



低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应

——基于绿色创新与产业升级的协同视角

苏涛永 郁雨竹 潘俊汐

(同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

摘要:为应对气候变化和实现经济的高质量发展,中国政府分别从2010年和2008年开始进行低碳城市和创新型城市试点工作,并不断扩大试点范围。准确评估试点城市建设的政策效果以及不同试点政策之间的协同作用,对进一步推广试点政策、改善政策效果具有重要意义。基于2009—2017年中国285个城市的面板数据,以低碳城市和创新型城市政策为研究对象,采用多期双重差分法估计了双试点城市设立对城市碳排放水平的影响。结果发现,在不抑制城市经济发展的前提下,相比于非双试点城市,双试点城市的碳排放量显著降低。同时,相比于低碳城市单试点和创新型城市单试点,低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效果更强,低碳城市试点和创新型城市试点对碳减排有协同作用。此外,先成为创新型城市再成为低碳城市比先成为低碳城市再成为创新型城市的碳减排效果更好。从动态效应上看,双试点城市设立的碳减排效应出现在试点后的第3年,说明该效应存在一定的时滞性。影响机制分析表明双试点通过提高绿色创新水平和优化产业结构等途径抑制碳排放量。此外,双试点城市的设立对碳排放的影响存在地区异质性和主导产业异质性,碳减排效应在东部城市和主导产业为第三产业的城市的子样本中更加显著。

关键词:低碳城市;创新型城市;碳排放;绿色创新

中图分类号:F204 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-0241(2022)01-0021-17

0 引言

2020年,中国政府在第七十五届联合国大会上提出二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,争取在2060年前实现碳中和的愿景。碳达峰、碳中和目标的提出把我国绿色发展之路提升到新的高度,绿色成为未来数十年内我国社会经济发展的底色。作为全球最大的发展中国家和最大的二氧化碳排放国,中国积极开展了多项碳减排实践,采取了诸如建设全国碳排放权交易市场、建设低碳城市试点等措施推进节能减排,促进经济低碳

转型。2021年11月,习近平在格拉斯哥《联合国气候变化框架公约》第二十六次缔约方大会上提出以下重要建议:要以科技创新为驱动,推进能源资源、产业结构、消费结构转型升级,推动经济社会绿色发展,探索发展和保护相协同的新路径。中国的低碳城市试点和创新型城市试点分别是中国绿色发展理念和创新发展理念的实践,绿色发展是一个绿色与创新协同发展的过程。

已有文献对碳排放的影响因素进行了详细的研究。学者研究了人口规模结构(郭文等,2017)、

收稿日期:2021-10-13

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71872128);中央高校基本科研业务费专项资金项目(22120200381);上海市“曙光计划”项目(20SG23)

作者简介:苏涛永(1982—),男,汉族,湖北松滋人,同济大学经济与管理学院教授、博士生导师,研究方向:创新与创业管理;郁雨竹(1997—),女,汉族,浙江嘉兴人,同济大学经济与管理学院博士研究生,研究方向:创新与创业管理;潘俊汐(1997—),女,汉族,山东潍坊人,同济大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:创新与创业管理。

通信作者:郁雨竹,2110098@tongji.edu.cn

经济发展水平(邓晓兰等, 2014)、技术创新(卢娜等, 2019)、金融发展(严成樑等, 2016)和产业结构(原嫄等, 2016)等对碳排放的影响。屈小娥等(2021)研究发现对外直接投资既存在加剧碳排放的直接影响,也有通过中介变量抑制碳排放的间接效应。Zhang等(2017b)研究发现贸易开放度对碳排放产生了负面影响。张腾飞等(2016)发现城镇化可以通过对人力资本积累和清洁生产等渠道来抑制地区碳排放。随着研究的进一步深入,学者逐渐关注一类因素的多个层面对碳排放的影响。比如,在能源因素方面,学者从能源价格、能源结构、能源效率3个层面研究能源因素对碳排放的影响效应(于向宇等, 2019)。

试点城市政策的有效性评估属于政府正式环境规制如何影响碳排放这一类议题。在环境规制对碳排放的作用效应方面,存在“绿色悖论”和“倒逼减排”两种观点(张华等, 2014a)。持“倒逼减排”观点的学者认为环境规制能有效遏制碳排放。持“绿色悖论”观点的学者则认为好的意图不总是引起好的行为,环境规制强度的提高不能促进碳减排(Sinn, 2008)。如张华(2014b)认为在“中国式分权”引致的地方政府竞争影响下,环境规制具有“逐底竞争”的特征,使得环境规制不利于遏制碳排放。在环境规制对碳排放的影响机制方面,已有研究表明环境规制主要通过能源消费结构、产业结构、技术创新和外商直接投资4条传导渠道对碳排放产生间接影响(徐盈之等, 2015)。

尽管已有学者对碳排放的驱动因素和影响机制做了丰富的研究和探讨,但已有研究仍然存在进一步研究的空间。首先,现有研究多集中于探讨单一政策对碳排放的影响,而忽略了政策之间的协同作用;其次,关于碳排放驱动因素的现有研究多集中于经济发展、技术创新和产业结构等方面,对政府政策的碳减排效果的研究相对较少,且研究焦点并不直接聚焦于碳排放量;此外,各地区自然

资源禀赋和污染程度等方面存在较大差异,但关于政府政策影响碳排放量的异质性问题的研究较为缺乏,使得研究结论和政策建议缺乏说服性。

本文试图回答以下问题:低碳城市和创新型城市双试点是否有助于降低城市的碳排放水平?这种影响是否存在时空差异?低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应相比于单试点是否更强?更进一步,双试点通过什么途径影响城市的碳排放水平?厘清上述问题,对巩固低碳城市和创新型城市建设的前期发展成果以及确定未来的发展方向具有重要的实践价值。

本文可能存在以下边际贡献:第一,研究议题上,本文研究低碳城市试点政策和创新型城市试点政策对碳减排的协同效应。虽然已有少数文献研究了低碳城市建设与碳排放权交易市场建设等环境规制的碳减排效果,但作者进一步考虑了政策之间可能存在的协同作用,为现有研究成果做出了合理性补充,是响应国家“探索发展和保护相协调的新路径”的有益尝试。第二,识别策略上,基于双试点设立的外生冲击,本文利用准自然实验所导致的不同城市、不同试点时间上的差异,采用了多期双重差分方法,通过比较城市实施双试点时间的先后、非试点城市之间碳排放水平的差异,得到双试点城市设立对碳排放的“净效应”。相比于既有构建环境规制的代理变量的相关研究(Zhang et al, 2017a),本文避免了测量误差导致的内生性问题。第三,实践意义上,本文为进一步扩大双试点城市范围提供了实证证据,并为国家实现双碳目标提供了有益的借鉴,对未来碳减排的环境政策应更多关注政策之间的协同效应有所启示。

1 政策背景和理论分析

1.1 政策背景

处于转型时期的中国经济面临着碳排放与经济增长之间的权衡与协调,节能减排成为我国新时期经济可持续发展的战略需要。中国在十一五

规划中首次提出了约束性节能指标,此后在哥本哈根联合国气候变化会议上,中国政府承诺2020年的单位GDP碳排放量将比2005年下降40%~45%,体现了中国政府节能减排的决心。在此背景下,中国政府先后组织开展了3批低碳城市试点。世界自然基金会将低碳城市定义为:城市在经济高速发展的前提下,保持能源消耗和二氧化碳排放处于较低的水平。2010年,国家发展改革委发布的《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》确定,首先在广东、云南等5省和深圳、杭州等八市开展试点工作。随后,又分别于2012年和2017年公布了第二批和第三批国家低碳试点名单,将广州、南京、成都等城市也纳入低碳试点城市范围。

