
长三角城市群的经济集聚、技术进步与碳排放强度

——基于空间计量和中介效应的实证研究

吕康娟 何云雪¹

(上海大学 悉尼工商学院, 上海 201800)

【摘要】: 以长三角 26 个城市的面板数据为样本, 运用空间计量模型研究经济集聚对碳排放强度的影响, 并采用中介效应模型检验技术进步能否作为经济集聚影响碳排放强度的中介变量, 稳健性检验保证结果可靠性。结果表明: (1) 长三角地区的碳排放强度具有显著的空间正向溢出效应, 经济集聚与碳排放强度之间呈显著的倒“U”型曲线关系。(2) 长三角城市群的技术水平能在地区之间相互溢出, 经济集聚可以促进技术进步。(3) 经济集聚不仅对碳排放强度产生先促进后抑制的直接影响, 又能通过技术进步对碳排放强度发挥间接的抑制效应, 技术进步具有显著的中介效应。

【关键词】: 经济集聚 技术进步 碳排放强度 空间计量 中介效应

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)01-013-08

在全球气候变暖以及国际社会减缓二氧化碳排放的背景下, 我国面临着巨大的二氧化碳减排压力。2018 年我国碳排放总量达 100 亿吨, 已成为全球最大的二氧化碳排放国。我国“十一五”“十二五”“十三五”规划相继将节能减排、能源强度、碳排放强度作为约束性指标列入规划。此外, 我国政府设定了 2030 年的二氧化碳排放达到峰值、碳排放强度比 2005 年下降 60%~65% 的目标。因此, 降低碳排放强度对我国来说刻不容缓, 需要从各个方面采取措施。

伴随着城镇化, 人口经济活动在空间上越来越集中, 经济集聚现象普遍发生。一方面, 经济集聚具有一定的生产规模效应, 增加产出和能源消耗, 从而使得碳排放强度上升。另一方面, 经济集聚具有知识、技术的溢出效应, 在一定程度上有助于节能环保技术的进步, 与此同时能够通过共享、学习和匹配机制降低减排成本, 从而使得碳排放强度下降。

长三角城市群经济发展迅速, 是伴随着城市化与长三角一体化发展的, 其集聚程度与技术水平不断提升。在首届进口博览会开幕式上, 习近平总书记提出将长三角区域一体化上升为国家战略。长三角地区容纳了我国最优质的资本、人力、教育、科技、医疗、文化等资源, 但同时其能源需求不断增加, 污染与碳排放问题突出。因此, 研究我国长三角地区经济集聚与碳排放之间的关系具有巨大的战略意义。

本文通过对长三角城市群的经济空间集聚与碳排放之间的关系进行研究, 试图回答以下问题: 第一, 经济集聚如何影响碳排放强度? 第二, 经济集聚对碳排放强度的影响是通过何种路径进行传导的? 技术进步是一种有效的传导途径吗? 旨在为今后长三角地区碳减排工作提供理论指导与实践支持。

作者简介: 吕康娟, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为城市经济与空间经济。E-mail: lvkangjuan@shu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“碳排放的产业和空间转移网络结构与效率评价研究”(71774108)

1 文献综述

1.1 经济集聚对环境污染的影响

现有文献对集聚与环境污染之间关系的研究主要有三种观点。首先,有些学者认为,经济集聚具有知识、技术溢出效应以及专业化分工和成本节约等效应,能够降低治污成本以及促进环保知识和技术的共享,从而能够改善环境污染。其中,徐瑞^[1]认为产业集聚有利于降低城市环境污染程度。Glaeser & Kahn^[2]指出人口密度水平高的地区碳排放水平较低。周锐波和石思文^[3]认为产业集聚能通过知识共享提高企业的管理水平,从而减少生态环境污染。汪聪聪等^[4]研究发现经济集聚能够有效地抑制雾霾污染。其次,有些学者认为,经济集聚对环境具有负外部性,一是经济活动的集中扩大了产出规模,同时资源需求量和污染排放也随之增加;二是过度集聚会提高土地、能源等要素的使用成本,产生“拥挤效应”,造成环境恶化^[5]。刘满凤和谢晗进^[6]、Liu等^[7]和Cheng^[8]分别认为区域内经济集聚、产业集聚、制造业集聚会加速环境污染。袁华锡等^[9]指出集聚不利于人均二氧化碳排放量的降低。最后,有些学者认为经济集聚对环境的影响是非线性的,最终作用效果取决于集聚正负外部性的角力。原毅军和谢荣辉^[10]、张可^[11]研究发现集聚与环境污染呈倒“U”型关系,李炫榆等^[12]认为集聚与二氧化碳排放存在倒“U”型曲线关系。邵帅等^[13]证实经济集聚与碳排放强度、人均碳排放之间均存在典型的倒“N”型关系。

