

DOI: 10.20103/j.stxb.202310272336

董照樱子, 孙思琪, 夏楚瑜, 周辰溪, 赵晶, 张蔚文. “生态修复、城市修补”政策对城市碳排放的影响. 生态学报, 2024, 44(14): 6142-6153.

Dong Z Y Z, Sun S Q, Xia C Y, Zhou C X, Zhao J, Zhang W W. The effect of “Ecological Restoration and Urban Repair” strategy on urban carbon emission. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(14): 6142-6153.

“生态修复、城市修补”政策对城市碳排放的影响

董照樱子^{1,2}, 孙思琪^{1,2}, 夏楚瑜^{3,4}, 周辰溪³, 赵晶⁵, 张蔚文^{1,2,*}

1 浙江大学公共管理学院, 杭州 310058

2 浙江大学中国新型城镇化研究院, 杭州 310058

3 北京工业大学城市建设学部城乡规划系, 北京 100124

4 北京工业大学重庆研究院, 重庆 401135

5 北京林业大学园林学院, 北京 100083

摘要: 城市扩张所导致的绿地减少、生态环境退化等问题, 影响碳达峰、碳中和(简称“双碳”)目标的实现。“城市双修”通过对被破坏的城市自然生态系统的恢复与重建, 有效发挥森林、草原、湿地和土壤的固碳作用, 以及优化城市及社区更新方式, 改变居民出行和生活方式, 有助于城市碳汇能力提升和碳排放的降低。基于 2005—2021 年我国 287 个地级市的非平衡面板数据, 运用交错双重差分模型评估“生态修复、城市修补”(简称“城市双修”)政策的碳减排效应。研究发现: (1) “城市双修”政策使城市碳排放显著降低了 5.6%, 但该效应有 3 年的滞后期; (2) 机制分析揭示了城市绿地的增加是“城市双修”政策实现“双碳”目标的重要途径, 绿地面积每增加 1000hm², 城市碳排放降低 1.5%; (3) 异质性分析表明“城市双修”政策会扩大碳排放最高和最低城市之间的碳排放差距, 城市的生态基础、财政基础以及政策执行力度会影响“城市双修”政策的碳减排效力, 并对位于经济发达的东部地区的城市的碳减排助推作用更强。研究据此提出了充分总结推广试点经验、系统推进城市低碳转型、因地制宜开展“城市双修”工作等对策建议。

关键词: “城市双修”; 生态修复; 城市碳排放; 交错双重差分模型

The effect of “Ecological Restoration and Urban Repair” strategy on urban carbon emission

DONG Zhaoyingzi^{1,2}, SUN Siqi^{1,2}, XIA Chuyu^{3,4}, ZHOU Chenxi³, ZHAO Jing⁵, ZHANG Weiwen^{1,2,*}

1 School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

2 China Institute of Urbanization, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

3 Faculty of Architecture, Civil and Transportation Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

4 Chongqing Research Institute of Beijing University of Technology, Chongqing 401135, China

5 School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Urban expansion contributes to economic and social development, yet it also presents a range of ecological and environmental challenges. For example, urban expansion leads to the reduction of green spaces and ecological degradation, further contributing to significant increase in greenhouse gas emissions. To address these issues, the Ministry of Housing and Urban-Rural Development in China has implemented the strategy of Ecological Restoration and Urban Repair (ERUR) since 2015. The strategy has introduced three groups of pilot cities and aims to leverage the carbon sequestration potential of forests, grasslands, wetlands, and soil by restoring and rebuilding disrupted urban ecosystems. It not only further reduces

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(72004014, 72004199); 重庆市自然科学基金青年科学基金项目(CSTB2023NSCQ-MSX0556)

收稿日期: 2023-10-27; **网络出版日期:** 2024-05-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wwzh@zju.edu.cn

urban carbon emissions but also contributes substantially to climate change mitigation. This study considers the ERUR policy as an external shock and employs the Staggered Difference in Difference model (Staggered DID) to empirically evaluate its impact on urban carbon emissions. The results show that the policy has effectively reduced urban carbon emission by 5.6%. The mechanism analysis suggests that the policy primarily lowers urban carbon emissions by increasing urban green areas, thus achieving carbon reduction and sequestration. For every additional thousand hectares of green space, urban carbon emissions reduce by 1.5%. Moreover, the heterogeneity analysis indicates that the ERUR policy may increase the disparity in carbon emissions between cities with the highest and lowest emissions; The ecological foundation, financial basis, and the intensity of policy implementation can affect the effectiveness of the ERUR policy; In the developed eastern regions, the effect is stronger. This study contributes to existing knowledge in several ways: Firstly, contrasting with the predominantly qualitative focus of previous research, the study assesses the carbon emission reduction effect of ERUR policy quantitatively, thus offering a more specific and measurable evaluation of the policy's effects. Secondly, the study highlights the underlying mechanisms of urban ecological restoration policies, which is relatively underexplored in current research. Thirdly, the study uses a Changes-in-Changes model (CIC) to explore the policy's distributional impact on carbon reduction, shedding light on how policies may affect different cities and revealing potential inequalities brought by the climate policies. This study provides the following policy implications: Firstly, it's crucial to extend support to ongoing projects in ecologically vulnerable areas. During this process, the eastern regions could set a precedent, leading the way towards a nationwide embrace of low-carbon and sustainable urban transformation. Secondly, the planning of the ERUR policy could be intricately woven with the concept of low-carbon transformation. This involves strategically developing a portfolio of projects that align with the “Dual Carbon” goals, thereby enhancing the effectiveness of the ERUR policy. Thirdly, regional collaboration is necessary to offset carbon emissions linkage resulting from industrial transfers across regions. This means increasing support for ecological restoration through funding, technology, and skilled personnel, which further benefits the climate justice.