为了促进城市经济发展由传统要素驱动向创新驱动转变,并提高自主创新能力,近十几年来中国政府着力推行创新型城市的建设工作。《建设创新型城市工作指引》中将创新型城市定义为:“以科技创新为经济社会发展的核心驱动力,拥有丰富的创新资源、充满活力的创新主体、高效的创新服务和政府治理、良好的创新创业环境,对建设创新型省份和国家发挥显著支撑引领作用的城市”。自中国于2008年将深圳作为首个创新型城市试点以来,已有78个城市(区)开展了创新型城市建设,成效显著。创新型城市集聚和配置创新资源,建立创新驱动的集约型城市经济增长模式,最终目标是实现城市经济增长和可持续发展。总体而言,我国创新型城市试点经历了从试点到推广再到覆盖的历程,由点到面的创新型城市试点是中国迈向创新型国家的重要环节。

1.2 理论分析

Grossman等(1995)认为规模效应、结构效应和技术效应是社会经济发展影响周边环境的实现途径。其中,规模效应是指经济发展带来更大规模的经济活动与资源、能源需求量,从而产生更大的

污染排放量,对环境产生负面影响(徐现祥等,2015)。结构效应指的是生产活动的污染密集性,直接影响环境质量(陆铭等,2014),即产业结构由农业转向工业再转向服务业时,环境质量先降低再提升。技术效应则来源于各部门经济活动对碳排放依赖程度的变化。

1.2.1 双试点城市建设的碳减排效应

低碳城市是中国国家发展改革委为推动生态文明建设,推动绿色低碳发展,确保实现我国控制温室气体排放行动目标而进行的试点,按政策预期应当具有碳减排作用。国家发改委对试点地区提出了具体的任务,如《国家发展改革委关于开展第三批国家低碳城市试点工作的通知》中提到了5项具体任务:明确目标和原则、编制低碳发展规划、建立控制温室气体排放目标考核制度、积极探索创新经验和做法和提高低碳发展管理能力。此外,已有学者实证检验了低碳城市试点确实会降低城市的碳排放水平。张华(2020)研究发现低碳城市建设显著降低碳排放水平,进一步研究发现低碳试点政策主要通过降低能源消费、优化产业结构和提升技术创新水平等途径影响碳排放量。周迪等(2019)等以第二批低碳试点政策为研究对象也发现低碳试点政策对城市的碳排放强度下降具有显著且持续的推动作用。

创新型城市试点政策也有利于抑制城市碳排放水平。创新型城市建设能够强化创新政策支持、提高创新要素集聚、增加创新投入和改善创新环境,从而促进技术创新、优化产业结构和转变发展方式,这有利于降低碳排放水平(张华等,2021)。《建设创新型城市指标体系》文件明确要求将碳排放强度作为特色指标,并且将万元GDP综合能耗作为基础指标。此外,创新型城市要求将创新作为城市发展的第一动力,有别于传统的粗放型发展方式,实现高污染、高耗能、高排放的“三高”产业低碳化运营,推动城市低碳经济发展和可

持续发展。

相比于仅仅是单试点,进一步成为双试点城市可能会有更强的碳减排效果。创新型城市试点有利于提升城市的创新水平(李政等,2019)。城市的创新发展可起到驱动引擎作用,微观上降低企业的环境遵循成本,促使企业减少碳排放,宏观上优化城市的产业结构,提高经济发展的质量。对于低碳试点城市来说,再进一步成为创新型城市可提升城市的创新水平,为城市的绿色发展提供驱动力。对于创新型城市来说,再进一步成为低碳城市可从政策导向上促使城市经济的绿色转型升级。因此,低碳城市试点和创新型城市试点均对城市碳排放具有抑制作用,且两者很有可能对城市碳减排有协同作用,相比于单试点,双试点的碳减排效果更强。因此,本文提出如下研究假设:

假设H1:低碳城市和创新型城市双试点更有利于降低城市的碳排放量。

1.2.2 机制分析

(1) 机制分析:绿色技术创新。绿色技术创新是有利于环境质量改善的技术创新(Herdt et al, 1987)。长期来看,技术进步是解决环境污染问题的有效手段,尤其是以绿色技术为导向的创新(董直庆等,2019)。绿色技术创新作为适应气候变化挑战、解决环境污染问题的手段备受学者关注,学者们普遍认为绿色技术创新能有效减少温室气体(Lee et al, 2015)。考虑到我国经济和能源系统所具有的高碳化特征,绿色创新驱动更是被认为是实现碳中和目标的重要途径之一(张意翔等,2021)。

本质上作为一种政府正式环境规制的低碳城市试点政策很可能对城市绿色技术创新水平的提升具有促进作用。针对环境规制对绿色技术创新的影响,目前有两种竞争性假说。遵循成本假说认为环境规制加重了企业的减排成本,使原本计划的创新投入被非创新性投入所挤占,因此对绿

色技术创新具有抑制效应。波特假说最早提出了环境规制对技术创新的促进效应。该假说认为适当的环境规制可以弥补企业的“环境遵循成本”,并提高企业的竞争力(Porter et al, 1995),促进生产技术的进步和低碳环保技术的升级,从而有利于减少碳排放。目前大多数研究证实了波特假说的合理性,如 Bergek 等(2014)提出设计合理的环境规制能促使企业进行环境友好型的技术创新,显著提高企业绿色技术创新能力。熊广勤(2020)等研究发现低碳试点城市政策显著提高了试点城市内高碳排放企业的绿色技术创新水平,也验证了波特假说成立。

在创新型城市试点政策是否提升了城市创新水平这一问题上,李政等(2019)认为创新型城市试点对城市创新水平的促进作用呈现出一种先增强后减弱的非对称“倒V”型变化特征。徐换歌等(2020)认为创新型城市试点政策可以显著提升城市创新力,但提升效果逐年减弱。曾婧婧等(2019)进一步发现城市产业结构越高级化,创新型城市建设对城市创新水平的提升效果越突出。创新型城市是城市创新发展的范本,创新基础较好,具备进一步研发绿色专利、提升绿色技术创新水平的优势。李政等(2021)研究发现创新型城市试点政策能够有效提升城市的绿色创新水平,并且这种带动效应可持续6年左右。创新型城市试点政策通过政府引领效应、人才集聚效应、创新效应和结构效应有效地提升了城市的绿色创新水平。因此,本文提出如下研究假设:

假设H2:低碳城市和创新型城市双试点通过提高城市的绿色技术创新水平降低碳排放量。

(2) 机制分析:产业结构。首先,低碳城市试点影响城市的产业结构。在微观层面,生产企业在政策引导下会主动进行转型升级。在低碳城市试点政策下,政府宏观调控力度加大,高能耗企业的生产成本和管理成本增加,利润空间缩小,从而

很难在试点地区存活(Cheng et al, 2019)。因此,高能耗企业可能会选择迁移到非试点地区或者进行低碳转型,从而影响城市层面的产业结构。在宏观层面,低碳城市试点地区的相关部门会有计划地调整该城市的产业结构,比如相关政策文件要求低碳城市试点要根据本地区的产业特色打造优势的低碳产业,推动传统农业、传统工业和服务业积极向生态农业、低碳工业和现代服务业升级。