1.2 经济集聚对技术进步的影响

集聚发挥共享、匹配和学习的机制对技术进步产生积极作用^[14]。经济活动在空间上的邻近使企业共享中介、劳动力市场等成为可能,能共担技术创新风险和收益^[15]。此外,经济活动从分散走向空间集中的过程中,企业之间的协同网络效应与知识外溢有助于技术进步^[16-17]。彭向和蒋传海^[18]从集聚的外部性出发,指出知识溢出受到空间距离的限制,而集聚正是通过促进地区间知识的溢出来提升技术水平。宛群超和袁凌^[19]、Banerjee & Roy^[20]分别指出高新技术产业集聚、人力资本集聚能提升区域创新效率。另外,有些学者认为,经济集聚与技术进步之间并非简单的线性关系。倪进峰和李华^[21]利用校正后的DMS/OLS夜间灯光数据,研究认为技术水平受到经济集聚的影响呈现先降低后上升的趋势,两者之间为“U”型关系。

1.3 技术进步对环境污染的影响

技术进步可以通过能源节约、产业升级等效应减少能源消耗与环境污染^[22]。Brunnermeier & Cohen^[23]认为绿色技术的进步能够减轻污染减排压力,有助于实现能源节约目标。胡绪华等^[24]也发现技术进步能够明显降低污染排放。卢娜等^[25]指出突破性低碳技术进步对减少碳排放具有积极作用。有些学者认为技术进步与环境污染之间存在非线性的关系,当技术水平较低时无法减少环境污染,跨过一定门槛后才能减缓环境污染^[22]。王道平等^[26]发现低碳技术创新对碳排放的作用受到收入水平的影响,只有在高收入地区才具有显著的碳减排作用。

综上所述,很少有学者把经济集聚、技术进步与碳排放强度纳入同一分析框架之下,研究经济集聚对碳排放强度的影响,以及经济集聚能否通过技术进步来影响碳排放强度。本文创新性地将经济集聚、技术进步与碳排放强度纳入完整理论框架之下,并选取我国经济集聚特征明显的长三角城市群作为实证对象,更有力地说明经济集聚、技术进步与碳排放强度之间的关系。

2 模型设定及数据说明

2.1 计量模型设定

本文旨在探究长三角城市群的经济集聚对碳排放强度的影响,鉴于两者之间可能存在非线性关系,因此,在模型中引入了经济集聚的二次项,设定回归基准模型如下:

$$\begin{aligned}
CE_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 AGG_{it} + \alpha_2 (AGG_{it})^2 + \alpha_3 TECH_{it} + \alpha_4 DESH_{it} + \\
& \alpha_5 UR_{it} + \alpha_6 ROAD_{it} + \alpha_7 EXIM_{it} + \alpha_8 GOV_{it} + \\
& \alpha_9 REG_{it} + u_i + \varepsilon_{it}
\end{aligned} \quad (1)$$

式中: i 表示城市, t 表示时间年份, 被解释变量 CE 表示碳排放强度, 核心解释变量 AGG 表示经济集聚, 中介变量 $TECH$ 表示技术进步, 控制变量 $DESH$ 、 UR 、 $ROAD$ 、 $EXIM$ 、 GOV 、 REG 分别表示研发投入、城镇化水平、交通设施、对外开放、政府干预、环境规制, u_i 表示地区固定效应, ε_{it} 表示随机误差项, $\alpha_0 \sim \alpha_9$ 为回归系数。

碳排放强度具有空间相关性^[27], 本地区的碳排放强度会受到其他地区的影响。因此, 本文运用空间滞后模型与空间误差模型来进行研究, 并从中选择最合适的模型。此外, 经济集聚与碳排放强度之间可能存在反向因果导致的内生性, 经济集聚能够对碳排放强度产生影响, 反之, 碳排放强度低和环境好的地区往往经济活动更加集中。因此, 将经济集聚水平的滞后一期作为核心解释变量, 具体如下:

$$\begin{aligned}
CE_{it} = & \beta_0 + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} CE_{jt} + \beta_1 AGG_{i,t-1} + \beta_2 (AGG_{i,t-1})^2 + \\
& \beta_3 TECH_{it} + \beta_4 DESH_{it} + \beta_5 UR_{it} + \beta_6 ROAD_{it} + \\
& \beta_7 EXIM_{it} + \beta_8 GOV_{it} + \beta_9 REG_{it} + v_i + \pi_{it}
\end{aligned} \quad (2)$$

式中: 变量含义与模型 (1) 相同, ρ 为空间自回归系数, $\beta_0 \sim \beta_9$ 为回归系数, v_i 表示地区固定效应, π_{it} 表示随机误差项。 w_{ij} 为空间权重矩阵的元素, 本文采用 0-1 空间权重矩阵来进行常规估计, 利用地理空间权重矩阵来进行稳健性检验。