Key Words: ecological restoration and urban repair policy; ecological restoration; carbon emissions; staggered difference-in-difference method

2020年9月,习近平总书记在第七十五届联合国大会上指出:“中国将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。”城市既是气候变暖的主要贡献者,也是碳减排的主要阵地。改革开放以来,我国的城市经历了快速的城镇化进程,但快速的人口集聚和频繁的经济活动也破坏了城市生态平衡,导致温室气体排放量增加,热岛效应等“城市病”凸显。为治理“城市病”和推动城市发展方式转型,我国出台了一系列相关政策。其中,2015年中央城市工作会议提出了“生态修复、城市修补”的城市建设“双修”原则。2016年12月10日,全国“生态修复、城市修补”(以下简称“城市双修”)工作现场会在三亚召开,随后住房城乡建设部《关于加强生态修复城市修补工作的指导意见》发布,“城市双修”工作向全国推广。国家发展改革委等部门关于印发《生态保护和修复支撑体系重大工程建设规划(2021—2035年)》、住房和城乡建设部办公厅关于《开展第一批城市更新试点工作的通知》等文件也再次强调了城市生态修复、城市功能完善的重要性。随着“城市双修”逐步成为城市发展的主要任务,学者们围绕“城市双修”政策开展了广泛的研究。目前对“城市双修”的概念研究较为活跃。学者们将生态修复、城市修补两个概念进行区别和联系,并与国外的城市更新^[1]、生态城市^[2]等相似概念进行辨析,厘清我国“城市双修”的理论内涵。部分学者从“城市双修”视角进行具体城市场景的规划实践研究,如修复城市的煤矿废弃地^[3]、海岸线^[4]、水系景观^[5]、公园绿地^[6]等。也有学者对“城市双修”试点城市的成效进行案例研究,如总结提炼南京^[7]、三亚^[8]等试点城市的经验和举措。

事实上,碳达峰、碳中和(以下简称“双碳”)的目标与“双修”原则殊途而同归,都与我国生态文明建设的

愿景相一致。“城市双修”,特别是其中的生态修复,是生态文明社会建设的主要措施^[9]。在“城市双修”的试点过程中,由于城市更加注重生态修复和生产生活方式的低碳化,这将对城市碳减排产生积极影响。目前,关于政策对城市碳减排的影响及其影响机制研究已较为完善,但主要是围绕与低碳直接相关的环境规制政策,如低碳城市试点、碳排放交易权试点等。大多数研究着重分析了各类低碳政策如何通过影响技术创新、企业生产行为等减少城市碳排放^[10-12]。也有研究关注智慧城市试点^[13]等政策的碳减排效应,但鲜有研究聚焦于“城市双修”政策。因此,从碳减排角度对“城市双修”试点建设效果进行评价并提出政策建议,对推动中国城市的低碳转型具有重要意义。

基于上述背景,本文将重点探讨以下问题:“城市双修”试点的实施对城市碳减排的效果究竟如何?更进一步,其影响机制和内在机理如何?“城市双修”政策可能会加剧碳排放不公平,对碳排放量和所在区域不同的城市,其减排效果是否存在异质性?厘清上述问题,能够从效率和公平两个维度客观评价“城市双修”的试点效果,也为我国“双碳”目标的实现提供政策启示。

本文的创新在于:①已有关于“城市双修”政策的研究大多止步于定性研究,从理论上阐述“城市双修”政策对实现“双碳”目标的重要性。本文运用定量方法研究“城市双修”政策试点对城市碳减排的影响效应。②现有研究较少关注城市生态修复相关政策的碳减排效果,分析其影响机制的文献更为少见。不同于其他减排相关政策主要作用于生产过程和消费过程,“城市双修”的政策效果还包括提高城市生态系统的碳吸收能力进而增加碳汇。③除了关注城市碳减排的效率问题,本文运用双重变换模型(CIC)探究“城市双修”政策对碳排放公平性的影响。通过对试点政策在不同分位点上的效果进行评估,揭示出政策变量对碳排放量和位于不同区域的城市的影响差异。

1 理论框架与研究

“双碳”目标的实现需要从碳减排、碳增汇两个方面发力^[14]。“城市双修”作为一种综合性政策工具,对城市生态系统碳汇能力提质增效、空间布局优化、社区建设运营、居民出行和生活方式改变等方面产生直接或间接作用,从而影响城市的碳汇及碳排结果。“城市双修”包括生态修复和城市修补两个方面。根据《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》,“生态修复”指对被破坏的城市自然生态系统的恢复与重建。生态修复固碳增汇是世界各国应对气候变化的重要战略,生态系统通过光合作用吸收大气中CO₂等温室气体,并将其固定在植被碳库和土壤碳库中,从而减少温室气体浓度^[15]。“城市双修”试点城市大多将城市水体、城市绿地系统、城市周边山地的生态环境改善作为重要的生态修复对象,通过改善或恢复现有生态系统的结构和功能,优化区域生态系统的空间布局,有效发挥森林、草原、湿地和土壤的固碳作用^[16-18],抵消城市的能源碳排放。“城市修补”指对城市发展中存在的突出问题的解决,包括老城区环境品质下降、基础设施欠账严重、空间秩序混乱、历史文化遗产损毁等^[19]。城市修补相对于生态修复更为宏观,其覆盖面积更广,对“双碳”目标的作用机制也更为综合。在碳增汇层面,城市修补要求增加城市绿色公共空间、加强小区绿化、加快绿道建设等,从空间上增加城市的碳汇供给。在碳减排层面,城市修补主要作用于建筑、能源和交通领域的碳减排。传统大拆大建式的城市更新方式会在建筑拆除和建造过程中产生大量碳排放,而城市修补侧重于存量改造并反对高耗能的高层建筑。例如,在老旧小区改造的过程中综合考虑建筑节能减排与能源高效利用等因素,加强对太阳能等清洁能源的一体化设计,并对供电、供热等基础设施进行修补,从而减少碳排放。此外,城市修补将改善出行条件作为重要内容。试点城市通过鼓励绿色出行、公共交通出行,并注重产城融合的发展理念,减少交通领域的碳排放。

“城市双修”政策增加城市碳汇以及减少城市碳排主要是通过增加城市绿地实现的。增加城市绿地最直接的效益为固碳释氧,有效增加城市碳汇总量。绿地中的植被、湿地和微生物通过光合作用吸收二氧化碳,将之转化为有机碳,存储在植物体内和土壤中。绿地系统是城市区域内唯一的自然碳汇,与其他人工碳汇手段