其次,创新型城市试点影响城市的产业结构产生影响。创新型城市试点政策通过强化试点城市企业的创新能力、发挥政府的战略引导作用、提高劳动力聚集程度、提高金融发展水平等方式推动城市产业结构的升级(霍春辉等,2020)。胡兆廉等(2021)认为创新型城市试点政策提升了试点城市的要素资源禀赋水平,从而降低了企业的生产成本,并通过培育创新企业、完善创新载体,推动了试点城市的产业集聚发展。因此,创新驱动充分发挥了结构效应优势,有助于产业结构的协调发展。

最后,产业结构的调整会影响到碳排放总量水平。三大产业的能源消费需求和结构存在明显区别。以农业为主导的第一产业对能源消耗的需求不高,因此其碳排放量处于较低水平。第二产业以工业为主体,在工业化初期,以重工业为主的第二产业对煤炭等能源的需求量较大,再加上中国局部地区存在经济增长方式粗放、创新驱动不足等问题,第二产业的碳排放总量较多。第三产业以服务业为主,包括交通运输、仓储和邮政业,信息传输、计算机服务和软件业等,能源消耗量相对较低,碳排放量相对较少。综合来看,第二产业相比于第一产业和第三产业的污染密集性更高,对环境质量的影响更大。如不考虑占比较少且相对稳定的以农业为主的第一产业,增加第二产业占比即减少第三产业占比。如果增加城市的第二产业占比、减少第三产业占比,则会增加碳排放量。

相应地,如果优化城市的产业结构,即增加第三产业占比、减少第二产业占比,则会降低城市的碳排放量。因此,本文提出如下研究假设:

假设 H3: 低碳城市和创新型城市双试点通过优化产业结构降低城市的碳排放量。

2 识别策略及样本说明

2.1 识别策略

本文采用多期双重差分法估计低碳城市和创新型城市双试点对城市碳排放的影响。在控制其他因素不变的基础上,多期双重差分法可以检验双试点设立前后,试点地区与非试点地区在碳排放方面是否存在显著差异。相应的多期双重差分模型(1)如下:

$$\ln CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1 CarbonInnovation_{it} + \beta_2 Control_{it} + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,下标 i 和 t 分别表示城市和年份; $\ln CO2_{it}$ 是因变量,表示城市碳排放水平; $CarbonInnovation_{it}$ 为核解释变量,即多期双重差分变量; $Control_{it}$ 表示影响碳排放且随 i 和 t 变动的控制变量; η_i 表示城市个体固定效应,控制了影响碳排放但不随时间变动的个体因素; γ_t 表示时间效应,控制了随时间变化影响所有地区的时间因素; ε_{it} 为误差项。其中, $CarbonInnovation$ 的取值规则为: 城市同时满足是低碳城市和创新型城市试点的当前年度及以后年度的 $CarbonInnovation$ 变量取值为 1, 其余为 0。 β_1 为双重差分统计量,是本文最为关注的核心系数,捕捉了双试点城市设立影响碳排放的净效应水平。如果 $\beta_1 < 0$ 且显著,则意味着双试点显著降低碳排放水平,凸显出低碳城市和创新型城市双试点碳减排的有效性。

2.2 样本选择与数据说明

(1) 被解释变量与核心解释变量。本文的被解释变量是城市的碳排放量,对其进行了取对数处理($\ln CO2$)。核心解释变量为是否同时为低碳城市和创新型城市的双试点($CarbonInnovation$)。

城市同时成为低碳城市试点和创新型城市试点的当年及以后年度的 *Carboninovation* 赋值为 1, 否则为 0。同理, 在进一步分析中涉及到的低碳城市单试点和创新型城市单试点的 DID 变量 *Carboncity* 和 *Innovation* 在城市被设立为试点的当年及以后年度赋值为 1, 其余为 0。本文剔除低碳试点城市名单中属于低碳省份、区县以及缺失数据的试点城市。创新型城市试点中, 考虑城市和城区的可比性, 本研究剔除了 4 个直辖市的城区和 2 个县级市以及数据缺失较多的试点城市。

(2) 控制变量。本文借鉴周迪等(2021)和董梅等(2020)的研究, 对以下影响碳排放量的因素进行控制: 经济波动程度(*lnGrorgpdu*), 以地区生产总值的对数表示; 经济发展水平(*lnPcptlGRP*), 以人均地区生产总值的对数表示; 能源结构(*Energystructure*), 以煤炭消费量占一次能源消费总量的比值表示; 对外开放程度(*Openess*), 以进出口总额与 GDP 的比值表示; 政府宏观调控水平(*Govregulation*), 用地方财政环保支出与 GDP 的比值来表示; 城镇化水平(*Urbanization*), 以地区城镇人口与地区总人口的比重表示。

(3) 绿色技术创新与产业结构。在影响机制分析中, 本文分析了产业结构和绿色技术创新的影响机制。其中, 绿色技术创新(*S2Ingrva*)以绿色发明专利申请量表示。黎文靖等(2016)提到发明专利是实质性创新, 创新质量较高, 而实用新型专利是策略性创新, 有时是为了获取政府的环保补贴以及提高声誉等目的而申请的。因此本文选取绿色实质性创新即绿色发明专利申请量来衡量城市的实质性绿色创新水平。产业结构(*Scidpc-GRP*)以第二产业产值占 GDP 比重度量, 该变量的值越大, 说明城市的产业结构中第二产业占比越多, 而第二产业是以工业等碳排放水平较高的行业为主。

(4) 其他变量。在进一步分析和稳健性检验

中, 还涉及到以下变量: 碳强度(*lnCO2density*), 以单位地区生产总值的碳排放量表示; 关于主导产业的确定, 如果第二产业比第三产业占比更大, 则认为城市的主导产业为第二产业, 反之, 主导产业为第三产业; 东部、中部和西部城市以经济地理位置为标准进行划分。

(5) 数据说明。碳排放数据来源于中国碳排放核算数据库(Chen et al, 2020), 其他数据来源于中国研究数据服务平台(CNRDS)和历年的《中国城市统计年鉴》、《中国区域统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》等。受限于数据获取的限制, 城镇化水平、政府宏观调控程度和能源结构中涉及的相关数据只能获取至省级层面。此外, 本文中涉及到的连续型变量均进行了前后 1% 的缩尾处理, 以减小极端值的影响, 从而进一步确认结论的稳健性。

2.3 样本描述

本文通过使用 2009—2017 年中国 285 个城市的面板数据来评估双试点城市的碳减排效应。在样本范围内的低碳城市试点共 69 个, 其中东部地区 29 个, 占比 42.03%, 中部地区 21 个, 占比 30.43%, 西部地区 19 个, 占比 27.54%。创新型城市共 62 个, 东部、中部和西部地区占比分别为 53.23%、17.74%、27.42%。双试点城市中有 62.5% 分布在东部地区, 中部地区和西部地区分别是 25% 和 12.5%。

3 实证结果与稳健性检验

3.1 基准回归

表 1 列示了低碳城市和创新型城市双试点对城市碳排放影响的基准回归结果。其中, 第(1)列是控制城市和年份固定效应、不放入控制变量的回归结果。列(2)~列(5)列是控制城市个体固定效应和年份固定效应、加入控制变量后, 分别将核心解释变量和控制变量不滞后、滞后 1 期、滞后 2 期、滞后 3 期的回归结果。结果表明, 在控制了个

