

引用格式: 闫东升, 孙伟. 长江三角洲一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响评估与机制[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1358–1372. [Yan D S, Sun W. Impact of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity and mechanism: An empirical study based on the Yangtze River Delta[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1358–1372.] DOI: 10.18402/resci.2022.07.05

长江三角洲一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响评估与机制

闫东升¹, 孙伟²

(1. 河海大学公共管理学院, 南京 211100; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所中国科学院流域地理学重点实验室, 南京 210008)

摘要:在落实“双碳”目标、推进城市群战略背景下, 长江三角洲一体化区域扩容, 对城市碳排放强度有何影响? 本文将“长江三角洲城市经济协调会”扩容作为一项准自然实验, 基于双重差分模型, 多角度探讨一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响, 并采用中介模型、调节模型分析影响机制。结果表明: ①一体化区域扩容能够显著降低城市碳排放强度, 且考虑平行趋势、内生性、外部冲击、差异化碳排放估算方法等的稳健性检验依然显著。②一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响呈现多重异质性, 如时间上城市加入协调会时间越长、对碳排放强度下降促进作用越大, 区域上加入协调会对苏皖城市影响呈显著负效应、浙江城市影响呈不显著正效应, 城市类型上加入协调会对高等级城市碳排放强度下降促进作用强于一般城市。③加入协调会带来的市场一体化深化、产业升级加快、绿色创新技术提升、协同治理深化等, 是一体化区域扩容驱动城市碳排放强度下降的重要机制, 且城市市场化程度提升、产业高级化推进, 能够放大一体化区域扩容对城市碳排放强度下降的促进作用。研究结论验证了通过一体化推动城市群绿色发展的可行性, 但也表明推动一体化城市协同发展的政策制定、实施应“因地制宜”。

关键词:一体化区域扩容; 碳排放强度; 双重差分模型; 影响; 机制; 长江三角洲

DOI: 10.18402/resci.2022.07.05

1 引言

全球范围内以 CO₂ 为主的温室气体爆炸式增长, 及其带来的气候变暖、日益频繁的极端气候对人类生存造成巨大冲击背景下, 如何科学推动碳减排成为各界关注焦点^[1-3]。2005年《京都议定书》的正式生效, 标志着“低碳化”成为各国发展现实路径, 碳减排成为应对气候变化博弈的主战场^[2,4]。对于中国而言, 由于粗放发展模式、“富煤、少气、缺油”资源困境^[5], 经济增长中的碳排放水平位居世界前列, 发展环境也明显恶化^[2,6]。中国经济转向高质量发展的现实需求、全球碳减排博弈的关键时期, 科学推动经济增长中的碳排放下降, 不仅是实现经

济社会系统性变革、助力高质量发展的必然要求, 也是展现全球环境治理“大国担当”的关键举措。

随着减碳发展上升为全球共识, 学者对相关问题开展了诸多研究。①基于多样化碳排放估算方法, 对碳排放总量^[1,3]、工业碳排放^[2]、服务业碳排放^[4]等进行测度, 发现城市消耗了全球 60%~80% 的能源、排放了全球 70% 的温室气体^[3]。在此基础上, 衍生出碳排放效率^[5,7]、碳排放强度^[4,8]等指标, 如长江三角洲碳排放效率呈现升高态势^[7]。②采用变异系数、核密度分析、空间自相关等方法, 对碳排放格局演变规律进行研究^[1,5]。如: 中国服务业碳排放规模呈现“北高南低、西高东低”格局^[4], 中国碳排放效率

收稿日期: 2022-04-06, 修订日期: 2022-07-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(42101183; 41901167; 41871119); 中央高校基本科研业务费项目(B220201004)。

作者简介: 闫东升, 男, 河南项城人, 讲师, 主要研究方向为城市发展与区域规划。E-mail: yds1223@163.com

通讯作者: 孙伟, 男, 辽宁彰武人, 研究员, 主要研究方向为城市发展与区域规划。E-mail: wsun@niglas.ac.cn

2022年7月

呈现胡焕庸线西北低、东南高特征^[5]。③基于OLS回归、空间计量模型、DID模型等,发现经济发展水平、产业结构、技术进步、对外开放、市场一体化、宏观政策、能源结构等,都是碳排放演变影响因素,且同一因素的效应呈现显著时空异质性^[1,6,9,10]。如:经济发展方面,讨论环境库兹涅茨曲线存在性^[9,11]。对外开放方面,讨论外资的“污染光环”或“污染天堂”效应^[12,13]。市场一体化方面,验证了分割市场在碳减排中的负面效应^[14,15],并提出通过区域一体化促进碳减排^[16-18]。总体上,多角度研究为理解碳排放提供了理论基础,也为科学政策制定等提供了借鉴。

环境是具有典型外部性的公共品,强化城市协同治理是解决环境问题的现实需要^[6,10,18]。理论分析、实证研究均表明,一体化深化能够显著降低碳排放^[6,14,16]。但是,相关研究也存在两个值得进一步探讨的关键问题:①碳排放衡量指标的选取。中国作为世界最大发展中国家,保持适度经济增长速度是提升发展质量、实现共同富裕的基础;受制于工业结构、技术条件、资源禀赋等,要素驱动的经济增长可能带来碳排放规模同步增加^[2,4]。因此,用碳排放强度这一低碳经济衡量指标,量化碳减排成效更有现实意义^[7,8,19]。②一体化的测度。一体化是纵向深化、空间扩容协同演进的综合过程,尽管区域一体化与区域扩容存在差异,但后者是前者的关键基础、重要举措^[6,10]。当前,无论是价格法、贸易法、生产法等^[10,20],或构建复杂指标体系^[21]的一体化水平测度中,不仅相关指标选取存在主观性,且忽视了一体化区域动态演变这一现实。此外,部分基于双重差分、考虑空间扩容的相关研究,不仅较少关注一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响,且主要以某一次扩容为例开展研究,对一体化区域动态渐次扩容、时空影响异质性综合分析相对欠缺^[6,18,22]。

长江三角洲作为中国工业化起步较早的城市群,经济社会快速发展带来显著的资源环境矛盾,也是碳排放较为集中的区域之一^[6]。伴随着长江三角洲区域一体化发展上升为国家战略,进一步深化城市协调机制、加快探索低碳化发展路径,不仅是争当“双碳”目标开路先锋的现实要求,也是为其他区域探索可复制绿色发展路径的战略需求。在中

国积极落实“3060”目标过程中,综合考虑区域一体化纵向深化、空间扩容协同演变现实,将长江三角洲城市经济协调会(下文简称协调会)扩容作为准自然实验,采用双重差分模型与中介模型、调节模型,多角度探讨一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响及驱动机制,以期为更好地推动城市群高质量发展提供理论借鉴。

2 机制分析与研究假说

综合已有研究与相关理论,发现区域一体化通过市场一体化、产业升级、技术进步、协同治理等4条路径影响城市碳排放强度,但这一影响也受城市市场化水平、产业结构等因素的调控,并提出如下研究假说:

“经济分权、政治集权”的晋升博弈中,为增长而竞争带来地方保护主义、产业“大而全”发展策略等,严重限制区域要素、能源的优化配置^[3,15]。区域一体化通过提升“能源效率、交易效率”等,有效降低城市碳排放强度^[6]。首先,分割市场中的“寻租”导致严重资源错配,能源竞争的“逆向选择”带来城市能源低效利用、碳排放强度居高不下^[15]。区域一体化市场中,一方面,市场机制完善、市场开放带来的能源贸易壁垒弱化、运输成本下降,倒逼能源丰裕城市提高能源利用效率、降低碳排放强度^[15,23];另一方面,市场规模扩大支撑的能源转型,驱动清洁能源规模效益提升与城市能源结构优化,带来碳排放强度下降^[23]。其次,区域一体化过程中贸易创造、替代效应等的显现,通过提升“交易效率”降低城市碳排放强度^[3,10,14,23]。如:区域一体化显著增强城市间经济联系、带来更大贸易量,环境规制较为严格城市通过贸易购买低成本、高排放中间产品,发达城市污染企业比重下降直接促进城市碳排放强度降低、欠发达城市可能因承接污染企业导致碳排放强度上升,进而带来城市群碳排放强度格局复杂变化^[23]。据此,提出研究假说1:

H1:区域一体化通过促进市场一体化带来城市碳排放强度下降。

产业发展的低效率、高耗能特征,是城市碳排放强度居高不下的关键因素之一^[5,24]。区域一体化带来的规模经济、市场竞争下的比较优势发挥,通过驱动产业转型、优化要素集散等,成为影响城市

碳排放强度的重要机制之一^[6,23]。首先,分割市场中价格信号失灵、地方主政者为追求稳定经济增长,选择承袭粗放的高投资、高能耗发展模式,城市发展陷入能源依赖、低端锁定困境^[10,15,25]。区域一体化带来的要素集散、产业竞争过程中,高端要素加快向高效率企业、城市集聚,倒逼城市“为增长而升级”的转变带来碳排放强度下降^[6,10]。其次,在发达城市主导的区域一体化过程中,基于经典增长收敛理论,环境要素随资本等流动到回报率较高的欠发达地区,相关区域在集聚高耗能企业促进经济发展同时也增加了碳排放,成为重塑区域碳排放格局的重要因素^[23]。最后,尽管区域一体化能够提升城市要素集聚水平^[22],但发达城市集聚较高质量要素,通过提升产业发展效率促进碳排放强度下降,而欠发达城市可能成为低端要素“污染天堂”。典型如国内外学者对FDI集聚的“污染天堂”论、“污染光环”论的争议,归根到底在于外资质量差距^[12,13,23]。据此,提出研究假说2:

H2:区域一体化通过加快产业升级带来城市碳排放强度下降。

经济社会发展中产生的碳排放,同样可以通过应用、推广减碳化技术,实现更高质量碳减排^[10,23]。区域一体化通过以下两条路径提升城市技术水平、降低碳排放强度:①通过强化城市创新合作、提升创新空间溢出效应、加强“需求引致创新”等机制,促进先进技术应用、新技术的不断衍生,如“物化”在产品、要素的先进(或清洁)技术、知识的传播扩散,为一体化城市加快模仿式创新提供了可能;区域协同创新平台的完善、市场规模的扩大,通过降低创新成本、扩大技术应用市场等,为城市创新提供基础^[10,17,18]。②区域一体化带来企业间竞争的加剧,企业为维持市场竞争中的优势地位、或进一步占据更大的市场份额,不得不加大R&D投入推动生产工艺改进、产品升级^[6,17],通过更多低碳技术的更新、应用,在提升企业能源效率、生产效率的同时,带来城市碳排放强度下降^[10]。据此,提出研究假说3:

H3:区域一体化通过促进技术进步带来城市碳排放强度下降。

对于“有为政府”的中国而言,毗邻城市间相近

环境规制、污染治理联合等有利于共同减排^[23]。在政府推动的城市群一体化过程中:一方面,环境污染共治是城市合作重要主题,城市间环境规制措施、相关条款趋于一致,显著弱化环境规制制度差异带来的政策激励扭曲,有利于以较少成本实现更强制度约束、更大减排^[15,18]。另一方面,欠发达城市融入一体化区域过程中,必然要遵循发达城市制定的较高环境标准,倒逼城市高污染、高排放企业的“关停并转”,如通过高标准环境规制倒逼高耗能、高排放企业的技术革新或产业转移等,实现城市碳排放强度的降低^[6,23]。据此,提出研究假说4:

H4:区域一体化通过推动协同治理带来城市碳排放强度下降。

区域一体化对碳排放强度影响可能受到城市发展状况,特别是市场化水平影响,这也是区域一体化对城市碳排放强度影响异质性的的重要因素之一^[6,20,23]。首先,不完善市场经济体制带来显著资源错配现象,通过产业结构、生产效率决定区域环境绩效^[10,25],且市场化水平越低、资源错配与能源效率损失现象越显著^[14]。即一方面通过抑制资源效率提升、产业升级弱化区域一体化的降低效应,另一方面寻租活动的存在导致城市高耗能产能难以及时出清、提高城市碳排放强度^[10,15]。其次,市场化水平相对较高的城市,市场公平竞争环境能够显著提高要素回报率^[23]。城市高端要素的加快集聚,通过强化经济发展效率、激发创新活力等,在驱动城市经济增长同时带来碳排放强度下降。因此,市场化水平是导致区域一体化与碳减排关系异质性的的重要因素,且市场化水平越高、区域一体化对碳减排影响越显著。据此,提出研究假说5:

H5:市场化水平提升能够放大区域一体化对碳排放强度下降的促进作用。

产业结构是影响城市碳排放强度的关键因素之一^[4],特别是中国工业的高耗能、高排放特征,在支撑经济快速增长同时,也带来城市碳排放强度的居高不下^[2,11]。在资源禀赋、宏观政策、发展阶段等因素制约下,产业结构通过复杂机制作用于区域一体化与碳排放强度关系:一方面,产业高级化水平提升带来更清洁要素投入结构,不仅直接促进能源消耗强度下降,也伴随着要素集聚质量提升,通过

2022年7月

强化区域一体化产业升级效应带来城市碳排放强度下降。另一方面,不同发展阶段城市对经济增长、环境污染偏好权衡存在差异,产业结构优化伴随着地方政府环保规制强化、民众环保诉求改善^[6],在提高企业环境准入门槛同时,为促进城市间协同治理深化、产业转移加快,进而带来城市碳排放强度下降、环境质量优化奠定了基础^[23]。据此,提出研究假说6:

H6:产业结构高级化能够放大区域一体化对碳排放强度下降的促进作用。

总之,区域一体化过程中要素集散的动态性、复杂性机制,在驱动城市碳排放强度差异化演变同时,也重塑区域碳排放空间格局。对于不同类型城市而言,区域一体化对碳排放强度影响可能存在明显差异:一方面,要素驱动的城市发展过程中,要素集散的“马太效应”及其带来的产业结构差异化演变、技术进步水平的不同,对城市碳排放强度产生差异化影响。另一方面,渐次扩容的双重“核心-边缘”过程中,发达城市主导的空间溢出效应显著邻近性、等级性等机制下^[1],不同城市参与区域一体化的收益受空间区位、市场化水平、发展状况等影响。因此,在评估区域一体化对碳排放强度影响中,有必要进一步开展多角度的异质性检验。

3 研究背景、模型设定与数据说明

3.1 长江三角洲区域一体化演变背景

改革开放以来,经济体制改革极大地激发了地方经济发展积极性,但也带来“以邻为壑”、同质化竞争等弊端^[26]。为破解这一难题,1982年国务院设立了以上海为中心的“上海经济区”,但在经历快速扩容后由于难以有效协调超大范围城市间利益关系,这一跨越多个省级行政单元的一体化尝试,以1988年“上海经济区规划办”的撤销而告终。1990年代初期,随着“浦东开发开放战略”等国家战略相继实施,“长三角城市协作部门(经协会)主任联席会议”与“长江三角洲城市经济协调会”相继接力,再次拉开了一体化探索与实践新序幕。与此同时,国家层面的一体化政策也相继出台:2008年国务院颁布《关于进一步推进长江三角洲地区改革开放和经济社会发展的指导意见》,2010年国家发改委印

发《长江三角洲地区区域规划》,2016年国家发改委颁布实施《长江三角洲城市群发展规划》,2018年习近平总书记宣布支持长江三角洲区域一体化发展并上升为国家战略,2019年国务院正式颁布《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》。在中央与地方政府协同推进下,长江三角洲区域一体化逐渐走向水平深化、空间扩容,有力地支撑了中国经济社会发展。