相比,在绿地中种植植物是唯一不需要耗能的碳汇方法^[20]。因此,城市绿地系统在增加碳汇中发挥着独一无二的作用。绿地系统通过缓解城市热岛效应、降低城市能耗,间接降低碳排放。城市热岛效应是城镇化的副产品之一,其主要原因是城市绿地减少,大量使用了建筑和人工材料,导致较少的蒸发和热传导,从而增加了城市气温。热岛效应会导致城市夏季耗电量的增加,增加碳减排的难度。绿地通过植被的蒸腾作用和遮荫可以降低城市的地面和空气温度,形成较明显的城市“冷岛”^[21]。同时,通过优化城市绿地格局,并利用绿地公园与外部温差形成的微风,能够改善城市风环境,进而缓解城市热岛效应^[22],减少城市居民使用空调等高能耗设备的频次^[20],从而降低碳排放。优化城市绿地系统可以通过改变居民的出行^[21]和生活方式,间接减少碳排放。一方面,绿地系统可以在城市中为居民搭建环境优美的步行或骑行场地,引导居民选择绿色出行方式,减少因机动车出行造成的能源消耗和碳排放^[23]。另一方面,绿地的美学和科普教育功能对实现“双碳”目标同样具有促进作用^[20,24-27]。由于“城市双修”政策强调人与自然的互动,试点城市通过在城市绿地公园举办讲座、展览等丰富多彩的活动提高居民的环保意识,了解碳减排的意义以及如何践行低碳的生活方式。

2 数据来源和模型设定

2.1 估计模型

双重差分法(Difference-in-Difference, DID)被广泛用于经济学实证研究,通过比较对照组与处理组在政策实施前后的差异,剔除掉对照组与实验组在实验前的差异,估计政策的处理效应^[28-29]。由于不同试点城市的政策出台时间不同,在基本回归中,使用交错双重差分法(Staggered DID)从城市层面考察生态修复政策对城市碳排放的处理效应,分析的时间段为2005—2021年。具体模型如下:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Treat}_i \times \text{Post}_t + \alpha_1 \times X_{it-1} + \text{City FE} + \text{Year FE} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i, t 分别表示城市和时间; Y_{it} 表示被解释变量城市的碳排放水平; $\text{Post}_t \times \text{Treat}_i$ 是“城市双修”政策虚拟变量; X_{it} 是随时间变化的可观测的影响城市碳排放的控制变量,包括城市的国内生产总值(GDP,自然对数形式)、总人口(POP,自然对数形式)、产业结构(Ind),所有控制变量均取滞后一期;City FE表示城市个体固定效应,用以控制不随时间变化的城市层面的不可观测因素;Year FE表示年份固定效应,用以控制随时间变化的外生冲击; ε_{it} 表示随机误差项。

2.2 变量和数据来源

2.2.1 被解释变量

被解释变量为城市碳排放水平(Carbon)。原始数据来源于中国城市温室气体工作组(China City Greenhouse Gas Working Group, CCG)和公众环境研究中心(Institute of Public and Environmental Affairs, IPE)。中国城市温室气体工作组是由生态环境部环境规划院气候变化与环境政策研究中心发起和组织成立的城市温室气体研究与合作平台。基于中国高空间分辨率排放网格数据CHRED 3.0(China High Resolution Emission Gridded Database),对涉及城市温室气体排放的活动水平数据进行收集、整理和清洗,同时开展大量的交叉验证和数据分析,提供了2005、2010、2015、2020年的中国城市温室气体排放数据。基于该数据,IPE借助城市层面的产业结构和GDP等信息,建立数值模型来填补缺失年份的二氧化碳数据。最终,数据共涵盖2005—2021年。

2.2.2 解释变量

核心解释变量为“城市双修”政策。2015年以来,住房城乡建设部先后公布了第三批共58个“城市双修”试点城市(详见表1)。这些城市坚持人与自然和谐共生的理念,走绿色、可持续发展道路,逐步使城市发展方式得到转变。因此,本文以“城市双修”的开始年作为政策冲击的起始年份,年份在政策冲击之后,定义虚拟变量 $\text{Post} = 1$,在之前, $\text{Post} = 0$ 。同时,双重差分中控制组Treat代表是否为“城市双修”试点城市,如果是则

Treat = 1, 否则 Treat = 0。

表 1 住建部“城市双修”(ERUR)试点名单

Table 1 List of the ecological restoration and urban repair (ERUR) pilots announced by the Ministry of Housing and Urban-Rural Development

批次 Batch	城市 City
第一批(1个) First batch (1)	海南省三亚市
第二批(19个) Second batch (19)	福建省福州市、福建省厦门市、福建省泉州市、河北省张家口市、河南省开封市、河南省洛阳市、陕西省西安市、陕西省延安市、江苏省南京市、浙江省宁波市、黑龙江省哈尔滨市、江西省景德镇市、湖北省荆门市、内蒙古自治区呼伦贝尔市、内蒙古自治区乌兰浩特市、广西壮族自治区桂林市、贵州省安顺市、青海省西宁市、宁夏回族自治区银川市
第三批(38个) Third batch (38)	河北省保定市、河北省秦皇岛市、内蒙古自治区包头市、内蒙古自治区兴安盟阿尔山市、辽宁省鞍山市、黑龙江省抚远市、江苏省徐州市、江苏省苏州市、江苏省南通市、江苏省扬州市、江苏省镇江市、安徽省淮北市、安徽省黄山市、福建省三明市、山东省济南市、山东省淄博市、山东省济宁市、山东省威海市、河南省郑州市、河南省焦作市、河南省漯河市、河南省长垣县、湖北省潜江市、湖南省长沙市、湖南省湘潭市、湖南省常德市、广东省惠州市、广西壮族自治区柳州市、海南省海口市、贵州省遵义市、云南省昆明市、云南省保山市、云南省玉溪市、云南省大理市、陕西省宝鸡市、青海省格尔木市、宁夏回族自治区中卫市、新疆维吾尔自治区乌鲁木齐市

2.2.3 控制变量

碳排放受到多种因素的影响。首先,碳排放水平(Carbon)与经济发展水平相关^[30-31],因此本研究加入地区生产总值(GDP)作为控制变量;其次,人口集聚现象可以改变能源消费结构^[32],进而对碳排放产生影响。因此,本文将城市总人口(POP)作为控制变量之一;最后,城市工业结构对碳和其他排放物有影响^[33]。因此,本研究将第二产业从业人员比重作为城市工业结构的代理变量(Ind)。模型中所包含变量的统计描述见表 2。