体固定效应和时间固定效应后,不论模型是否包含控制变量、是否将解释变量做滞后处理、做滞后几期处理,低碳城市和创新型城市双试点对碳排放影响的估计系数均显著为负,表明双试点城市设立总体上有助于降低城市的碳排放水平,意味着双试点发挥了预期的碳减排作用,。

此外,为了进一步分析双试点的碳减排效应是否以牺牲地区经济发展为代价。本文将地区生产总值与双试点进行回归,回归结果表明双试点并未对地区经济发展产生抑制作用。结合上文的基准回归结果可得:双试点显著降低了试点地区的碳排放水平,但不影响试点地区的经济发展,即双试点在不抑制地区经济发展的前提下,有效降低了城市的碳排放水平,实现了经济的绿色发展。

3.2 平行趋势检验及政策动态效应分析

本文借鉴张国建等(2019)、McGavock(2021)的研究框架,基于事件分析法检验平行趋势假设并分析政策动态效应。具体而言,以双试点城市启动年份之前的4年为比较基准,构建双试点城市建设之前4年、启动年份、启动之后5年的年份虚拟变量与对应政策虚拟变量的交乘项,具体模型如下:

$$\ln CO2_i = \beta_0 + \sum_{s=1}^4 \beta_{pre_s} D_{pre_s} + \beta_{current} D_{current} + \sum_{s=1}^5 \beta_{post_s} D_{post_s} + \beta_2 Control_i + \eta_i + \gamma_t + \varepsilon_i \quad (2)$$

D_{pre_s} 、 $D_{current}$ 、 D_{post_s} 分别表示双试点城市建设之前(仅考虑前4年)、双试点启动年份以及之后年份的虚拟变量分别与对应政策虚拟变量的交乘项, β_{pre_s} 、 $\beta_{current}$ 、 β_{post_s} 为对应的系数,其他符号的含义同上文。

回归结果和图1显示,双试点城市建设之前4年到建设之后2年的对应系数均未通过显著性检验,这意味着在这一期间,处理组与控制组的碳排放的变动趋势满足平行趋势假设。从动态效应来看,在双试点城市建设的第一年至第二年,系数虽未通过显著性检验,但已开始显示一定的碳减排趋势。第3年至第5年,系数始终为负,且分别通过10%、5%、1%的显著性检验,这说明双试点城市建设的碳减排效应出现在试点后的第3年。此外,从系数数值大小来看,碳减排效应呈逐年增大趋势。整体而言,双试点城市建设对碳排放的抑制效应是显著的,但存在一定的时滞性,在政策实施的第3年出现碳减排效应。

3.3 稳健性检验

除了上文中提到的对解释变量进行滞后处理并进行平行趋势检验以外,本文还进行了如下稳健性检验:第一,改变样本的时间区间。受限于碳排放最新数据截至2017年,本文选取了2009年—2017年的时间区间,但低碳城市的第三批试点在2017年设立,导致第三批试点城市的政策效果检

表1 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	不滞后	不滞后	滞后1期	滞后2期	滞后3期
lnCO2		lnCO2	lnCO2	lnCO2	lnCO2
Carboninnovation	-0.030** (0.014)	-0.027* (0.014)	-0.037** (0.014)	-0.031*** (0.011)	-0.022* (0.013)
控制变量	否	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
R ²	0.992	0.993	0.995	0.997	0.997
观测值	2 560	2 554	2 269	1 986	1 702

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,下同

验可能存在偏差,因此本文将样本区间调整为2009—2015年。第二,使用倾向得分匹配双重差分法(PSM-DID)进行检验,以缓解试点城市设立可能存在的非随机性问题。第三,控制区域和年份的交互效应,在控制了随个体而变的因素和随时间变化的因素的基础上,进一步控制了随区域且随时间变化的区域时变因素。第四,替换碳排放的衡量方式,使用单位地区生产总值的碳排放量衡量碳排放指标并进行检验。

表2列示了稳健性检验的结果。列(1)~列(4)均控制了城市个体固定效应和年份固定效应,考虑到政策的时滞性和可能存在的内生性问题,对解释变量均做滞后两期的处理。第(1)列结果表

明,改变样本的时间区间后,双试点城市的设立对城市碳排放的抑制效应依然显著。第(2)列结果表明,使用倾向得分匹配双重差分法检验双试点政策的碳减排效应时,多期双重差分变量 *Carbonnovation* 的系数在5%水平显著为负,验证了双试点城市设立的碳减排效应存在。第(3)列结果表明,进一步控制区域时变因素以后,双试点城市的设立对城市碳排放的抑制作用在5%水平显著。第(4)列结果表明,替换碳排放的衡量指标后,双试点城市的设立对城市碳排放强度的抑制作用通过了1%水平的显著性检验。综上,稳健性检验结果表明本文的基准回归结果具有稳健性,双试点城市设立的碳减排效应存在。

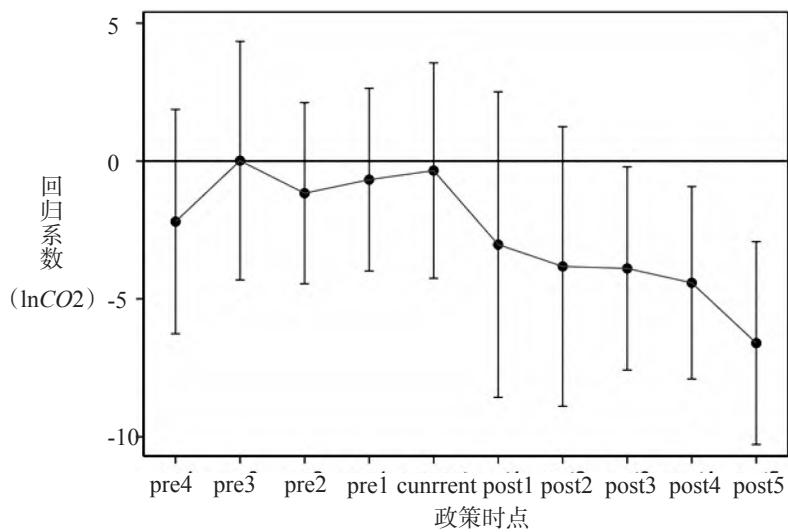


图1 平行趋势检验与动态政策效应分析

表2 稳健性检验汇总表

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	改变样本区间 <i>ln CO2</i>	PSM-DID <i>ln CO2</i>	控制区域与年份的交互效应 <i>ln CO2</i>	替换碳排放的衡量指标 <i>ln CO2density</i>
<i>Carbonnovation</i>	-0.031*** (0.010)	-0.031** (0.014)	-0.023** (0.010)	-0.092*** (0.026)
控制变量	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R ²	0.997	0.996	0.997	0.973
观测值	1 417	1 921	1 986	1 986

4 影响机制分析

正如前文影响机理部分所述,低碳城市和创新型城市双试点影响城市碳排放的主要机制是规模效应、结构效应和技术效应。基于此,本部分将进一步对影响机制进行实证检验。参考 Culter 等(2010)和卞元超等(2019)研究中对于影响机制检验的识别策略,在模型(1)的基础上进一步引入产业结构变量($ScidpcGRP$)和绿色技术创新变量($S2Ingrva$),并假定该模型估计结果中机制变量的影响系数为 β_1' ,那么机制变量在解释双试点城市设立对城市碳排放的作用中所占的比重即为 $1-\beta_1'/\beta_1$,其中 β_1 即为基准回归模型中是否为双试点城市对城市碳排放水平的影响系数。估计结果如表3所示。