兼顾水平深化、空间扩容等多维复杂情况,科学界定长江三角洲一体化进程,是已有研究中的争议话题之一^[6,22,26]。长期以来,政府是推动经济社会发展的重要主体,在城市群一体化中同样发挥着关键作用^[26,27]。鉴于主导者差异,政府引导下的长江三角洲区域一体化包括两类(图1):中央政府基于宏观规划引导下,一体化区域城市数量呈非连续性演变,即受部分城市加入、退出影响;相比而言,依托协调会的演变,渐次、连续扩容至沪苏浙皖全域,为实证研究提供了较好视角^[26]。尽管“一体化”与“区域扩容”并不完全相同,但作为对中央宏观一体化政策响应、城市自发形成的跨区域官方组织,在基于协调会的政府主导协商合作机制下,长江三角洲城市加入协调会也是融入一体化区域、实现城市群一体化水平深化的重要举措,即一体化区域扩容过程中的横向空间扩容、纵向一体化协同,综合反映了城市群一体化演变的客观现实。

3.2 计量模型的构建

为得到一体化区域扩容对城市碳排放强度影响的无偏估计,采用DID模型进行实证检验^[6,28]。基准计量模型构建如下:

$$Pcar_{it} = \beta_0 + \beta_D D_{it} + \beta X + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中: i 、 t 分别代表区域、时间; $Pcar$ 表示城市碳排放强度; β 为回归系数; D 为解释变量; X 为控制变量; λ_i 、 η_t 分别为区域、时间固定效应; ε 为随机扰动项。

为识别一体化区域扩容影响碳排放强度的机制,采用中介模型进行实证检验^[6,29]:

$$Med_{it} = \theta_0 + \theta_1 D_{it} + \theta X + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$Pcar_{it} = \gamma_0 + \gamma_D D_{it} + \gamma_1 Med_{it} + \gamma X + \lambda_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中: Med 为中介变量, θ 、 γ 为回归系数。中介效

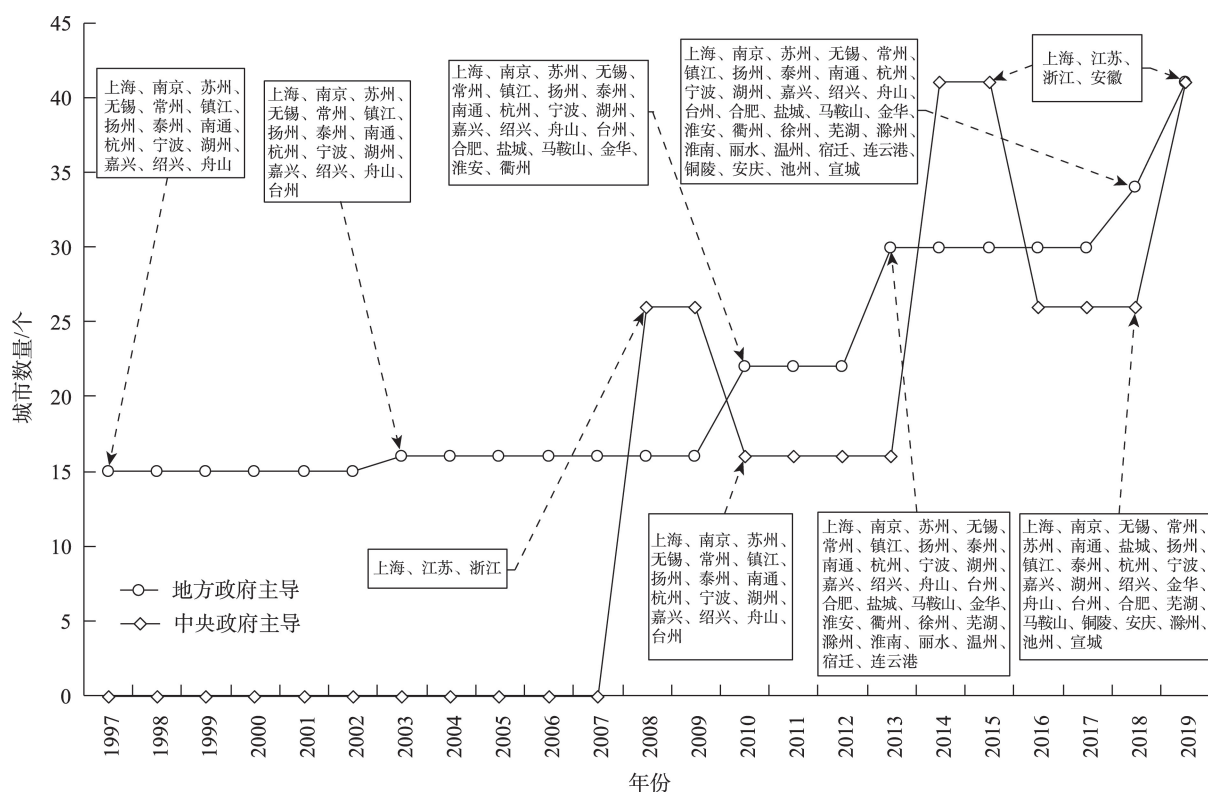


图1 1997—2019年不同视角下的长江三角洲一体化区域范围演变

Figure 1 Evolution of the regional integration area in the Yangtze River Delta from different perspectives, 1997-2019

应检验步骤如下^[6]:首先,判定解释变量对被解释变量影响,若显著则开展第二步。考察解释变量对中介变量的影响,以及将中介变量纳入基准模型进行模型(3)的回归分析,进而分析 θ_1 、 γ_1 的显著性,若均显著则表明存在显著中介效应,并开展下一步检验;若有一个不显著则需要采用Bootstrap或Sobel方法对原假设 $\theta_1 \times \gamma_1 = 0$ 进行检验,检验通过表明间接效应显著存在,否则停止分析。最后,检验 γ_D 的显著性,若不显著表明存在完全中介效应,若显著则比较 $\theta_1 \times \gamma_1$ 与 γ_D 的符号,一致表明呈现部分中介效应,否则呈现为遮掩效应。

借鉴已有研究^[29],进一步构建调节效应回归模型,探讨相关因素对一体化区域扩容与城市碳排放强度关系的影响:

$$Pcar_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 D_{it} + \varphi_2 Reg_{it} + \varphi_3 D_{it} \times Reg_{it} + \varphi_4 X_{it} + \eta_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中: Reg 为调节变量; φ 为回归系数。为保证调节效应准确性,对调节变量及交互项中心化处理后纳入回归模型。

3.3 变量选取与数据来源

(1)被解释变量。基于“用发展的办法解决发展中的问题”导向,将碳排放强度这一生态平衡指标作为被解释变量^[4],计算方法为单位GDP的碳排放量^[8],单位为t/万元。

(2)解释变量。借鉴已有研究方法^[6,28],将融入协调会虚拟变量作为解释变量:城市 i 在 t 年是否加入协调会,是为1、否为0。

(3)控制变量。①不同经济发展阶段,碳排放强度存在明显差距^[2];经济发展水平采用人均GDP($Pgdp$)进行表征,单位为万元。②产业结构通过生产效率、能源消耗等影响城市碳排放强度^[2,5];鉴于工业在碳排放中主体地位^[11],采用第二产业增加值占GDP比重表征产业结构(Str),单位为%。③对外开放通过要素集聚、产业变迁与创新演变等,影响城市碳排放状况^[10,15];开放水平($Open$)采用进出口总额占GDP比重进行表征,单位为%。④基础设施通过强化产业联系、驱动设施共享、降低贸易成本等,影响碳排放状况,且交通在一体化中发挥着重