表 2 变量和描述性统计

Table 2 Variable definition and descriptive statistics

变量 Variable	观测值 Observation	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小值 Min	最大值 Max
碳排放水平 CO ₂ /t Carbon emission level	4455	3276.823	3275.682	46	33487
城市双修政策的虚拟变量 Treat The dummy variable of the EREU pilots	4953	0.175	0.380	0	1
城市双修政策实施时间的虚拟变量 Post The dummy variable of the EREU implmenting time	4953	0.360	0.480	0	1
地区生产总值 GDP/亿元 Gross domestic production	4882	1154.354	2766.817	9.8283	38701
第二产业从业人员比重 Ind/% The percentage of the employee of secondary industry	4566	45.53742	15.22756	2.11	85.73
城市总人口 POP/万人 Total poputions	4611	143.610	187.028	0	247

3 实证结果

3.1 基准回归结果

表 3 为“城市双修”试点政策对城市碳排放影响的基准回归结果,其中列(1)和列(2)分别为不加入固定效应和控制变量的结果,交互项 Treat×Post 显著为负。第(3)列回归结果显示,当加入了控制变量、城市和年份固定效应后,Treat×Post 的系数依然维持负显著。表明相对于非试点城市,试点城市的碳排放显著降低,支持了假说 1。就经济意义而言,与非试点城市相比,“城市双修”政策使得试点城市的碳排放降低 5.6%。

进一步地,图 1 描绘了“城市双修”政策对碳排放的动态影响。在政策实施前的估计系数并不显著,平行趋势假设成立,即在试点和非试点城市之间,政策实施前的碳排放并不存在显著的系统性差异。“城市双修”

政策的减碳作用在试点实施后的第 3 年后开始显现,具有一定的滞后性。

表 3 “城市双修”政策对城市碳排放的影响

Table 3 The effect of ERUR policy on urban carbon emission

变量 Variables	Log(Carbon)			变量 Variables	Log(Carbon)		
	(1)	(2)	(3)		(1)	(2)	(3)
政策交乘项 Treat×Post	-0.132*** (0.045)	-0.047** (0.020)	-0.056*** (0.020)	常数项 Constant	4.933*** (0.076)	7.701*** (0.004)	6.558*** (0.137)
L.Log(地区生产总值)	0.501*** (0.016)		0.237*** (0.024)	观测值 Observations	4,383	4,455	4,382
L.Log(GDP)				R-squared	0.440	0.933	0.935
L.第二产业从业人员比重	0.006*** (0.001)		0.003*** (0.001)	Year FE	NO	YES	YES
L.Ind				City FE	NO	YES	YES
L.Log(城市总人口)	-0.108*** (0.025)		-0.091*** (0.028)	Adjusted R-squared	0.440	0.928	0.930
L.Log(Pop)							

回归系数下汇报的是稳健标准误,*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著;Log(Carbon)表示碳排放水平的对数,Treat表示政策实施的分组表虚拟变量,Post表示政策实施前后的时间虚拟变量,L.Log(GDP)表示滞后一期的地区生产总值的对数,L.Ind表示滞后一期的第二产业从业人员比重,L.Log(Pop)表示滞后一期的城市总人口的对数,R-squared表示拟合优度,Year FE表示年份固定效应,City FE表示城市固定效应;Adjusted R-squared表示调整后的拟合优度;括号内为标准误

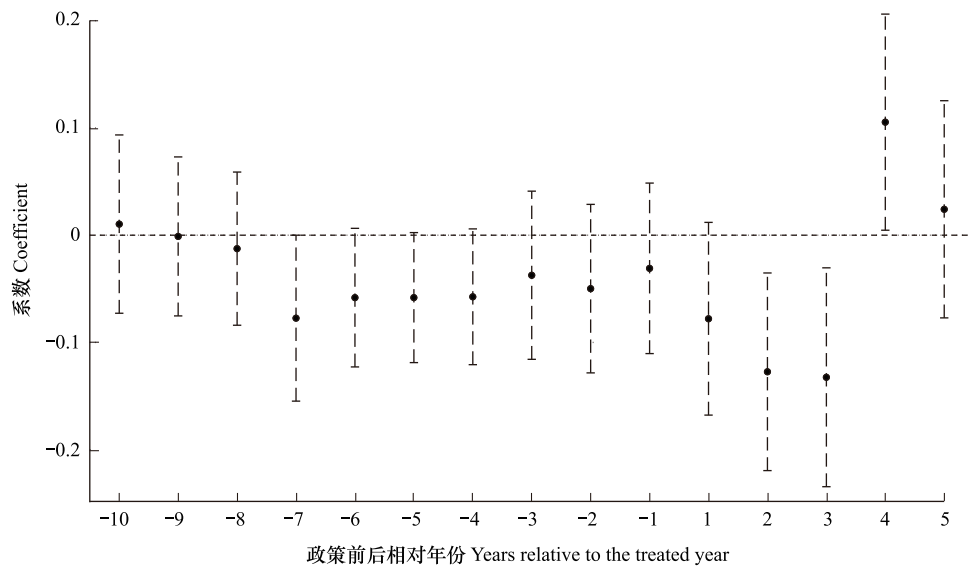


图 1 动态回归结果

Fig.1 Dynamic effect

横轴-1代表政策执行前一年,1代表政策执行后一年,以此类推

3.2 机制分析

结合前文理论分析和研究假设,“城市双修”试点主要通过增加城市绿地降低碳排放。因此,本部分以城市绿地面积(Greenland,×10³hm²)作为城市生态修复程度的代理变量,通过中介效应分析上述机制是否成立。中介效应第一阶段检验“城市双修”政策是否能够增加城市绿地面积(表4列(1)),第二阶段检验城市绿地是否可以降低碳排放(表4列(2))。表4第(1)列回归结果显示,Treat×Post的系数为正显著。表明与非试点城市相比,试点城市的绿地面积显著增加。在列(2)中,城市绿地面积的系数显著为负。绿地面积每增加1000hm²,城市碳排放降低1.5%,说明增加城市绿地面积确实会降低碳排放水平。此外,在加入城市绿地面积变量后,Treat×Post系数(-0.053)的绝对值相较于表3第(3)列下降(-0.056),进一步验证了“城市双修”政策是通过增加城市绿地面积而降低碳排放水平。以上结果说明,“城市双修”政策通过对被破坏的城市自然生态系统的恢复与重建,有效发挥森林、草原、湿地等绿地的固碳作用,降低城市的碳排放水平,促进城市的低碳化转型,支持了假说2。