由表3中第(4)列的结果可知,以第二产业占GDP比重表示的产业结构对城市碳排放存在正向影响,即第二产业产值占GDP比重越大,城市的碳排放量越大,这一结论在1%水平通过显著性检验。此时,双试点城市的设立对城市碳排放的抑制作用仍然存在,通过5%水平的显著性检验。因此,可以认为产业结构也是影响城市碳排放的重要途径,且产业结构在解释双试点的碳减排效应

中所占的比重为9.68%($1-0.028/0.031$)。城市成为低碳城市和创新型城市双试点会促使其优化产业结构。具体地说,城市会减少碳排放量更多的第二产业占比,增加碳排放量相对较少的第三产业的比重,从而使得城市的碳排放总量减少。第(5)和第(6)列是用第三产业占比衡量产业结构的结果,结果保持一致。

此外,第(1)列和第(2)列的回归结果以及第(3)列、第(4)列的回归结果表明,在控制城市个体固定效应和年份固定效应以后,无论将解释变量滞后一期还是两期,绿色创新和产业结构的影响机制均得到了验证,双试点通过优化城市的产业结构和提高城市的绿色创新水平两大途径降低了城市的碳排放水平,这说明影响机制检验的结果是稳健的。

5 进一步讨论

5.1 低碳城市和创新型城市双试点的协同作用

已有研究表明,低碳城市试点和创新型城市试点有碳减排效应,本文进一步研究低碳城市试点政策和创新型城市试点政策的协同效应,即低碳城市和创新型城市双试点是否比单试点更有效?

表3 影响机制分析

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	滞后1期 $\ln CO2$	滞后2期 $\ln CO2$	滞后1期 $\ln CO2$	滞后2期 $\ln CO2$	滞后1期 $\ln CO2$	滞后2期 $\ln CO2$
<i>Carboninovation</i>	-0.027 [*] (0.015)	-0.022 [*] (0.012)	-0.040*** (0.015)	-0.028** (0.011)	-0.044*** (0.015)	-0.030*** (0.011)
<i>S2Ingrva</i>	-0.004*** (0.001)	-0.002** (0.001)				
<i>ScidpcGRP</i>			0.003*** (0.001)	0.002*** (0.001)		
<i>TidpcGRP</i>					-0.002*** (0.001)	-0.001* (0.001)
控制变量	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.995	0.996	0.995	0.997	0.994	0.997
观测值	2 229	1 949	2 269	1 986	2 269	1 986

首先,补充对低碳城市单试点和创新型城市单试点的碳减排效应的检验。具体操作如下:剔除创新型城市的样本,保留低碳城市单试点的样本以及既不是低碳城市也不是创新型城市的样本,此时多期双重差分变量 *Carboncity* 的系数反映低碳城市试点对城市碳排放量的影响的净效应。同理,剔除是低碳城市的样本后,多期双重差分变量 *Innovation* 的系数反映的是创新型城市试点对城市碳排放量影响的净效应。结果如表4所示:第(1)列表明当期的创新型城市试点对城市碳排放量具有抑制作用且在1%水平显著。第(2)和第(3)列表明将解释变量滞后1期和滞后2期后,创新型城市试点的碳减排效应没有得到支持。上述结果表明创新型城市对当期的城市碳排放量具有抑制作用,但作用并不持久。第(4)列表明低碳城市试点对当期的城市碳排放量没有抑制作用,但将解释变量滞后1期和滞后2期以后,低碳城市试点具有碳减排效应。上述结果表明低碳城市试点能降低城市的碳排放水平,但具有一定的时滞性,滞后1期和滞后2期的结果更显著。

其次,进一步检验并证明双试点比单试点更有效。具体操作如下:剔除既不是低碳城市试点也不是创新型城市试点的样本,保留已经是低碳城市试点或已经是创新型城市试点的样本,此时多

期双重差分变量 *Carboninovation* 的系数捕捉到的是低碳城市再成为创新型城市或创新型城市再成为低碳城市,即单试点城市成为双试点城市对城市碳排放量影响的净效应。结果如表5所示,第(1)列和第(2)列分别是将解释变量滞后1期、不控制其他变量和控制其他变量的结果。结果表明:单试点城市成为双试点城市对城市的碳排放量具有抑制作用,即双试点比仅仅是单试点的碳减排更有效。

最后,在验证了双试点城市的碳减排效应更强以后,本文进一步分析低碳城市试点再成为创新型城市和创新型城市再成为低碳城市这两种方式哪种更有效。具体操作如下:保留已经成为低碳城市且还未成为双试点城市的样本,此时多期双重差分变量 *Carboninovation* 的系数捕捉到的是低碳城市再成为创新型城市对城市碳排放量的影响。结果如表6所示:第(1)和第(2)列分别是不控制其他变量和控制其他变量、将解释变量滞后1期的结果。结果表明已经是低碳城市试点的城市再成为双试点城市的碳减排效应没有得到支持。同理,保留已经成为创新型城市但还未成为低碳城市的样本,此时多期双重差分变量 *Carboninovation* 的系数反映的是创新型城市再成为低碳城市对城市碳排放量影响的净效应。表6中的第(3)列和第

表4 低碳城市和创新型城市单试点的碳减排效应

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	不滞后 <i>ln CO2</i>	滞后1期 <i>ln CO2</i>	滞后2期 <i>ln CO2</i>	不滞后 <i>ln CO2</i>	滞后1期 <i>ln CO2</i>	滞后2期 <i>ln CO2</i>
<i>Innovation</i>	-0.031*** (0.011)	-0.021 (0.015)	-0.007 (0.011)			
<i>Carboncity</i>				-0.019 (0.012)	-0.041** (0.011)	-0.030*** (0.008)
控制变量	是	是	是	是	是	是
城市固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.993	0.994	0.996	0.992	0.994	0.996
观测值	2 292	2 015	1 714	2 202	1 937	1 682

(4)列表明已经是创新型城市试点的城市进一步成为低碳城市试点即成为双试点城市具有碳减排效应。

表5 双试点与单试点对比分析

变量	(1) $\ln CO_2$	(2) $\ln CO_2$
<i>Carboninnovation</i>	-0.041** (0.016)	-0.034* (0.018)
控制变量	否	是
城市固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
<i>R</i> ²	0.995	0.995
观测值	400	400

综合上述分析,本文的结论如下:第一,低碳城市单试点和创新型城市单试点均具有碳减排效应;第二,双试点比单试点更有效,低碳城市试点和创新型城市试点对碳减排存在协同作用;第三,创新型城市再成为低碳城市比低碳城市再成为创新型城市的碳减排效应更强。

5.2 异质性分析

各个城市在地理位置、经济规模、环保意识等方面均存在差异,这些差异可能会导致不同城市对试点政策的反应不同。以第三产业为主导产业的城市在试点政策的冲击下反应可能更为灵敏,而以工业为主的第二产业占比较大的城市在冲击下难以迅速通过调整产业结构的方式降低碳排放

量,因此双试点的碳减排效应可能存在主导产业的异质性。此外,东部地区城市的经济发展水平相对较高、产业结构更为合理,具备绿色转型升级的良好基础,而中部和西部地区相对而言经济发展水平较低,产业结构有待优化。在试点的冲击下,可能处于减排基础良好的东部地区的城市的碳减排效果更明显,双试点的碳减排效应可能存在地区异质性。因此本文按照两种不同的思路进行考察:第一,将样本城市按照第二产业和第三产业的占比分为主导产业为第二产业的城市和主导产业为第三产业的城市两个子样本;第二,将样本城市按照经济地理位置分为东部城市、中部城市和西部城市3个子样本。