2022年7月

要作用^[23];交通可达性采用客运量进行表征(Tra),单位为万人次,取自然对数后纳入计量模型。

城市是区域发展核心空间载体、碳排放主要来源地^[3],采用CEADs数据库(www.ceads.net)公开研究成果^[30],对城市碳排放强度进行测度。此外,1997—2017年长江三角洲一体化区域扩容经历了从起步到加速的转变,一体化范围从核心区逐渐扩容至三省一市,实验组覆盖城市具有较强代表性、显著差异性。因此,本文选择1997—2017年作为研究期限。经济社会数据来源于1998—2018年沪江浙皖及各城市统计年鉴、统计公报及CNRDS等。为保证样本数据连贯性,以2000年行政区划为基准,将巢湖市加入协调会时间设定为2010年。其中:涉及区划调整的城市数据基于县级单元数据进行估算,缺失数据参照往期增长率进行估算,经济数据基于相关价格指数调整为1997年为基准的可比数据。

4 结果与分析

4.1 基准模型计量结果

表1汇报了基于式(1)的基准模型估计结果。总体上,不加控制变量(模型1)、加入部分控制变量^①(模型2),或加入全部控制变量(模型3),解释变量系数均显著为负,表明基于协调会扩容的长江三角洲一体化能够显著降低城市碳排放强度。这一结论与当前相关研究结果相契合^[6,15],表明中国持续

推动城市群一体化的重要现实意义。

由于规模、发展水平、区位等的差异,融入一体化区域对城市碳排放强度的影响可能也有所不同^[6,25,26]。鉴于交通状况在城市群一体化深化、要素集散、产业合作等方面的重要作用^[10,23],进一步探讨一体化区域扩容对不同交通可达性城市碳排放强度影响的差异(模型4)。解释变量系数显著为负、交互项系数显著为正,表明城市客运量规模越大、碳排放强度越高。主要受以下因素驱动:一方面,交通是城市碳排放重要主体,客运量规模越大、城市碳排放总量越大。另一方面,较大客运量表征了城市在区域要素集散中的中心地位,要素过度集聚带来的拥堵效应显现,通过规模报酬下降导致城市碳排放强度上升。进一步分析发现,效应由负转正门槛值约为加入协调会时客运量达到34372.08万人次,尽管绝大多数处理组受政策冲击时并未超过这一门槛值,但也表明应重视区域一体化过程中要素过度集聚带来的负面效应,即区域一体化过程中优化城市群要素配置、空间结构等,对于推动城市群绿色发展同样具有重要意义。

作为渐进式一体化过程,随城市加入协调会时间的增加,区域一体化对碳排放强度的影响呈现何种演变规律?借鉴已有研究^[26],以每7年为一个时期,测度第一个、第二个、第三个时期内的平均影响(模型5)。研究发现,3个时期解释变量系数均在

表1 一体化区域扩容对城市碳排放强度影响的基准回归结果

Table 1 Benchmark regression results of the impact of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity

变量	模型1 $Pcar$	模型2 $Pcar$	模型3 $Pcar$	模型4 $Pcar$	模型5 $Pcar$
D	-0.257***(-5.92)	-0.226***(-5.48)	-0.194***(-4.70)	-1.995***(-4.75)	
$D \times Tra$				0.191***(-4.31)	
$year_{1-7}$					-0.266***(-5.85)
$year_{8-14}$					-0.395***(-6.06)
$year_{15-21}$					-0.564***(-6.11)
控制变量	不控制	部分控制	控制	控制	控制
时空效应	控制	控制	控制	控制	控制
$Constant$	3.548*** (72.48)	4.590*** (30.90)	5.790*** (22.18)	5.956*** (22.81)	6.113*** (22.52)
R^2	0.466	0.373	0.562	0.603	0.433
F 统计量	133.91	142.00	136.48	134.77	129.97

注:括号内为统计量 t 值,*、**、***分别表示0.10、0.05、0.01显著性水平。下同。

① 回归模型中包括的控制变量为经济发展水平、产业结构。

1%水平下显著为负、呈递增态势,表明城市加入协调会时间越长、对城市碳排放强度下降促进作用越大^[6]。事实上,基于地方利益博弈的区域一体化过程,呈现“由易到难”“由浅入深”的渐进特征,协调会合作领域与专题的演变印证了这一结论,即从2003年明确提出“生态环境保护”、到2013年的“生态环境治理”、2015年的“生态文明建设”等,在“保护—治理—制度建设”中强化了区域一体化对碳排放强度的影响^[6]。这一结论与已有研究中一体化水平越高、影响越显著结论相契合^[18,23],也为中国城市群一体化绿色发展指明了方向。

4.2 稳健性检验

(1)平行趋势检验。基于双重差分模型的评估,数据需要满足平行趋势假设^[6,26]。对此,构建 $post^{-3}$ 、 $post^{-2}$ 、 $post^{-1}$ 、 $post^0$ 、 $post^1$ 、 $post^2$ 等6个政策冲击时间虚拟变量,即加入协调会前3年、当年与后2年。而后,与实验组虚拟变量相乘形成交互项,将新生成的交互项作为解释变量,对比政策冲击前后实验组、对照组碳排放强度演变趋势(表2)。

首先,加入协调会前交互项系数均不显著,表明实验组、对照组城市碳排放强度演变大致保持相同趋势。其次,政策实施后交互项系数显著为负,说明加入协调会对城市碳排放强度的影响呈持续增强趋势。总体上,实证数据适用于双重差分模型,基准模型估计结果具有较强可信度。

(2)政府自选择内生性控制。“准自然实验”要

求实验组选取接近随机。但在城市申请、协调会审核的扩容过程中,城市发展水平是影响其能否加入协调会的关键因素之一^[27]。对此,借鉴 Heckman^[31]两步法,通过构造逆米尔斯比率(IMR),对地方政府是否选择加入协调会这一内生性进行控制^[22]。表3模型1报告了这一估计结果:IMR系数为0.226、通过1%显著性水平检验,表明基准回归模型存在政府自选择问题。但是,控制地方政府的自选择内生性后,一体化区域扩容对城市碳排放强度影响依然显著为负,验证了基准回归结果稳健性。

(3)控制其他外部冲击的再估计。作为现代基础设施重要组成部分,城市高铁开通通过时空压缩,降低要素流动成本、弱化边界效应、增强城市产业联系等,对城市碳排放强度演变产生影响。研究期内,长江三角洲城市高铁(H-Tra)同样呈现渐次开通特征,这一外部冲击是否会对基准模型回归结果稳健性产生影响?控制城市是否开通高铁这一变量的检验发现(表3模型2),一体化区域扩容依然能够显著降低城市碳排放强度,表明基准模型回归结果具有较强稳健性。

近年来,中央政府选择典型城市开展相关试点,将成功经验予以推广,是推动中国低碳化转型的重要实践之一。相关研究表明,低碳试点的设立能够显著影响城市碳排放演变^[24]。对于长江三角洲而言,一体化过程中部分城市也成为中国低碳试点城市(SD)。为此,通过控制低碳试点这一外部政策

表2 平行趋势检验结果

Table 2 Results of parallel trend test

变量	模型1 <i>Pcar</i>	模型2 <i>Pcar</i>	模型3 <i>Pcar</i>	模型4 <i>Pcar</i>
$D \times Pcar^{-3}$	0.0675(0.69)	0.0767(0.78)	0.0705(0.72)	0.0570(0.58)
$D \times Pcar^{-2}$	0.7130(0.73)	0.0806(0.82)	0.0743(0.76)	0.0610(0.62)
$D \times Pcar^{-1}$	0.0310(0.32)	0.0408(0.42)	0.0340(0.35)	0.0189(0.19)
$D \times Pcar^0$		-0.1280*(-1.79)	-0.0827*(-2.15)	-0.0995*(-2.38)
$D \times Pcar^1$			-0.119***(-2.66)	-0.1020*(-2.42)
$D \times Pcar^2$				-0.1820*(-2.55)
控制变量	控制	控制	控制	控制
时空效应	控制	控制	控制	控制
Constant	7.459*** (31.21)	7.492*** (31.30)	7.468*** (31.09)	7.400*** (30.72)
R^2	0.643	0.642	0.643	0.647
F统计量	208.85	183.63	163.44	148.72