表 4 机制分析

Table 4 Mechanism analysis

变量 Variables	第一阶段 First phase	第二阶段 Second phase	变量 Variables	第一阶段 First phase	第二阶段 Second phase
Treat×Post	0.222 *** (0.073)	-0.053 *** (0.020)	常数项 Constant	-2.092 *** (0.603)	6.579 *** (0.137)
L.Log(GDP)	0.288 *** (0.087)	0.235 *** (0.024)	观测值 Observations	4504	4344
L.Ind	-0.005 ** (0.002)	0.003 *** (0.001)	R-squared	0.873	0.936
L.Log(Pop)	0.450 *** (0.147)	-0.088 *** (0.028)	Year FE	YES	YES
城市绿地面积 Greenland		-0.015 *** (0.005)	City FE	YES	YES
			Adjusted R-squared	0.864	0.931

回归系数下汇报的是稳健标准误, * * 和 * * * 分别表示在 5% 和 1% 的水平上显著

3.3 异质性分析

3.3.1 分位数影响

本部分使用双重变换模型(Changes-in-changes Model, CIC)分析“城市双修”政策对碳排放分布的影响。图 2 显示,当城市碳排放处于较低分位数时,“城市双修”政策的负向影响较为显著,这种影响在较高分位数时逐渐减弱。这表明,碳排放量较低的城市更有可能通过“城市双修”政策提高能源利用效率,减少碳排放;而碳排放量较高的城市却较难获得“城市双修”政策的减碳效益。因此,“城市双修”政策将扩大碳排放最高和最低城市之间的碳排放差距,从而加剧碳不平等现象。例如,碳排放较高的城市可能更依赖于高能耗的城市发展模式,也亟需向低碳发展模式转型,但“城市双修”政策对这类城市的影响并不显著,这对“城市双修”政策促进城市低碳转型的有效性构成了挑战。

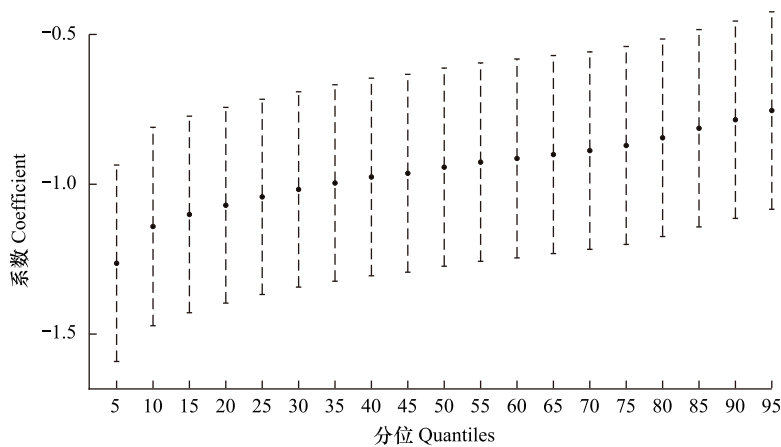


图 2 双重变换模型结果

Fig.2 Changes-in-Changes model result

3.3.2 区域异质性

由于中国存在巨大的区域差异,“城市双修”政策的影响预计在不同地区有所差异。本文基于中国不同地区(即东部、中部和西部地区)的子样本重新进行了 DID 分析。表 5 结果显示,在 5% 的显著性水平下, Treat×Post 只在第(1)列中显著,在第(2)和(3)列均不显著。以上结果表明,“城市双修”政策对位于经济发达的东部地区的城市的碳减排助推作用更强,而在中西部地区并没有显著的效果,这也进一步说明了经济水平对“城市双修”政策推行的有效性具有重要的影响。中西部地区需要承接经济发达地区的高污染高耗能产

业的转移,但却缺乏必要的手段和能力去进行生态修复,导致了减碳作用的失效。异质性分析的结果也表明,“城市双修”等生态修复手段的减碳作用与当地的经济科技状况息息相关,可能加剧城市碳不平等、区域发展不均衡等问题。

表 5 区域异质性分析

Table 5 Heterogeneity across regions

变量 Variables	东部地区 East(1)	中部地区 Middle(2)	西部地区 West(3)	变量 Variables	东部地区 East(1)	中部地区 Middle(2)	西部地区 West(3)
Treat×Post	-0.057 ** (0.025)	-0.058 (0.039)	0.023 (0.031)	常数项 Constant	7.432 *** (0.215)	6.734 *** (0.318)	6.795 *** (0.278)
L.Log(GDP)	0.184 *** (0.047)	0.192 *** (0.053)	0.100 ** (0.048)	观测值 Observations	872	840	719
L.Ind	0.003 *** (0.001)	0.004 ** (0.001)	-0.000 (0.002)	R-squared	0.955	0.927	0.963
L.Log(Pop)	-0.123 ** (0.048)	-0.069 (0.060)	0.035 (0.066)	Year FE	YES	YES	YES
				City FE	YES	YES	YES
				Adjusted R-squared	0.949	0.916	0.957

回归系数下汇报的是稳健标准误, * * 和 * * * 分别表示在 5% 和 1% 的水平上显著

3.3.3 城市异质性

考虑到“城市双修”试点城市的生态基础、财政基础以及政策执行力度可能存在差异,本部分进行了如下的异质性分析。首先,参考王印红和李萌竹、陈诗一等^[34—35]的做法,提取各个城市政府工作报告中与生态修复相关的关键词(如环境保护、山林修复、植树造林、退耕还林、绿地、森林、生态屏障、绿水青山等),并计算相关关键词在整个报告中的词频,作为“城市双修”工作的执行力度的代理变量。其次,计算各城市的生态环境质量,作为衡量“城市双修”工作生态基础的指标,相关数据来自于国家地球系统科学数据中心。再次,考虑到进行城市双修需要一定的财政支持,使用各个城市财政收入作为“城市双修”工作的财政基础,数据来自于城市统计年鉴。进一步地,基于以上变量的中位数,将城市分为两组并分别进行异质性分析:①执行力度低、执行力度高;②生态环境差、生态环境好;③财政收入低和财政收入高。