表7中的第(1)和第(2)列是主导产业为第二产业的子样本的回归结果,是控制城市个体固定效应和年份固定效应后,分别将解释变量滞后一期和两期的回归结果。第(3)和第(4)列是主导产业为第三产业的子样本的回归结果。由表7可知,低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应在主导产业为第三产业的城市的子样本中更加显著。

上述结果表明双试点的碳减排效应具有一定的“马太效应”特征。以工业为主体的第二产业对煤炭等能源的需求量较大,考虑到中国目前仍存在经济增长方式粗放和和技术水平相对落后的现状,第二产业的碳排放总量较多。第三产业对能

表6 先低碳后创新和先创新后低碳两种途径的比较

变量	(1) 先低碳后创新 $\ln CO_2$	(2) 先低碳后创新 $\ln CO_2$	(3) 先创新后低碳 $\ln CO_2$	(4) 先创新后低碳 $\ln CO_2$
<i>Carboninnovation</i>	0.027 (0.026)	0.024 (0.021)	-0.047*** (0.018)	-0.042** (0.021)
控制变量	否	是	否	是
城市固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.999	0.999	0.991	0.992
观测值	128	128	277	277

源的消耗则相对较低,碳排放总量相对较少。相比于主导产业为第二产业的城市,主导产业为第三产业的城市本身的碳减排任务较轻,产业结构调整的需求也较少,但结果表明,双试点政策反而在碳减排基础较好、以第三产业为主导产业的城市中效果更佳。因此,低碳城市和创新型城市双试点会使得碳减排基础较好的城市的碳排放量更低,而碳减排任务较重的以第二产业为主导产业的城市的碳减排没有得到政策激励,出现“强者愈强、弱者愈弱”的马太效应。

由表8可知,低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应在东部城市的子样本中更加显著。将解释变量滞后一期和两期的回归结果均表明:在东部城市子样本中,低碳城市和创新型城市双试点的设立对城市的碳排放水平具有抑制效应,且均通过了1%的显著性检验。而在中部和西部城市子样本

中,双试点政策的碳减排效应没有得到支持。

上述结果可能的原因在于,东部城市相比于中部和西部城市经济发展水平更高,这类城市的经济总量和人口密度往往较高,能源消费量也较大,碳排放数量较多,对政策更为敏感。此外,东部城市的创新水平相对较高,因此当城市被设立为低碳城市时,具有较高创新基础的东部城市可以依靠技术创新和产业结构调整等手段快速降低其碳排放总量,因此双试点城市的设立对东部城市的碳减排效果更强。

6 主要结论与政策启示

为推动绿色低碳发展,中国政府分别于2010年、2012年和2017年组织开展了3批低碳城市试点工作。为推动创新高质发展,自2008年以来,中国科技部、发展改革委先后共支持了78个城市(区)开展创新型城市建设。低碳城市试点和创新

表7 主导产业异质性检验

变量	(1)		(2)		(3)		(4)	
	二产主导滞后1期	$\ln CO_2$	二产主导滞后2期	$\ln CO_2$	三产主导滞后1期	$\ln CO_2$	三产主导滞后2期	$\ln CO_2$
<i>Carboninnovation</i>	-0.036 (0.023)		-0.018 (0.022)		-0.079*** (0.026)		-0.069*** (0.018)	
控制变量	是		是		是		是	
城市固定效应	是		是		是		是	
年份固定效应	是		是		是		是	
R ²	0.995		0.997		0.994		0.996	
观测值	1 672		1 423		539		500	

表8 地区异质性检验

变量	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)	
	东部滞后1期	$\ln CO_2$	东部滞后2期	$\ln CO_2$	中部滞后1期	$\ln CO_2$	中部滞后2期	$\ln CO_2$	西部滞后1期	$\ln CO_2$	西部滞后2期	$\ln CO_2$
<i>Carboninnovation</i>	-0.040*** (0.014)		-0.027*** (0.009)		-0.008 (0.034)		0.025 (0.024)		0.011 (0.029)		-0.036 (0.031)	
控制变量	是		是		是		是		是		是	
城市固定效应	是		是		是		是		是		是	
年份固定效应	是		是		是		是		是		是	
R ²	0.995		0.997		0.993		0.995		0.996		0.998	
观测值	808		707		792		694		669		585	

型城市试点是中国“绿色”、“创新”发展理念的政策实践。准确评估低碳城市和创新型城市双试点的协同作用效果具有重要的理论和实践意义。为此,本文利用2009年—2017年中国285个城市的面板数据,借助多期双重差分法阐释和检验了低碳城市和创新型城市双试点促进碳减排的理论机理与政策效果。

本文的研究结果表明:第一,整体而言,双试点城市的设立对试点地区具有显著的碳减排效应;第二,双试点的碳减排效果建立在不影响经济发展的前提下,表明设立低碳城市和创新型城市双试点促进了经济的绿色发展;第三,相比于单试点,低碳城市和创新型城市双试点的碳减排效应更强,说明创新在碳减排中起到了驱动作用,符合以“绿色”为底色、以“创新”为引擎的发展策略;第四,先成为创新型城市再成为低碳城市比先成为低碳城市再成为创新型城市的碳减排效果更好;第五,地区异质性方面,东部地区的双试点城市的碳减排协同效应更为显著,双试点城市的设立对中部和西部城市的碳减排作用不明显;第六,主导产业异质性方面,对主导产业为第三产业的城市来说,双试点城市的设立对城市碳减排的作用更显著,说明双试点政策的碳减排作用存在一定的

“马太效应”;第七,传导机制方面,双试点城市建设的碳减排效应主要通过提高城市的绿色创新水平和优化城市的产业结构来实现。

本文的研究结论对中国实现双碳目标具有重要的政策启示:首先,关注政策之间的协同效应。本文研究发现,双试点相比于单试点的碳减排效应更强。因此,政府在进行碳减排实践时,除了需要关注直接具有碳减排目的的政策以外,也要考虑到其他相关政策的协同作用。其次,充分利用创新的驱动作用。本文研究发现提高城市的绿色创新水平可以达到碳减排的目的。尤其对具有良好创新基础的创新型城市来说,具有向更高水平的绿色创新发展的技术基础,应当充分利用其优势,大力开展绿色技术创新。此外,优化升级城市的产业结构。研究发现升级产业结构是双试点降低碳排放的重要途径。因此,各城市应因地制宜地发展其优势产业,实现传统农业、工业和服务业向新农业、新工业和现代服务业的转变。最后,关注地区异质性。研究发现,双试点政策的碳减排效应对东部城市和以第三产业为主导的城市更有效。因此中西部城市和以第二产业为主导的城市应当及时调整相关政策,探索其他有效的碳减排实践以更好地实现双碳目标。

参考文献

- 卞元超,吴利华,白俊红. 2019. 高铁开通是否促进了区域创新[J]. 金融研究,6:132-149.
- (Bian Y C, Wu L H, Bai J H. 2019. Does high-speed rail improve regional innovation in China? [J]. Journal of Financial Research,6:132-149.)
- 邓晓兰,鄢哲明,武永义. 2014. 碳排放与经济发展服从倒U型曲线关系吗:对环境库兹涅茨曲线假说的重新解读[J]. 财贸经济,2:19-29.
- (Deng X L, Yan Z M, Wu Y Y. 2014. Does the inverted-U shaped relationship between carbon emission and economic development exist? The reexamination of environmental Kuznets curve Hypothesis[J]. Finance & Trade Economics,2:19-29.)
- 董梅,李存芳. 2020. 低碳省区试点政策的净碳减排效应[J]. 中国人口·资源与环境,30(11):63-74.
- (Dong M, Li C F. 2020. Net carbon emission reduction effect of the pilot policies in low-carbon provinces[J]. China Population, Resources and Environment,30(11):63-74.)
- 董直庆,王辉. 2019. 环境规制的“本地—邻地”绿色技术进步效应[J]. 中国工业经济,1:100-118.

