets curve: a foreign thought should be urgently rethought [J]. Journal of Guizhou Normal University (Social Sciences Edition), 2018,(2):85-92.

[23] 张　晗,周晓时.城市低碳转型的产业调整逻辑——基于劳动力市场视角的分析 [J]. 工业技术经济, 2022,41(9):26-34.
Zhang H, Zhou X S. Industrial structure change for low-carbon city transition——empirical test based on labor market [J]. Journal of Industrial Technology and Economy, 2022,41(9):26-34.

[24] 郭淑芬,马宇红.资源型区域可持续发展能力测度研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017,27(7):72-79.
Guo S F, Ma Y H.Comprehensive evaluation for sustainable development capacity of resource-based region [J]. China Population, Resources and Environment, 2017,27(7):72-79.

[25] 黄清子,马　亮.环境规制破解资源诅咒的异质效应 [J]. 中国环境科学, 2021,41(7):3453-3462.
Huang Q Z, Ma L. The heterogeneous effects of environmental regulations on resource curse [J]. China Environmental Science, 2021,41(7):3453-3462.

[26] 周李磊,苏湘媛,向洪莉,等.重庆市生态系统服务与人类福祉耦合关系模拟 [J]. 中国环境科学, 2023,43(5):2560-2573.
Zhou L L, Su X Y, Xiang H L, et al. Simulation of the coupling relationships between ecosystem services and human well-being in Chongqing [J]. China Environmental Science, 2023,43(5):2560-2573.

[27] 朱　竑,陈晓亮,尹　铎.从“绿水青山”到“金山银山”:欠发达地区乡村生态产品价值实现的阶段、路径与制度研究 [J]. 管理世界, 2023,39(8):74-91.
Zhu H, Chen X L, Yin D. Transforming "green water and green mountains" into "golden mountains and silver mountains": Research on the stage, path and system of the value realization of rural ecological products in underdeveloped areas [J]. Journal of Management World, 2023,39(8):74-91.

[28] 潘　丹.命令控制型和市场激励型环境规制对造林面积的影响——来自中国县级层面的准自然实验证据 [J]. 资源科学, 2021,43(10):2026-2041.
Pan D. The impact of command-and-control and market-based environmental regulations on afforestation area: Quasi-natural experimental evidence from county data in China [J]. Resources Science, 2021,43(10):2026-2041.

[29] 陈　帅,姚顺波,侯孟阳,等.国家重点生态功能区转移支付与基本公共服务供给——来自中国县域的证据 [J]. 华东经济管理, 2024,38(5):13-24.
Chen S, Yao S B, Hou M Y, et al. Transfer payment in national key ecological functional areas and supply of basic public services: Empirical analysis from counties in China [J]. East China Economic Management, 2024,38(5):13-24.

[30] 曹鸿杰,卢洪友.中国纵向转移支付的生态环境效应 [J]. 中南财经政法大学学报, 2020,(4):57-65.
Cao H J, Lu H Y. Study of the environmental effects of vertical transfer payment in China [J]. Journal of Zhongnan University of Economics and Law, 2020,(4):57-65.

[31] 黄德生,刘智超,张　彬,等.生态环保政策对经济发展的作用机理分析 [J]. 环境与可持续发展, 2020,45(4):16-25.
Huang D S, Liu Z C, Zhang B, et al. Study on mechanism of impact of ecological and environmental policy on economic development [J]. Environment and Sustainable Development, 2020,45(4):16-25.

[32] 相瑞兵,田成诗,张焰朝.环境规制与企业研发投入:挤出抑或诱发——来自二氧化硫排污费征收的经验证据 [J]. 中国环境科学, 2023,43(12):6803-6816.
Xiang R B, Tian C S, Zhang C Y. Environmental regulation and firm R&D investment: Crowding out or inducing——empirical evidence from the collection of sulfur dioxide pollution fees [J]. China Environmental Science, 2023,43(12):6803-6816.

[33] 陈　映.西部限制开发区域产业政策探析——以国家层面的农产品主产区和重点生态功能区为例 [J]. 经济体制改革, 2013,(5):52-56.
Chen Y. An analysis of industrial policies in western restricted development zones: A case study of national major agricultural product-producing areas and key ecological function areas [J]. Reform of Economic System, 2013,(5):52-56.