表 6 的结果显示,Treat×Post 系数在列(1)中不显著但在列(2)中显著,说明“城市双修”政策执行力度高的城市具有更明显的减碳效应。Treat×Post 系数在列(4)中不显著但在列(3)中显著,说明“城市双修”试点政策的实施对于生态基础较差城市的碳减排作用更为明显,该结果进一步说明了“城市双修”政策执行的必要性。列(5)和列(6)的结果说明,仅在财政收入高的城市,“城市双修”政策的实行才可以显著地降低碳排放;财政基础较差的城市可能无法有效地为“城市双修”工作的开展提供资金支持,因此效力较差。以上结果表明,城市的生态基础、财政基础以及政策执行力度会影响“城市双修”政策的碳减排效力。

3.4 稳健性检验

3.4.1 延长分析区间与剔除其他政策影响

本文采用以下方法进行稳健性检验。第一,为避免分析区间时间段过长造成的潜在干扰,分析样本仅包含政策实施前 5 年(2010—2021),列(1);第二,分析区间内还实施了其他可能会对碳排放产生一定干扰的政策。为此,本文在样本中剔除了碳交易政策试点(列(2))、2010 年以来的第三批低碳城市试点(列(3))、2008 年以来的环境信息公开政策(仅分析 2008 年之后的数据,列(4))的影响以及北京“蓝天保卫战”(剔除京津冀地区列(5))等地方性政策的干扰,重新进行回归。表 7 结果显示,Treat×Post 的系数均显著为负,表明了本研究结果的稳健性,即“城市双修”政策确实可以促进城市碳排放的降低。

3.4.2 安慰剂检验

以上并不能完全排除所有政策的潜在影响。为了排除其他不可观测因素的干扰,本部分采用随机化处理组的方法进行安慰剂检验。安慰剂检验已广泛地运用在各类政策评估中^[36—38],用以检验政策的真实效应,可

以较好地剔除其他政策的影响。

表 6 城市异质性分析

Table 6 Heterogeneity across cities

变量 Variables	执行力度低 Low execution intensity (1)	执行力度高 High execution intensity (2)	生态环境差 Poor ecological environment (3)	生态环境好 Good ecological environment (4)	财政收入低 Low fiscal revenue (5)	财政收入高 High fiscal revenue (6)
Treat×Post	-0.021 (0.051)	-0.047** (0.022)	-0.097*** (0.029)	-0.017 (0.027)	0.030 (0.072)	-0.051*** (0.019)
L.Log(GDP)	0.256*** (0.040)	0.206*** (0.036)	0.239*** (0.032)	0.242*** (0.040)	0.277*** (0.042)	0.140*** (0.031)
L.Ind	0.003** (0.001)	0.003*** (0.001)	0.000 (0.001)	0.006*** (0.001)	0.006*** (0.001)	0.003*** (0.001)
L.Log(Pop)	-0.060 (0.051)	-0.126*** (0.043)	-0.093** (0.043)	-0.082** (0.040)	-0.027 (0.068)	-0.065** (0.032)
常数项 Constant	6.301*** (0.252)	6.925*** (0.204)	6.980*** (0.220)	6.071*** (0.185)	5.610*** (0.291)	7.409*** (0.170)
观测值 Observations	2119	2258	2199	2167	2008	2353
R-squared	0.943	0.949	0.937	0.919	0.926	0.939
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
City FE	YES	YES	YES	YES	YES	YES
Adjusted R-squared	0.934	0.941	0.931	0.911	0.915	0.932

回归系数下汇报的是稳健标准误, * * 和 * * * 分别表示在 5% 和 1% 的水平上显著

表 7 延长分析区间与剔除其他政策影响的稳健性检验结果

Table 7 Robustness check

变量 Variables	修改分析区间 2010—2021 Modify analysis interval 2010—2021 (1)	剔除碳交易政策 试点 Excluding pilot carbon trading policies (2)	剔除低碳城市试点 Excluding low-carbon city pilot projects (3)	剔除环境信息公开 政策 Excluding environmental information disclosure policies (4)	剔除“北京蓝天保卫战”政策 Excluding the “Beijing Blue Sky Defense War” policy (5)
Treat×Post	-0.056*** (0.020)	-0.060*** (0.020)	-0.123*** (0.030)	-0.033* (0.018)	-0.069*** (0.020)
L.Log(GDP)	0.237*** (0.024)	0.255*** (0.026)	0.307*** (0.035)	0.183*** (0.024)	0.230*** (0.025)
L.Ind	0.003*** (0.001)	0.003*** (0.001)	0.001* (0.001)	0.003*** (0.001)	0.003*** (0.001)
L.Log(Pop)	-0.091*** (0.028)	-0.155*** (0.034)	-0.212*** (0.041)	-0.067** (0.028)	-0.091*** (0.030)
常数项 Constant	6.558*** (0.137)	6.757*** (0.149)	6.759*** (0.174)	6.839*** (0.133)	6.563*** (0.139)
观测值 Observations	4382	3824	2529	3552	4183
R-squared	0.935	0.936	0.930	0.945	0.932
Year FE	YES	YES	YES	YES	YES
City FE	YES	YES	YES	YES	YES
Adjusted R-squared	0.930	0.931	0.924	0.940	0.926

回归系数下汇报的是稳健标准误, * * * 和 * * * 分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平上显著

如果本研究中的碳排放变化是由于“真实”的“城市双修”政策所导致的,那么“虚假”的处理组在 Treat×Post 的系数应该是不显著的。因此,本文首先在分析期内随机生成了“城市双修”政策的试点区域,随后基于“虚假”的试点区域重新运行了 500 次 DID 分析。安慰剂检验结果如图 3 所示。可以看出,500 次回归结果的