- (Dong Z Q, Wang H. 2019. Local-Neighborhood effect of green technology of environmental regulation[J]. China Industrial Economics,1:100-118.)
- 郭文,孙涛. 2017. 人口结构变动对中国能源消费碳排放的影响:基于城镇化和居民消费视角[J]. 数理统计与管理,36(2):295-312.
- (Guo W, Sun T. 2017. Effect of population structure change on carbon emission in China: Based on perspectives of urbanization and residents' consumption[J]. Journal of Applied Statistics and Management,36(2):295-312.)
- 胡兆廉,聂长飞,石大千. 2021. 鱼和熊掌可否得兼?创新型城市试点政策对城市产业集聚的影响[J]. 产业经济研究,(1):128-142.
- (Hu Z L, Nie C F, Shi D Q. 2021. Can you have both fish and bear's paw? The impact of innovative city pilot policy on urban industrial agglomeration[J]. Industrial Economics Research,1:128-142.)
- 霍春辉,田伟健,张银丹. 2020. 创新型城市建设能否促进产业结构升级:基于双重差分模型的实证分析[J]. 中国科技论坛,9:72-83.
- (Huo C H, Tian W J, Zhang Y D. 2020. Does the construction of innovative cities promote the upgrading of industrial structure: An empirical analysis based on DID method[J]. Forum on Science and Technology in China,9:72-83.)
- 黎文靖,郑曼妮. 2016. 实质性创新还是策略性创新?宏观产业政策对微观企业创新的影响[J]. 经济研究,51(4):60-73.
- (Li W J, Zheng M N. 2016. Is it substantive innovation or strategic innovation? Impact of macroeconomic policies on micro-enterprises' innovation[J]. Economic Research Journal,51(4):60-73.)
- 李政,刘丰硕.2021. 创新型城市试点能否提升城市绿色创新水平[J]. 社会科学研究,4:91-99.
- (Li Z, Liu F S. 2021. Whether innovation-oriented city pilot can improve the level of green innovation of cities?[J]. Social Science Research,4:91-99.)
- 李政,杨思莹. 2019. 创新型城市试点提升城市创新水平了吗?[J]. 经济学动态,8:70-85.
- (Li Z, Yang S Y. 2019. Has the pilot project of innovative cities increased the level of innovation?[J]. Economic Perspectives,8:70-85.)
- 卢娜,王为东,王森,等. 2019. 突破性低碳技术创新与碳排放:直接影响与空间溢出[J]. 中国人口·资源与环境,29(5):30-39.
- (Lu N, Wang W D, Wang M, et al. 2019. Breakthrough low-carbon technology innovation and carbon emissions: Direct and spatial spillover effect[J]. China Population, Resources and Environment,29(5):30-39.)
- 陆铭,冯皓. 2014. 集聚与减排:城市规模差距影响工业污染强度的经验研究[J]. 世界经济,37(7):86-114.
- (Lu M, Feng H. 2014. Agglomeration and emission reduction: An empirical study on the impact of city size disparities on industrial pollution intensity[J]. The Journal of World Economy,37(7):86-114.)
- 屈小娥,骆海燕. 2021. 中国对外直接投资对碳排放的影响及传导机制:基于多重中介模型的实证[J]. 中国人口·资源与环境,31(7):1-14.
- (Qu X E, Luo H Y. 2021. Impact of China's OFDI on carbon emissions and its transmission mechanism: An empirical analysis based on multiple mediation effect model[J]. China Population, Resources and Environment,31(7):1-14.)
- 熊广勤,石大千,李美娜. 2020. 低碳城市试点对企业绿色技术创新的影响[J]. 科研管理,41(12):93-102.
- (Xiong G Q, Shi D Q, Li M N. 2020. The effect of low-carbon pilot cities on the green technology innovation of enterprises[J]. Science Research Management,41(12):93-102.)
- 徐换歌,蒋硕亮. 2020. 国家创新型城市试点政策的效果以及空间溢出[J]. 科学学研究,38(12):2161-2170.
- (Xu H G, Jiang S L. 2020. Research on the policy effect and spatial spillover of the national innovative city pilot policy[J]. Studies in Science of Science,38(12):2161-2170.)
- 徐现祥,李书娟. 2015. 政治资源与环境污染[J]. 经济学报,2(1):1-24.
- (Xu X X, Li S J. 2015. Political resource and environmental pollution[J]. China Journal of Economics,2(1):1-24.)

- 徐盈之,杨英超,郭进. 2015. 环境规制对碳减排的作用路径及效应:基于中国省级数据的实证分析[J]. 科学学与科学技术管理,36(10):135-146.
- (Xu Y Z, Yang Y C, Guo J. 2015. The paths and effects of environmental regulation on China's carbon emissions: An empirical study based on Chinese provincial data[J]. Science of Science and Management of S.& T.,36(10):135-146.)
- 严成樑,李涛,兰伟. 2016. 金融发展、创新与二氧化碳排放[J]. 金融研究,1:14-30.
- (Yan C L, Li T, Lan W. 2016. Financial development, innovation and carbon emission[J]. Journal of Financial Research,1:14-30.)
- 于向宇,李跃,陈会英,等. 2019. “资源诅咒”视角下环境规制、能源禀赋对区域碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境,29(5):52-60.
- (Yu X Y, Li Y, Chen H Y, et al. 2019. Study on the impact of environmental regulation and energy endowment on regional carbon emissions from the perspective of resource curse[J]. China Population, Resources and Environment,29(5):52-60.)
- 原嫄,席强敏,孙铁山,等. 2016. 产业结构对区域碳排放的影响:基于多国数据的实证分析[J]. 地理研究,35(1):82-94.
- (Yuan Y, Xi Q M, Sun T S, et al. 2016. The impact of the industrial structure on regional carbon emission: Empirical evidence across countries[J]. Geographical Research,35(1):82-94.)
- 曾婧婧,周丹萍. 2019. 区域特质、产业结构与城市创新绩效:基于创新型城市试点的准自然实验[J]. 公共管理评论,1(3):66-97.
- (Zeng J J, Zhou D P. 2019. Regional characteristics, industrial structure, and the performance of urban innovation-based on a quasi-natural experiment on innovative city pilots[J]. China Public Administration Review,1(3):66-97.)
- 张国建,佟孟华,李慧,等. 2019. 扶贫改革试验区的经济增长效应及政策有效性评估[J]. 中国工业经济,8:136-154.
- (Zhang G J, Tong M H, Li H, et al. 2019. Evaluation of economic growth effect and policy effectiveness in pilot poverty alleviation reform zone[J]. China Industrial Economics,(8):136-154.)
- 张华,丰超. 2021. 创新低碳之城:创新型城市建设的碳排放绩效评估[J]. 南方经济,3:36-53.
- (Zhang H, Feng C. 2021. Innovative and low-carbon city: The impact of innovative city construction on carbon emission performance[J]. South China Journal of Economics,3:36-53.)
- 张华,魏晓平. 2014a. 绿色悖论抑或倒逼减排:环境规制对碳排放影响的双重效应[J]. 中国人口·资源与环境,24(9):21-29.
- (Zhang H, Wei X P. 2014a. Green paradox or forced emission-reduction: Dual effect of environmental regulation on carbon emissions[J]. China Population, Resources and Environment,24(9):21-29.)
- 张华. 2014b. “绿色悖论”之谜:地方政府竞争视角的解读[J]. 财经研究,40(12):114-127.
- (Zhang H. 2014b. The green paradox puzzle: Interpretation from the perspective of local government competition[J]. Journal of Finance and Economics,40(12):114-127.)
- 张华. 2020. 低碳城市试点政策能够降低碳排放吗?来自准自然实验的证据[J]. 经济管理,42(6):25-41.
- (Zhang H. 2020. Can low-carbon city construction reduce carbon emissions? Evidence from a quasi-natural experiment[J]. Business Management Journal,42(6):25-41.)
- 张鹏飞,杨俊,盛鹏飞. 2016. 城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J]. 中国人口·资源与环境,26(2):47-57.
- (Zhang T F, Yang J, Sheng P F. 2016. The impacts and channels of urbanization on carbon dioxide emissions in China[J]. China Population, Resources and Environment,26(2):47-57.)
- 张意翔,成金华,徐卓程,等. 2021. 绿色创新是否适应气候变化:中国专利和GHG排放数据的实证[J]. 中国人口·资源与环境,31(1):48-56.
- (Zhang Y X, Cheng J H, Xu Z C, et al. 2021. Whether green innovation can adapt to climate change: An empirical study