表3 稳健性检验结果

Table 3 Robustness test results

变量	模型1 <i>Pcar</i>	模型2 <i>Pcar</i>	模型3 <i>Pcar</i>	模型4 <i>Pcar₂</i>
<i>D</i>	-0.141***(-3.26)	-0.194***(-4.69)	-0.193***(-4.65)	-0.310***(-4.16)
<i>IMR</i>	0.226*** (3.92)			
<i>H-Tra</i>		-0.001(-0.03)		
<i>SD</i>			0.021(0.42)	
控制变量	控制	控制	控制	控制
时空效应	控制	控制	控制	控制
<i>Constant</i>	4.964*** (14.87)	5.791*** (22.07)	5.773*** (21.82)	9.450*** (20.02)
<i>R</i> ²	0.645	0.562	0.563	0.885
<i>F</i> 统计量	134.13	131.07	131.10	49.53

因素,对基准模型进行再估算(表3模型3),解释变量系数依然显著为负,进一步验证基准模型回归结果的较强稳健性。

(4)替换被解释变量。碳排放规模估算结果对实证结论具有直接影响,也是当前相关研究难题。对此,借鉴相关研究方法^[32],对长江三角洲城市1997—2017年的碳排放数据进行重新估算;与基准模型采用夜间灯光数据的估算相比,这一方法基于能源消耗规模、单位能源碳排放系数等数据估算碳排放规模,在数据、方法方面都存在明显差异。基于差异化数据、方法的被解释变量(*Pcar₂*)估算中(表3模型4),解释变量系数依然显著为负,进一步印证了基准模型回归结果的稳健性。

4.3 异质性检验

(1)不同区域的异质性。在以上海为核心、发达城市主导的一体化区域渐进式扩容过程中,一体化区域扩容对不同区域城市碳排放强度影响是否存在差异?对此,进一步分析加入协调会对江浙皖

不同省份城市碳排放强度的影响,结果依次如表4中的模型1-3。

研究发现,加入协调会对不同省份城市碳排放强度影响存在显著差异,江苏城市与安徽城市呈现显著负效应、且前者更为明显,而浙江城市呈现不显著的正效应。这一异质性影响机制主要如下:①加入协调会对江苏城市碳排放强度下降的促进作用最强,一方面受益于与上海、安徽较强的产业关联度,通过产业转移、置换等实现产业结构优化、碳排放强度下降;另一方面受益于与上海较强的创新互补性等,通过承接技术溢出推动城市低碳化技术的发展、应用。②作为后发地的安徽,通过基础设施完善、产业园区共建等承接发达城市产业转移实现经济增长,产业快速集聚可能带来城市碳排放强度上升;此外,在接受江浙沪绿色技术溢出过程中,实现城市技术攀升、生产效率提高。总体上,在宏观政策引导、倒逼下,后者相对较强的影响带来城市碳排放强度下降。③对于浙江而言,经济社会发

表4 一体化区域扩容对不同省份城市碳排放强度影响的异质性

Table 4 Heterogeneous impacts of regional integration area enlargement on carbon emission intensity of cities of different provinces

变量	模型1 <i>Pcar</i>	模型2 <i>Pcar</i>	模型3 <i>Pcar</i>
<i>D</i>	-0.242***(-3.75)	0.030(0.45)	-0.237***(-3.82)
控制变量	控制	控制	控制
时空效应	控制	控制	控制
<i>Constant</i>	5.881*** (22.43)	5.813*** (21.30)	5.496*** (19.82)
<i>R</i> ²	0.464	0.476	0.424
<i>F</i> 统计量	134.86	132.06	134.96

展更多地受到民营经济、外向型经济驱动,且城市创新水平与上海差距相对较小、产业结构差异明显,加之区域一体化带来的部分产业要素汇集,这都是一体化区域扩容与碳排放强度关系不显著的可能原因。但是,浙江不显著的正效应影响机制,有待进一步深化探索。

(2)不同类型城市的异质性。借鉴已有研究^[6],将城市分为高等级城市、一般等级城市两类,进一步对比加入协调会对不同类型城市碳排放强度的影响;其中,将上海、南京、苏州、无锡、杭州、宁波、合肥等城市等划分为高等级城市,其余城市为一般城市。

结果表明(表5),加入协调会能够显著降低所有城市碳排放强度,但对高等级城市碳排放强度下降促进作用强于一般城市。可能影响机制如下:①高等级城市具有更高经济发展水平、产业发展效率、环境规制完善度等,区域一体化过程中有能力增强高端要素集聚、提升城市创新发展水平,实现“技术”驱动型减碳化发展。②差异化的要素集散,是区域一体化对不同城市碳排放强度影响水平差异的重要因素,如高效率、低能耗、高技术的产业及相关环节倾向于在高等级城市聚集,而一般等级城市由于经济发展水平落后、环境规制制度不完善等,往往成为低效率、高能耗产业及相关环节的承接地^[6]。总体上,区域一体化过程中的产业转移,是否导致部分一般等级城市碳排放强度上升,这一可能负面效应有待后续深入探究。

4.4 驱动机制的实证检验

4.4.1 基于中介模型的检验

结合理论分析与研究假说,重点将市场一体

化、产业升级、技术进步、协同治理等作为中介变量,采用中介模型探讨一体化区域扩容影响城市碳排放强度的机制。

(1)市场一体化(*Int*)。城市群一体化本质在于市场一体化,且市场一体化越深,城市群要素流动越顺畅、市场规模效应越大、产业分工越合理^[3,14,20]。借鉴已有研究^[33],采用“一价法”构造市场分割指数对市场一体化进行测度,探讨加入协调会能否通过促进市场一体化,推动城市碳排放强度下降。其中,选择食品、烟酒及用品、衣着、家庭设备用品及维修服务、医疗保健和个人用品、交通和通讯用品及服务、娱乐教育文化用品及服务 and 居住等8类商品价格指数作为基础数据^②。结果表明(表6):一方面,模型1中解释变量系数显著为负,即加入协调会能够显著推动市场一体化。另一方面,模型2中解释变量、中介变量的系数均显著,说明市场一体化在加入协调会与城市碳排放强度关系中呈现部分中介效应,研究假说1得到验证。此外,模型2的相关结果,印证了区域一体化界定的科学性。

(2)城市产业升级(*Upg*)。区域一体化过程中,要素集散驱动的产业升级,通过影响城市产业发展状况带来碳排放强度演变。借鉴已有研究^[34],采用劳均产出作为城市产业升级这一中介变量的替代变量,验证一体化区域扩容能否通过促进城市产业升级,进而影响城市碳排放强度演变。从研究结果看(表6):一方面,模型3中解释变量系数显著为正,表明加入协调会能够显著促进城市产业升级。另一方面,模型4中解释变量、中介变量的系数均显著为负,说明区域一体化带来城市产业升级在加入协

表5 一体化区域扩容对不同类型城市碳排放强度影响的异质性

Table 5 Heterogeneous impacts of regional integration area enlargement on carbon emission intensity by city types

变量	高等级城市		一般城市	
	模型1 <i>Pcar</i>	模型2 <i>Pcar</i>	模型3 <i>Pcar</i>	模型4 <i>Pcar</i>
<i>D</i>	-0.476***(-3.43)	-0.247*(-1.86)	-0.219***(-4.90)	-0.179***(-4.21)
控制变量	不控制	控制	不控制	控制
时空效应	不控制	控制	不控制	控制
<i>Constant</i>	3.524*** (68.98)	5.767*** (21.60)	3.503*** (73.42)	5.850*** (22.37)
<i>R</i> ²	0.167	0.466	0.130	0.533
<i>F</i> 统计量	129.19	132.71	131.67	135.60

② 数据期限为2000—2017年,由于六安、池州数据缺失较多,不包括在内。

表6 一体化区域扩容影响城市碳排放强度的中介效应

Table 6 Mediation effect of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity

变量	市场一体化		城市产业升级		绿色技术进步		协同治理深化	
	模型1 <i>Int</i>	模型2 <i>Pcar</i>	模型3 <i>Upg</i>	模型4 <i>Pcar</i>	模型5 <i>Pat</i>	模型6 <i>Pcar</i>	模型7 <i>Cop</i>	模型8 <i>Pcar</i>
<i>D</i>	-0.001*** (-3.66)	-0.148*** (3.06)	0.427*** (8.23)	-0.083** (-2.03)	0.155** (2.05)	-0.178*** (-4.38)	5.623*** (2.78)	-0.166*** (-3.62)
<i>Int</i>		43.429*** (2.96)						
<i>Upg</i>				-0.261*** (-9.91)				
<i>Pat</i>						-0.103*** (-5.49)		
<i>Cop</i>								-0.005** (-2.07)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
时空效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>Constant</i>	-0.003*** (-2.88)	5.912*** (22.77)	-1.462*** (-4.45)	5.409*** (21.66)	-0.0471 (-0.10)	5.785*** (22.56)	8.271* (1.88)	5.238*** (23.64)
<i>R</i> ²	0.129	0.519	0.957	0.322	0.693	0.525	0.168	0.562
<i>F</i> 统计量	36.28	128.86	2186.03	150.66	315.88	137.08	28.60	136.79

调会与城市碳排放强度关系中呈现部分中介效应,研究假说2得到验证。此外,生产效率表征的产业升级中介效应占总效应的较高比例,反映产业结构在碳排放强度演变中的关键地位。

(3)绿色技术进步(*Pat*)。绿色发明专利产出代表了城市绿色技术水平。对此,采用城市绿色发明专利^③作为中介变量,探讨加入协调会能否通过提升城市绿色技术水平,进而带来城市碳排放强度下降。从研究结果看(表6):一方面,模型5中解释变量系数显著为正,表明加入协调会能够显著促进城市绿色专利技术进步。另一方面,模型6中解释变量、中介变量的系数均显著为负,说明城市绿色技术进步在加入协调会与城市碳排放强度关系中呈现部分中介效应,研究假说3得到验证。但是,绿色技术进步中介效应占总效应比例的明显较低,反映城市群绿色技术合作水平不高、产业链与创新链脱节等不合理现象。

(4)协同治理深化(*Cop*)。政府间相关合作协议制定是推动协同治理的重要举措,且表现为城市间合作协议越多、治理协同度越强。对此,采用“八爪鱼”等网络爬虫程序,基于“环境、污染、产业、创

新”等与碳排放紧密相关的关键词,从相关网站拾取跨城市府际合作文本数据,进而计算长江三角洲各城市政策协作度数中心度^[35],检验加入协调会能否通过强化城市协同治理深化带来碳排放强度下降。从研究结果看(表6):一方面,模型7中解释变量系数显著为正,表明加入协调会能够显著增强城市间政策合作。另一方面,模型8中解释变量、中介变量的系数均显著为负,说明区域一体化带来的协同治理深化在加入协调会与城市碳排放强度关系中呈现部分中介效应,研究假说4得到验证。地方政府间协同治理深化的中介效应占总效应比例不高的现象,反映当前城市合作仍然很大程度上停留在文本上、一体化协同治理仍有较大提升空间。

4.4.2 基于调节模型的检验

结合理论分析与研究假说,重点将市场化水平、产业高级化等作为调节变量,采用调节模型探讨相关因素对一体化区域扩容与城市碳排放强度关系的影响(表7)。

(1)市场化水平(*Mark*)。诸多研究表明,转型期中国城市存在显著的要素市场扭曲,且扭曲程度越深、区域一体化的碳减排效应越弱^[6]。借鉴樊纲

③ 为保证样本有效性,使用“专利数+1”取自然对数后构建中介变量。

表7 一体化区域扩容影响城市碳排放强度的调节效应

Table 7 Moderation effect of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity

变量	市场化程度		产业高级化	
	模型1 <i>Pcar</i>	模型2 <i>Pcar</i>	模型3 <i>Pcar</i>	模型4 <i>Pcar</i>
<i>D</i>	-0.219***(-5.25)	-0.208**(-2.50)	-0.211***(-5.16)	-0.205***(-3.06)
<i>Mark</i>	-0.064***(-3.17)	-0.062***(-3.01)		
<i>D</i> × <i>Mark</i>		-0.022**(-2.22)		
<i>Adv</i>			-0.477***(-4.45)	-0.484***(-4.43)
<i>D</i> × <i>Adv</i>				-0.400***(-3.33)
控制变量	控制	控制	控制	控制
时空效应	控制	控制	控制	控制
<i>Constant</i>	5.998*** (22.40)	5.990*** (22.20)	2.520*** (3.23)	2.509*** (3.22)
<i>R</i> ²	0.444	0.444	0.561	0.518
<i>F</i> 统计量	133.08	128.00	135.02	129.88

等的方法^④,估算城市市场化指数,缺失数据采用2年平均增长率进行估算。加入调节变量及交互项后,市场化程度提升能够显著降低城市碳排放强度,且在一体化区域扩容与城市碳排放强度关系中呈现明显同向调节效应,研究假说5得到验证。可能驱动机制为:市场化水平越高,寻租成本越高、市场竞争越充分,要素生产效率越高、创新主体的创新动能更强,进而促进生产技术进步、生产效率提升,带来城市碳排放强度下降^[10]。与此同时,市场化水平越高、城市高端要素集聚能力也越强,通过推动城市产业转型等,进一步强化一体化区域扩容对城市碳排放强度下降的促进作用。

(2)产业高级化(*Adv*)。产业结构的显著差异,直接、或通过要素集聚等间接方式,作用于区域一体化与碳排放强度关系^[5]。借鉴已有研究方法^[36],采用产业高级化指数表征城市产业结构差异。加入调节变量及交互项后,产业高级化提升能够显著降低城市碳排放强度,并在一体化区域扩容与城市碳排放强度关系中呈现明显同向调节效应,研究假说6得到验证。原因可能为:城市产业高级化水平越高,表明城市经济发展越快从农业、制造业等高耗能产业向服务业等低能耗产业转型,呈现产业结构转型驱动的碳排放强度下降;与此同时,产业高级化伴随着产业发展环境优化、创新氛围提升等,进而带来城市创新要素、高附加值产业等高端要素的集

聚,呈现发展环境优化驱动的碳排放强度下降^[5,10],进而强化一体化区域扩容对城市碳排放强度下降的促进作用。

5 结论与政策启示

5.1 结论

基于1997—2017年城市尺度数据,将长江三角洲城市经济协调会扩容作为准自然实验,多角度探讨一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响及驱动机制。主要结论如下:

(1)基于协调会的长江三角洲一体化区域扩容,能够显著降低城市碳排放强度,表明通过一体化推动城市群低碳化发展具有较强现实可行性。基于平行趋势、政府自选择、控制外生因素、替换被解释变量等的稳健性检验,均验证了实证结论的稳健性。

针对区域一体化对城市碳排放强度影响的动态性检验发现,随着城市加入协调会时间的增加、区域一体化带来的碳排放强度下降促进作用也得到明显提升,表明未来依托城市群一体化实现绿色发展的重点在于持续深化一体化水平。

(2)进一步检验发现,加入协调会对不同城市碳排放强度影响呈现明显异质性:首先,基于交互项的检验发现,尽管加入协调会能够显著促进城市碳排放强度下降,但城市要素过度集聚导致的规模

④ <https://cmi.ssap.com.cn/>。

2022年7月

扩大与碳排放强度增加现象,表明一体化发展中的“马太效应”不利于城市群绿色发展。其次,基于上海为核心的城市群渐次扩容过程中,加入协调会对不同省份城市碳排放强度影响存在差异,表现为显著促进江苏城市与安徽城市碳排放强度下降、且前者更为明显,而浙江城市呈现为不显著的正效应,表明相关政策制定应“因地制宜”。最后,将城市分为高等级城市、一般等级城市的对比发现,尽管加入协调会能够显著促进两类城市碳排放强度下降,但对高等级城市碳排放强度下降促进作用强于一般城市。