Treat×Post 估计系数的均值接近于 0,且绝大多数估计系数远离真实的估计系数(-0.056);绝大部分 t 值的范围在-1.96 到 1.96 之间,说明超过 95%的估计系数不具有显著性。以上结果证明本文的基准结果并非是由其他不可观测的因素导致的,进一步证明了结论的稳健性。

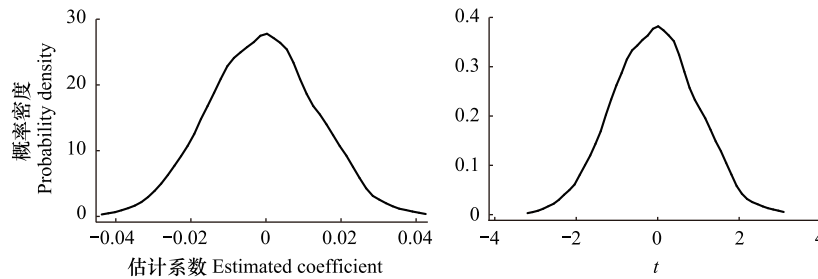


图 3 安慰剂检验
Fig.3 Placebo test

4 结论与政策启示

城市扩张所导致的各类生态环境问题等,不仅导致了绿地减少、生态环境退化等问题,也进一步使温室气体排放量增加。为应对这些问题,“城市双修”策略应运而生。与之前主要集中于减少生产和消费过程中碳排放的策略不同,“城市双修”更强调提升城市生态系统的碳汇能力、优化城市及社区更新方式、改变居民出行和生活方式,进而影响城市碳减排。随着“双碳”目标的确立,迫切需要城市发展方式向绿色低碳转型,准确评估“城市双修”试点建设对碳减排的促进作用对于探索中国式人与自然和谐共生的现代化和实现“双碳”目标具有重要意义。

本文利用 2005—2021 年我国 287 个地级市的非平衡面板数据,以“城市双修”政策试点的实施为准自然实验,运用交错双重差分法实证评估了“城市双修”政策对城市碳排放的影响。主要研究结论如下:一是“城市双修”政策显著地降低了试点城市的碳排放。该结论在安慰剂检验、一系列稳健性检验后仍然成立;二是“城市双修”政策主要是通过增加城市绿地碳汇降低碳排放水平;三是异质性分析结果表明,“城市双修”政策将扩大碳排放量最高和最低城市之间的差距;在经济较为发达、财政实力较强的东部地区,试点城市的碳减排效果更好。因此,该政策可能会加剧我国碳不公平现象。

基于以上研究结论,本文提出以下政策建议:

(1) 全面总结“城市双修”试点工作,在全国推广通过生态修复实现减碳增汇的经验。“城市双修”政策通过对被破坏的城市自然生态系统的恢复与重建,有效发挥森林、草原、湿地和土壤的固碳作用,能够显著降低城市碳排放,对减缓气候变暖具有重要意义。西部地区既拥有广袤的高原草原,又是荒漠化较为严重的地区,“城市双修”政策的减碳作用仍有较大潜力。在试点扩容的过程中可对西部城市进行适当倾斜,通过支持生态脆弱地区的城市持续开展退耕还林还草、退牧还草、人工造林等工程,巩固和提升其生态安全屏障功能和生态系统碳汇功能。在试点过程中,应边总结边推广,持续提炼可借鉴的经验做法,特别是东部地区要率先形成引领示范,为全国城市的低碳、可持续转型贡献力量。

(2) 将“双碳”作为“城市双修”的重要目标和组成部分,系统推进生态文明战略和低碳城市建设。全国各试点与非试点城市的“城市双修”规划的编制要充分体现低碳转型的发展理念,围绕“双碳”目标谋划储备一批项目库。在以生态修复推动绿色低碳转型的过程中,充分发挥城市绿地的作用。一方面,充分挖掘城市绿地系统减碳和增汇的能力和潜力,鼓励试点城市研发和推广碳捕集、利用与封存等低碳技术;另一方面,将城市绿地作为人与自然互动的突破口,充分发挥其对低碳生活方式的自然教育功能。

(3) 聚焦“碳公平”因地制宜开展“城市双修”工作,根据城市发展实际制定差异化的低碳发展战略。碳

排放量较高的城市往往依赖高耗能产业,形成高碳路径依赖。这类城市仅依靠“城市双修”无法完成“双碳”目标,必须加快推进产业的绿色转型升级,走创新驱动发展道路。对于欠发达的中西部地区,不仅要承接从东部地区转移的高耗能产业,还面临着缺乏生态修复要素的巨大短板以及财政资金的短缺。一方面要加大中西部地区能源革命力度,发挥风能、太阳能等清洁能源优势;另一方面,在产业转移的过程中探索对中西部地区的碳排放补偿机制,并加大对中西部地区开展生态修复的资金、技术和人才的支援,促进区域碳公平。

参考文献(References):