- of China's patent and GHG emission data[J]. *China Population, Resources and Environment*,31(1):48-56.)
- 周迪,罗东权. 2021. 绿色税收视角下产业结构变迁对中国碳排放的影响[J]. *资源科学*,43(4):693-709.
- (Zhou D, Luo D Q. 2021. Green taxation, industrial structure transformation, and carbon emissions reduction[J]. *Resources Science*,43(4):693-709.)
- 周迪,周丰年,王雪芹. 2019. 低碳试点政策对城市碳排放绩效的影响评估及机制分析[J]. *资源科学*,41(3):546-556.
- (Zhou D, Zhou F N, Wang X Q. 2019. Impact of low-carbon pilot policy on the performance of urban carbon mechanism[J]. *Resources Science*,41(3):546-556.)
- Bergek A, Berggren C. 2014. The impact of environmental policy instruments on innovation: A review of energy and automotive industry studies[J]. *Ecological Economics*,106(10):112-123.
- Chen J, Gao M, Cheng S, et al. 2020. County -Level CO₂ emissions and sequestration in China during 1997-2017[J]. *Scientific Data*,7(1):1-12.
- Cheng J, Yi J, Dai S, et al. 2019. Can low-carbon city construction facilitate green growth? Evidence from China's pilot low-carbon city initiative[J]. *Journal of Cleaner Production*,231(9):1158-1170.
- Culter D, Lleras-Muney A. 2010. "Understanding differences in health behaviors by education"[J]. *Journal of Health Economics*,29:1-28.
- Grossman G M, Krueger A B. 1995. Economic growth and the environment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*,110(2):353-377.
- Herdt R W. 1987. A retrospective view of technological and other changes in philippine rice farming, 1965-1982[J]. *Economic Development and Cultural Change*,35(2):329-349.
- Lee K, Min B. 2015. Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance[J]. *Journal of cleaner production*,108:534-542.
- Mcgavock T. 2021. Here waits the bride? The effect of Ethiopia's child marriage law[J]. *Journal of Development Economics*,149.
- Porter M E, Van der Linde C. 1995. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. *Journal of Economic Perspectives*,9(4):97-118.
- Sinn H W. 2008. Public policies against global warming: A supply side approach[J]. *International Tax Public Finance*,15:360-394.
- Zhang K, Zhang Z Y, Liang Q M. 2017a. An empirical analysis of the green paradox in China: From the perspective of fiscal decentralization[J]. *Energy Policy*,103(4):203-211.
- Zhang S, Liu X Y, Bae J H. 2017b. Does trade openness affect CO₂ Emissions: evidence from ten newly industrialized countries?[J]. *Environmental Science and Pollution Research*,24(21):17616-17625.

Carbon Emission Reduction Effect of Low-carbon Cities and Innovative Cities: Based on the Synergic Perspective of Green Innovation and Industrial Upgrading

SU Taoyong, YU Yuzhu, PAN Junxi

(School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The commitment to peak carbon dioxide emissions before 2030 and achieve carbon neutrality before 2060 has raised the green development road of China to a new height, and green has become the background of China's social and economic development in the next few decades. Low-carbon city pilot and innovative city pilot are the policy practice of China's green and innovative development concepts respectively. Whether the pilot of low-carbon cities and innovative cities have played a carbon reduction effect, and whether there is a synergistic effect between them? This paper attempts to answer the above questions and further study whether there is a spatio-temporal difference. Furthermore, this paper attempts to clarify the ways in which the dual pilot cities affect the level of carbon emissions.

Based on the panel data of 285 cities in China from 2009 to 2017, taking low-carbon cities and innovative cities as the research object, a multistage dynamic difference-in-differences (DID) model was constructed to systematically study the impact of the dual pilot cities on urban carbon emissions. First of all, this study examines whether the double-pilot project reduces the urban carbon emission level, and further tests whether it is at the expense of economic development; secondly, it tests the channels that the dual-pilot project affects the urban carbon emission; then it further analyzes the synergy between the low-carbon city pilot and the innovative city pilot; finally, it carries out the leading-industry heterogeneity test and regional heterogeneity test on the carbon reduction effect of the dual-pilot project.

Under the premise of not restraining urban economic development, the carbon emissions of double pilot cities are significantly lower than those of non-double pilot cities. Compared with low-carbon city single pilot and innovative city single pilot, low-carbon city and innovative city double pilot has a stronger effect on carbon emission reduction, which means the low-carbon city pilot and innovative city pilot have a synergistic effect on carbon emission reduction. In addition, it is better to become an innovative city and then a low-carbon city than to become a low-carbon city and then an innovative city. From the perspective of dynamic effect, the carbon emission reduction effect of double pilot cities appeared in the third year after the pilot, indicating that the effect has a certain time lag. The analysis of the mechanism shows that the double pilot project can restrain carbon emissions by improving the level of green innovation and optimizing the industrial structure. In addition, the impact of the establishment of double pilot cities on carbon emissions has regional heterogeneity and leading industry heterogeneity, and the effect of carbon emission reduction is more significant in the sub-samples of eastern cities and cities where the leading industry is the tertiary industry.

This paper explains and examines the theoretical mechanism and policy effects of low-carbon cities and innovative cities in promoting carbon emission reduction. Accurate evaluation of the synergistic effect of low-carbon cities and innovative cities has important theoretical and practical significance. The implications of the research are as follows. First, pay attention to the synergy between policies. When carrying out the practice of carbon emission reduction, the government should not only pay attention to the policies that directly have the purpose of carbon emission reduction, but also take into account the synergy of other related policies; Second, make full use of the driving role of innovation. Third, optimize and upgrade the industrial structure of the city. Fourth, pay attention to the heterogeneity of the carbon reduction effect of the double pilot project.

Key words: low-carbon city; innovative city; carbon emission; green innovation