[34] 原　磊,王秀丽.宏观政策取向对工业经济影响的模拟分析——基于动态 CGE 模型 [J]. 中国工业经济, 2013,(9):44-55.
Yuan L, Wang X L. A simulation analysis of industrial economic effects of macroeconomic policy orientations——based on a dynamic CGE model [J]. China Industrial Economics, 2013,(9):44-55.

[35] 陈　影,文传浩.重点生态功能区绿色发展绩效评价及多维时空效应分析——以三峡库区为例 [J]. 长江流域资源与环境, 2024,33(1):40-54.
Chen Y, Wen C H. Evaluation of green development performance and multidimensional spatio-temporal effect of key eco-function areas: A case study of the Three Gorges Reservoir area [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2024,33(1):40-54.

[36] Wang Z. Satellite-observed effects from ozone pollution and climate change on growing-season vegetation activity over china during 1982~2020 [J]. Atmosphere, 2021,12(11):1390.

[37] Luan S, Pan H, Shen R, et al. High resolution water quality dataset of Chinese lakes and reservoirs from 2000 to 2023 [J]. Scientific Data, 2025,12(1):1073.

[38] 董　涵,邹明华,李　露,等.基于 SEEA 的绿色 GDP 核算相关性及预测分析 [J]. 水土保持通报, 2024,44(2):187-195.
Dong H, Zou M H, Li L, et al. Correlation and predictive analysis of green GDP accounting based on the system of integrated environmental and economic accounting [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024,44(2):187-195.

[39] 沈菊琴,孙　悦.基于 DPSIR 模型的地区绿色 GDP 评价指标体系研究 [J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2016,18(6):56-61.
Shen J Q, Sun Y. Index system for the evaluation of regional green

GDP based on the DPSIR model [J]. Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences), 2016,18(6):56-61.

[40] 贾 湖,于秀丽.基于MCDM的非货币化绿色GDP核算体系和六省市算例 [J]. 干旱区资源与环境, 2013,27(8):6-13.
Jia H, Yu X L. The demonetized green GDP accounting system based on the MCDM [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013,27(8):6-13.

[41] 尹向飞.新框架核算下中国省级绿色GDP增长时空演变及驱动 [J]. 经济地理, 2021,41(1):49-57.
Yin X F. The spatio-temporal evolution and driving factors of provincial green GDP growth in China based on a new research framework [J]. Economic Geography, 2021,41(1):49-57.

[42] 马 本,孙艺丹,秦 露.中国生态保护政策的县域经济效应——来自国家重点生态功能区的证据 [J]. 中国环境科学, 2022,42(12):5928-5940.
Ma B, Sun Y D, Qin L. Counties' economic effect of ecological protection policies in China: Evidence from national key ecological function zones [J]. China Environmental Science, 2022,42(12):5928-5940.

[43] 丁 斐,庄贵阳.国家重点生态功能区设立是否促进了经济发展——基于双重差分法的政策效果评估 [J]. 中国人口·资源与环境, 2021,31(10):19-28.
Ding F, Zhuang G Y. Has the establishment of national key ecological function areas promoted economic development?——evaluation of the policy effects based on a DID study [J]. China Population, Resources and Environment, 2021,31(10):19-28.

[44] 龚斌磊,张启正,袁菱苒,等.撤县设市、产业基础与县域农业发展 [J]. 管理世界, 2024,40(7):139-157.
Gong B L, Zhang Q Z, Yuan L R, et al. The county-to-city reform, industrial base and county-level agricultural development [J]. Journal of Management World, 2024,40(7):139-157.

[45] 王煜昊,马野青,承朋飞.跨境电商赋能企业供应链韧性提升:来自中国上市公司的微观证据 [J]. 世界经济研究, 2024,(6):105-119.
Wang Y H, Ma Y Q, Cheng P F. Cross-border e-commerce empowers enterprises to improve supply chain resilience: Micro evidence from China's listed companies [J]. World Economy Studies, 2024,(6):105-119.

[46] 卢盛峰,南卓婷,陈思霞.行政中心的"土地溢价"效应——来自中国地方政府驻地迁移的证据 [J]. 经济学(季刊), 2023,23(4):1565-1582.
Lu S F, Nan Z T, Chen S X. The "land premium" effect of administrative centers——evidence from China's local government relocation reforms [J]. China Economic Quarterly, 2023,23(4):1565-1582.

[47] 吕 越,陆 毅,吴嵩博,等."一带一路"倡议的对外投资促进效应——基于2005~2016年中国企业绿地投资的双重差分检验 [J]. 经济研究, 2019,54(9):187-202.
Lv Y, Lu Y, Wu S B, et al. The effect of the Belt and Road Initiative on firms' OFDI: Evidence from China's greenfield investment [J]. Economic Research Journal, 2019,54(9):187-202.