- [1] 雷维群,徐姗,周勇,韦波,朱里莹.“城市双修”的理论阐释与实践探索.城市发展研究,2018,25(11):中插32-中插36.
- [2] 陈太政,李政阳.我国“城市双修”的发展与实践述论.中国名城,2019(1):26-32.
- [3] 闫美芳,王璐,郝存忠,刘阳,崔菲菲,任鸿瑞,张建彪.煤矿废弃地生态修复的土壤有机碳效应.生态学报,2019,39(5):1838-1845.
- [4] 隋玉正,孙大鹏,李淑娟,徐永臣,吴晶晶.碳储存变化背景下东营市海岸带生态系统保护修复.生态学报,2021,41(20):8112-8123.
- [5] 韩毅,朴香花,梁倩.城市双修视角下的城市水系景观规划实践——以新乡市水系连通生态规划为例.中国园林,2018,34(8):27-32.
- [6] 周晓航.“城市双修”背景下的公园绿地弹性化改造设计研究[D].苏州:苏州大学,2019.
- [7] 郭施宏,王雪纯.中国迈向“双碳”目标的政策执行保障机制研究——来自低碳试点城市的实证经验.北京工业大学学报:社会科学版,2021,21(6):57-68.
- [8] 李晓晖,黄海雄,范嗣斌,缪杨兵.“生态修复、城市修补”的思辨与三亚实践.规划师,2017,33(3):11-18.
- [9] 周妍,苏香燕,应凌霄,周旭,张成鹏,康玉麟.“双碳”目标下山水林田湖草沙一体化保护和修复工程优先区与技术策略研究.生态学报,2023,43(9):3371-3383.
- [10] Dong Z Y Z, Chen W Q, Wang S J. Emission reduction target, complexity and industrial performance. *Journal of Environmental Management*, 2020, 260: 110148.
- [11] Wang C H, Wu J J, Zhang B. Environmental regulation, emissions and productivity: evidence from Chinese COD-emitting manufacturers. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 92: 54-73.
- [12] Qi S Z, Zhou C B, Li K, Tang S Y. Influence of a pilot carbon trading policy on enterprises' low-carbon innovation in China. *Climate Policy*, 2021, 21(3): 318-336.
- [13] 刘潇.智慧城市试点政策的碳减排效应研究——基于中国283个城市的准自然实验[D].杭州:浙江大学,2023.
- [14] 梁森,张建军,王柯,刘时栋.区域生态保护修复碳汇潜力评估方法与应用——基于第一批山水林田湖草生态保护修复工程的研究.生态学报,2023,43(9):3517-3531.
- [15] Suding K, Higgs E, Palmer M, Callicott J B, Anderson C B, Baker M, Gutrich J J, Hondula K L, LaFevor M C, Larson B M H, Randall A, Ruhl J B, Schwartz K Z S. Committing to ecological restoration. *Science*, 2015, 348(6235): 638-640.
- [16] Lu F, Hu H F, Sun W J, Zhu J J, Liu G B, Zhou W M, Zhang Q F, Shi P L, Liu X P, Wu X, Zhang L, Wei X H, Dai L M, Zhang K R, Sun Y R, Xue S, Zhang W J, Xiong D P, Deng L, Liu B J, Zhou L, Zhang C, Zheng X, Cao J S, Huang Y, He N P, Zhou G Y, Bai Y F, Xie Z Q, Tang Z Y, Wu B F, Fang J Y, Liu G H, Yu G R. Effects of national ecological restoration projects on carbon sequestration in China from 2001 to 2010. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2018, 115(16): 4039-4044.
- [17] Harris N L, Gibbs D A, Baccini A, Birdsey R A, de Bruin S, Farina M, Fatoyinbo L, Hansen M C, Herold M, Houghton R A, Potapov P V, Suarez D R, Roman-Cuesta R M, Saatchi S S, Slay C M, Turubanova S A, Tyukavina A. Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 2021, 11: 234-240.
- [18] 叶祖达.建立低碳城市规划工具——城乡生态绿地空间碳汇功能评估模型.城市规划,2011,35(2):32-38.
- [19] 沈清基.“城市双修”中的生态修复.环境经济,2017(15):12-14.
- [20] 赵彩君,刘晓明.城市绿地系统对于低碳城市的作用.中国园林,2010,26(6):23-26.
- [21] Spronken-Smith R A, Oke T R. The thermal regime of urban parks in two cities with different summer climates. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(11): 2085-2104.
- [22] Wang F. Modelling sheltering effects of trees on reducing space heating in office buildings in a windy city. *Energy and Buildings*, 2006, 38(12): 1443-1454.
- [23] 高原,刘堃.深圳市绿道对多样慢行活动的支持与规划策略.规划师,2019,35(14):39-45.
- [24] Keeler B L, Hamel P, McPhearson T, Hamann M H, Donahue M L, Meza Prado K A, Arkema K K, Bratman G N, Brauman K A, Finlay J C, Guerry A D, Hobbie S E, Johnson J A, MacDonald G K, McDonald R I, Neverisky N, Wood S A. Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature. *Nature Sustainability*, 2019, 2: 29-38.

- [25] Hartig T, Jr Kahn P H. Living in cities, naturally. *Science*, 2016, 352(6288): 938-940.
- [26] van den Bosch M, Sang Å O. Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health-A systematic review of reviews. *Environmental Research*, 2017, 158: 373-384.
- [27] Klaus V H, Kiehl K. A conceptual framework for urban ecological restoration and rehabilitation. *Basic and Applied Ecology*, 2021, 52: 82-94.
- [28] 张广来, 张宁, 任亚运. 大气污染规制对城市空气污染的防治成效——基于准实验分析. *生态学报*, 2022, 42(19): 7932-7940.
- [29] 陆文聪, 谢昌财. 中国碳排放权交易政策对地区清洁生产意愿的影响. *生态学报*, 2019, 39(18): 6880-6888.
- [30] 王群伟, 周鹏, 周德群. 我国二氧化碳排放绩效的动态变化、区域差异及影响因素. *中国工业经济*, 2010(1): 45-54.
- [31] Wang S J, Li G D, Fang C L. Urbanization, economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions: empirical evidence from countries with different income levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81: 2144-2159.
- [32] 王雅晴, 谭德明, 张佳田, 孟楠, 韩宝龙, 欧阳志云. 我国城市发展与能源碳排放关系的面板数据分析. *生态学报*, 2020, 40(21): 7897-7907.
- [33] Xiao H J, Shan Y L, Zhang N, Zhou Y, Wang D P, Duan Z Y. Comparisons of CO₂ emission performance between secondary and service industries in Yangtze River Delta cities. *Journal of Environmental Management*, 2019, 252: 109667.
- [34] 王印红, 李萌竹. 地方政府生态环境治理注意力研究——基于 30 个省市政府工作报告(2006—2015)文本分析. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(2): 28-35.
- [35] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展. *经济研究*, 2018, 53(2): 20-34.
- [36] Dong Z, Xia C Y, Fang K, Zhang W W. Effect of the carbon emissions trading policy on the co-benefits of carbon emissions reduction and air pollution control. *Energy Policy*, 2022, 165: 112998.
- [37] 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. *管理世界*, 2019, 35(6): 95-108, 195.
- [38] 卢盛峰, 董如玉, 叶初升. “一带一路”倡议促进了中国高质量出口吗——来自微观企业的证据. *中国工业经济*, 2021(3): 80-98.