(3)结合中介模型、调节模型,对长江三角洲一体化区域扩容影响城市碳排放强度的机制检验发现:一方面,加入协调会带来的市场一体化深化、产业升级加快、绿色创新技术提升、协同治理深化等,是驱动城市碳排放强度下降的重要因素。另一方面,城市的市场化程度提升、产业高级化推进,能够强化一体化区域扩容对城市碳排放强度下降的促进作用。

5.2 政策启示

在中国积极构建“19+2城市群”发展格局背景下,多角度评估了长江三角洲一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响与驱动机制,并获得如下启示:

(1)城市群一体化具有经济联动和环境优化的双重政策红利,即中国在高质量发展阶段,应充分发展城市群规模经济效应、构建互利共生协同发展格局。在此过程中,重点在于通过协同编制发展规划、破除行政边界壁垒、制定统一市场准入标准、促进要素自由流动等,以一体化深化放大城市群碳排放强度降低效应,切实放大中国统一大市场优势。此外,区域一体化对城市碳排放强度影响的多重异质性,表明城市绿色发展不应过度寄托于一体化“一纸文书”,且碳排放视角下的城市群空间范围是否存在最优边界,同样值得进一步深入研究。

(2)中国积极迈向“共同富裕”、推动“碳达峰碳中和”过程中,保持适宜经济增长速度具有重要现实意义。实证研究发现,通过优化城市产业结构、提升绿色创新水平等,是平衡经济增长与绿色发展的可行举措。对此:一方面,基于严格负面清单制

度,重点扶持清洁技术、节能技术、循环利用等高新技术企业、战略性新兴产业发展,推动城市群产业高效化、绿色化。另一方面,强化城市群创新网络联系、推动绿色技术转化与应用等,切实提升城市群绿色技术发展水平。但在此过程中,应该注重城市间差异化、错位化发展:产业发展应基于城市经济状况、资源禀赋等推动产业链差异化布局,以产业链合作提升城市群合作水平;创新发展中发达城市注重原始、前沿性技术突破,欠发达城市通过积极承接、转化相关技术,协同推动技术进步与绿色化生产。

(3)在中国“经济分权、政治集权”体制下,城市间市场分割、环保“以邻为壑”等具有现实性。为破解这一难题,有必要构建相应制度保障体系,为一体化绿色发展保驾护航。相关举措包括:加快改革政府绩效考核体系,探索可监测、可操作的绿色发展评价指标体系^[6],倒逼地方政府从追求经济增速转向发展质量;探索城市群环保委员会主导的环保垂直管理模式,加快制定统一环保标准、强化环境联合执法力度;将碳减排作为重要合作主题,科学厘清城市间碳减排责任;培育、发展环保技术市场,开展政府采购的第三方环境监测,鼓励各类民间资本进入污染治理领域。在此过程中,政策的制定、落地,不仅要注重发展差异性,更要做到动态调整,以科学评估支撑政策的“因地制宜”“与时俱进”,保障城市群一体化绿色发展行稳致远。

参考文献(References):

- [1] 韩梦瑶, 刘卫东, 谢瀚甜, 等. 中国省域碳排放的区域差异及脱钩趋势演变[J]. 资源科学, 2021, 43(4): 710-721. [Han M Y, Liu W D, Xie Y T, et al. Regional disparity and decoupling evolution of China's carbon emissions by province[J]. Resources Science, 2021, 43(4): 710-721.]
- [2] 王霞, 张丽君, 秦耀辰, 等. 中国高碳制造业碳排放时空演变及其驱动因素[J]. 资源科学, 2020, 42(2): 323-333. [Wang X, Zhang L J, Qin Y C, et al. Spatiotemporal changes of carbon emissions in high-carbon manufacturing industry in China and driving factors[J]. Resources Science, 2020, 42(2): 323-333.]
- [3] 王康, 李志学, 周嘉. 环境规制对碳排放时空格局演变的作用路径研究: 基于东北三省地级市实证分析[J]. 自然资源学报, 2020, 35(2): 343-357. [Wang K, Li Z X, Zhou J. The effects of en-

- vironmental regulation on spatio-temporal carbon emissions patterns: Empirical analysis of prefecture-level cities in northeast China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(2): 343-357.]
- [4] 王凯, 唐小惠, 甘畅, 等. 中国服务业碳排放强度时空格局及影响因素[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(8): 23-31. [Wang K, Tang X H, Gan C, et al. Temporal-spatial evolution and influencing factors of carbon emission intensity of China's service industry[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(8): 23-31.]
- [5] 周迪, 王雪芹. 中国碳排放效率与产业结构升级的耦合度及耦合路径[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(11): 2305-2316. [Zhou D, Wang X Q. Research on coupling degree and coupling path between China's carbon emission efficiency and industrial structure upgrade[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(11): 2305-2316.]
- [6] 郭艺, 曹贤忠, 魏文栋, 等. 长三角区域一体化对城市碳排放的影响研究[J]. *地理研究*, 2022, 41(1): 181-192. [Guo Y, Cao X Z, Wei W D, et al. The impact of regional integration in the Yangtze River Delta on urban carbon emissions[J]. *Geographical Research*, 2022, 41(1): 181-192.]
- [7] 李建豹, 黄贤金, 揣小伟, 等. 长三角地区碳排放效率时空特征及影响因素分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(7): 1486-1496. [Li J B, Huang X J, Chuai X W, et al. Spatio-temporal characteristics and influencing factors of carbon emissions efficiency in the Yangtze River Delta region[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(7): 1486-1496.]
- [8] Ang B W. Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?[J]. *Energy Policy*, 1999, 27(5): 943-946.
- [9] Duarte R, Serrano A. Environmental analysis of structural and technological change in a context of trade expansion: Lessons from the EU enlargement[J]. *Energy Policy*, 2021, DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112142.
- [10] 黎文勇, 杨上广, 吴玉鸣. 区域市场一体化对碳排放效益的影响研究: 来自长三角地区的空间计量分析[J]. *软科学*, 2018, 32(9): 52-55. [Li W Y, Yang S G, Wu Y M. Study on the impact of regional market integration on carbon emission benefits: The spatial econometric analysis from the Yangtze River Delta region[J]. *Soft Science*, 2018, 32(9): 52-55.]
- [11] 姜宛贝, 刘卫东. 中国经济空间格局演变及其CO₂排放效应[J]. *资源科学*, 2021, 43(4): 722-732. [Jiang W B, Liu W D. Effect of change of the spatial pattern of economic activities on CO₂ emissions in China[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 722-732.]
- [12] Asghari M. Does FDI promote MENA region's environment quality? Pollution halo or pollution haven hypothesis[J]. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, 2013, 1(6): 92-100.
- [13] Mahmood H, Alkhateeb T T, Alkhateeb Y, et al. Exports, imports, foreign direct investment and CO₂ emissions in north Africa: Spatial analysis[J]. *Energy Reports*, 2020, 6: 2403-2409.
- [14] Banerjee A V, Duflo E. Chapter 7 growth theory through the lens of development economics[J]. *Handbook of Economic Growth*, 2005, 1(5): 473-552.
- [15] 张德钢, 陆远权. 市场分割对能源效率的影响研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(1): 65-72. [Zhang D G, Lu Y Q. Impact of market segmentation on energy efficiency[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(1): 65-72.]
- [16] Chen X, Huang B. Club membership and transboundary pollution: Evidence from the European Union enlargement[J]. *Energy Economics*, 2016, 53: 230-237.
- [17] He W, Wang B, Danish, et al. Will regional economic integration influence carbon dioxide marginal abatement costs? Evidence from Chinese panel data[J]. *Energy Economics*, 2018, 74(8): 263-274.
- [18] 罗芳, 贺光胜. 区域一体化是否有利于减排: 基于长三角城市群扩容的实证检验[J]. *上海经济*, 2022, (2): 56-68. [Luo F, He G S. Is regional integration conducive to emissions reduction: Empirical test based on the expansion of the Yangtze River Delta urban agglomeration[J]. *Shanghai Economy*, 2022, (2): 56-68.]
- [19] Jotzo F, Pezzey J. Optimal intensity targets for greenhouse gas emissions trading under uncertainty[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2007, 38(2): 259-284.
- [20] Zhang K, Shao S, Fan S. Market integration and environmental quality: Evidence from the Yangtze River Delta region of China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2020, 261: 110208.
- [21] 曾刚, 王丰龙. 长三角区域城市一体化发展能力评价及其提升策略[J]. *改革*, 2018, (12): 103-111. [Zeng G, Wang F L. Evaluation and promotion strategies of urban integration development capability in the Yangtze River Delta region[J]. *Reform*, 2018, (12): 103-111.]
- [22] 徐现祥, 李郁, 王美今. 区域一体化、经济增长与政治晋升[J]. *经济学(季刊)*, 2007, 6(4): 1075-1096. [Xu X X, Li X, Wang M J. Regional integration, economic growth and political promotion[J]. *China Economic Quarterly*, 2007, 6(4): 1075-1096.]
- [23] 张可. 区域一体化、环境污染与社会福利[J]. *金融研究*, 2020, (12): 114-131. [Zhang K. Regional integration, environmental pollution and social welfare[J]. *Journal of Financial Research*, 2020, (12): 114-131.]
- [24] 于智涵, 方丹, 杨谨. 资源型经济转型试验区政策对碳排放的影响评估: 以山西省为例[J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1178-1192. [Yu Z H, Fang D, Yang J. Impact of the "National Comprehensive Reform Zone for Resource-Based Economy" policy on carbon