[48] 周 波,赵国昌.中国间接税税负归宿研究:汽车市场准自然实验的证据 [J]. 经济研究, 2020,55(3):133-147.
Zhou B, Zhao G C. Indirect tax incidence in China: Evidence from a quasi-natural experiment in the vehicle market [J]. Economic Research Journal, 2020,55(3):133-147.

[49] 陈 强,齐 霁,颜冠鹏.双重差分法的安慰剂检验:一个实践的指南 [J]. 管理世界, 2025,41(2):181-220.
Chen Q, Qi J, Yan G P. Placebo tests for difference-in-differences: A practical guide [J]. Journal of Management World, 2025,41(2):181-220.

[50] 马光荣,孟源祎.财政转移支付的资本化与福利分化效应 [J]. 经济研究, 2022,57(9):65-81.
Ma G R, Meng Y W. Capitalization of fiscal transfers and its impact on welfare divergence [J]. Economic Research Journal, 2022,57(9):65-81.

[51] 余东华,胡亚男.环境规制趋紧阻碍中国制造业创新能力提升吗?——基于"波特假说"的再检验 [J]. 产业经济研究, 2016,(2):11-20.
Yu D H, Hu Y N. Does tightening environmental regulation impede technological innovation upgrading of manufacturing industries in China?——an empirical re-examination on the Porter hypothesis [J]. Industrial Economics Research, 2016,(2):11-20.

[52] 岳子航,张 聪,陶 然.政府环境信息公开能否缓解环保"逐底竞争"? [J]. 公共管理与政策评论, 2022,11(5):75-90.
Yue Z H, Zhang C, Tao R. Does government environmental information disclosure alleviate the "race to the bottom" competition in environmental protection? [J]. Public Administration and Policy Review, 2022,11(5):75-90.

[53] 邵 帅,范美婷,杨莉莉.经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察 [J]. 管理世界, 2022,38(2):46-69.
Shao S, Fan M T, Yang L L. Economic restructuring, green technical progress, and low-carbon transition development in China: An empirical investigation based on the overall technology frontier and spatial spillover effect [J]. Journal of Management World, 2022,38(2):46-69.

[54] 陈运森,周金泳,彭嘉续.中国上市公司分红的动因研究——基于机器学习的证据 [J]. 中国工业经济, 2024,(5):155-173.
Chen Y S, Zhou J Y, Peng J X. Motivation for dividends of listed companies in China: Evidence based on machine learning [J]. China Industrial Economics, 2024,(5):155-173.

[55] 于 淼,刘铭基,赵 旭.企业数字化转型需要什么样的"领航员":基于机器学习方法的考察 [J]. 中国软科学, 2024,(5):173-187.
Yu M, Liu M J, Zhao X. What kind of "navigator" does enterprise digital transformation need: An investigation based on machine learning methods [J]. China Soft Science, 2024,(5):173-187.

[56] 陶旭辉,郭 峰.异质性政策效应评估与机器学习方法:研究进展与未来方向 [J]. 管理世界, 2023,39(11):216-237.
Tao X H, Guo F. Policy effect heterogeneity evaluation and machine learning methods: Research progress and future orientation [J]. Journal of Management World, 2023,39(11):216-237.

[57] Johnson P M, Barbour W, Camp J V, et al. Using machine learning to examine freight network spatial vulnerabilities to disasters: A new take on partial dependence plots [J]. Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2022,14:100617.

[58] Heger J, Min A, Zagst R. Analyzing credit spread changes using explainable artificial intelligence [J]. International Review of Financial Analysis, 2024,94:103315.

[59] Friedman J H. Greedy function approximation: A gradient boosting machine [J]. Annals of Statistics, 2001,29(5):1189-1232.

[60] Mullainathan S, Spiess J. Machine learning: An applied econometric approach [J]. Journalof Economic Perspectives, 2017,31(2):87-106.

[61] 柯水发,陈津志,黄丹妮.国家重点生态功能区政策能否促进县域绿色经济增长? [DB/OL]. (2026). https://www.scidb.cn/preview?dataSetId=651d6fce01d2410895b535e7fc275b64&version=V1.

作者简介： 柯水发(1977-),男,福建安溪人,教授,博士,主要从事林业和环境科学与资源利用方面研究.发表论文150余篇.keshuifa@163.com.