2022年7月

- emissions: A case study of Shanxi Province[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1178–1192.]
- [25] Yamazaki A. Jobs and climate policy: Evidence from British Columbia's revenue-neutral carbon tax[J]. *Journal of Environmental Economics & Management*, 2017, 83(5): 197–216.
- [26] 张学良, 李培鑫, 李丽霞. 政府合作、市场整合与城市群经济绩效: 基于长三角城市经济协调会的实证检验[J]. *经济学(季刊)*, 2017, 16(4): 1563–1582. [Zhang X L, Li P X, Li L X. Government cooperation, market integration and economic performance of city cluster: Evidence from the Yangtze River Delta urban economic coordination committee[J]. *China Economic Quarterly*, 2017, 16(4): 1563–1582.]
- [27] 王全忠, 彭长生. 城市群扩容与经济增长: 来自长三角的经验证据[J]. *经济经纬*, 2018, 35(5): 51–57. [Wang Q Z, Peng C S. Expansion of megalopolis groups and urban economic growth: Empirical evidence from the Yangtze River Delta[J]. *Economic Survey*, 2018, 35(5): 51–57.]
- [28] Han S. Identification in nonparametric models for dynamic treatment effects[J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 132–147.
- [29] 时鹏, 余劲. 风险预期、市民化感知及农户认知对易地扶贫搬迁农户宅基地退出的影响[J]. *资源科学*, 2021, 43(7): 1387–1402. [Shi P, Yu J. Impact of risk expectation, citizenization perception, and farmers' cognition on the relocated rural households' homestead withdrawal[J]. *Resources Science*, 2021, 43(7): 1387–1402.]
- [30] Chen J, Gao M, Cheng S, et al. County-level CO₂ emissions and sequestration in China during 1997–2017[J]. *Scientific Data*, 2020, DOI:10.1038/s41597-020-00736-3.
- [31] Heckman J. Sample selection bias as a specification error[J]. *Econometrica*, 1979, 47(1): 153–161.
- [32] Huang J, Yu Y, Ma C. Energy efficiency convergence in China: Catch-up, lock-in and regulatory uniformity[J]. *Environmental & Resource Economics*, 2018, 70(1):1–24.
- [33] 李浩, 黄繁华, 许亚云. 区域经济一体化促进了外资流入吗? 基于长三角城市群的实证分析[J]. *经济问题探索*, 2020, (10): 81–93. [Li H, Huang F H, Xu Y Y. Does regional economic integration promote FDI inflows? Empirical research based on the urban agglomeration of the Yangtze River Delta[J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2020, (10): 81–93.]
- [34] 刘逸, 张一帆, 黄凯旋, 等. 战略耦合影响下珠三角产业升级模式及测度[J]. *地理研究*, 2022, 41(4): 1107–1121. [Liu Y, Zhang Y F, Huang K X, et al. Measuring impact of strategic coupling towards the patterns of industrial upgrading in the Pearl River Delta[J]. *Geographical Research*, 2022, 41(4): 1107–1121.]
- [35] 付晓宁, 孙伟, 闫东升. 长三角专利转移网络的时空演化研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(10): 2347–2359. [Fu X N, Sun W, Yan D S. Spatial-temporal evolution of the Yangtze River Delta patent transfer network[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(10): 2347–2359.]
- [36] 周迪, 罗东权. 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*, 2021, 43(4): 693–709. [Zhou D, Luo D Q. Green taxation, industrial structure transformation and carbon emissions reduction[J]. *Resources Science*, 2021, 43(4): 693–709.]

Impact of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity and mechanism: An empirical study based on the Yangtze River Delta

YAN Dongsheng¹, SUN Wei²

(1. Public Administration School, Hohai University, Nanjing 211100, China; 2. Nanjing Institute of Geography and Limnology, Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, CAS, Nanjing 210008, China)

Abstract: In the process of achieving peak carbon emissions by 2030 and the carbon neutrality targets by 2060 in China, the Yangtze River Delta urban agglomeration is taking the lead in realizing low-carbon development, which is of great practical significance for supporting and leading the high-quality development of China. In the context of the further promotion of urban agglomeration development strategy, will the gradual expansion of the integrated region of the Yangtze River Delta, which has reduced administrative barriers and optimized the allocation of

factors, have any impact on the urban carbon emission intensity? Based on the prefecture level panel data of the Yangtze River Delta, this study regarded the expansion of the Yangtze River Delta Urban Economic Coordination Committee as a quasi-natural experiment and used the difference-in-differences model to estimate the impacts of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity from multiple perspectives. Furthermore, we identified the mechanisms by using the mediation effect model and moderation effect model. The results show that regional integration area enlargement significantly reduced urban carbon emission intensity, and after considering a series of robustness tests such as parallel trends, endogeneity, external shocks, and differentiated carbon emission measurement method the results were still significant. Further research revealed that there were multiple heterogeneous impacts of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity. For example, the longer the integration into the urban agglomeration, the more significant the reduction of carbon emission intensity; Regionally, there were significant negative impacts of cities in Jiangsu and Anhui Provinces, and a non-significant positive impact of cities in Zhejiang Province; Compared to low hierarchical level cities, regional integration area enlargement had a greater impact on the carbon emission intensity reduction of cities of high hierarchical level. Mechanism verification showed that regional integration area enlargement reduced urban carbon emission intensity through the strengthening of market integration, the upgrading of the industrial structure, the promotion of green innovation technology, and the deepening of urban collaborative governance. In addition, the promotion of marketization degree and industrial structure upgrading could amplify the positive impact of the regional integration area enlargement on the reduction of urban carbon emission intensity. This study verified the feasibility of promoting green development of urban agglomeration through regional integration, and from the perspective of better achieving the goal of high-quality integration in the Yangtze River Delta, the formulation and implementation of relevant policies aimed at promoting coordinated development should adapt to local conditions.

Key words: regional integration area enlargement; carbon emission intensity; difference-in-differences model; impact; mechanism; the Yangtze River Delta