首先, 采用 Queen 邻接规则的 0-1 空间矩阵定义如下:

$$w_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{区域 } i \text{ 和 } j \text{ 无共同的顶点和边} \\ 1 & \text{区域 } i \text{ 和 } j \text{ 有共同的顶点或边} \end{cases} \quad (3)$$

其次, 用来进行稳健性检验的地理空间权重矩阵的各元素为地理距离的倒数, 定义如下:

$$w_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (4)$$

式中: d_{ij} 为区域 i 和区域 j 中心点之间的地理距离。

2.2 中介效应

为进一步探讨集聚能否通过技术进步对碳排放强度产生间接影响, 本文借鉴 Baron & Kenny^[28] 所提出的逐步法对技术进步的中介效应进行验证。为了直观描述中介效应的验证程序, 先把中介效应模型简化为式 (5)~(7)。中介效应的检验步骤如下: 第一步, 考察式 (5) 中经济集聚对碳排放强度的总效应, 测度系数 c 是否显著; 第二步, 考察式 (6)、式 (7) 中经济集聚对技术进步的作用效果与技术进步对碳排放强度的影响, 测度系数 a 和 b 是否显著, 若均显著则证明存在中介效应; 第三步, 考察式 (7) 中经济集聚对碳排放强度的直接效应, 测度系数 $c\beta$ 是否显著, 若显著则证明存在不完全中介效应, 若不显著则说明具有完全中介效应。

$$CE=cAGG+e_1 \quad (5)$$

$$TECH=cAGG+e_2 \quad (6)$$

$$CE=c'AGG+bTECH+e_3 \quad (7)$$

具体而言,本文利用式(2)、式(8)以及式(9)来验证技术进步是否具有中介效应。

$$\begin{aligned} TECH_{it} = & \gamma_0 + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} TECH_{jt} + \gamma_1 AGG_{i,t-1} + \gamma_2 DESH_{it} + \\ & \gamma_3 UR_{it} + \gamma_4 ROAD_{it} + \gamma_5 EXIM_{it} + \\ & \gamma_6 GOV_{it} + \gamma_7 REG_{it} + \omega_i + \zeta_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

式中: ρ 为空间自回归系数, $\gamma_0 \sim \gamma_7$ 为回归系数, ω_i 表示地区固定效应, ζ_{it} 表示随机误差项, w_{ij} 为空间权重矩阵的元素, 其他变量与模型(1)含义相同。

$$\begin{aligned} CE_{it} = & \delta_0 + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} CE_{jt} + \delta_1 AGG_{i,t-1} + \delta_2 (AGG_{i,t-1})^2 + \\ & \delta_3 DESH_{it} + \delta_4 UR_{it} + \delta_5 ROAD_{it} + \delta_6 EXIM_{it} + \\ & \delta_7 GOV_{it} + \delta_8 REG_{it} + \sigma_i + \xi_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

式中: ρ 为空间自回归系数, $\delta_0 \sim \delta_8$ 为回归系数, σ_i 表示地区固定效应, ξ_{it} 表示随机误差项, w_{ij} 为空间权重矩阵的元素, 其他变量与模型(1)含义相同。

2.3 数据说明与变量选择

本文收集了2006—2016年长三角26个城市的相关统计数据,原始数据源于《中国城市统计年鉴》、CEIC数据库以及国家知识产权局。其中,所有与时间有关的经济变量均折算成2006年不变价。

2.3.1 被解释变量:碳排放强度(CE)

本文将其定义为一个地区在一定时期内的二氧化碳排放量与GDP的比值,并选取原煤、洗精煤、原油、汽油等17种化石燃料来计算各地级城市的碳排放量。

$$C = \sum_i C_i = \sum_i AD_i \times NCV_i \times EF_i \times O_i \quad i \in [1,17] \quad (10)$$

式中: C_i 代表第*i*种化石能源燃烧所排放的二氧化碳总量, AD_i 为终端消费量, NCV_i 为净发热值, EF_i 为排放系数, O_i 为氧化因子。本文借鉴Shan等^[29]所用的碳排放估算系数,见表1。

考虑到很少有地级市编制能源平衡表,但城市与省份之间是后者包含前者的关系^[29]。因此,本文参考Shan等^[29]和景侨楠等^[30]

的做法, 利用分配系数将省级能源消费量分配到各城市:

$$AD_{city} = AD_{province} \times P \quad (11)$$

表 1 估算二氧化碳排放量所用的参考系数

17 种化石燃料的名称	NCV	EF (t/TJ)
原煤	0.21	96.51
洗精煤	0.26	96.51
其他洗煤	0.15	96.51
型煤	0.18	96.51
焦炭	0.28	115.07
焦炉煤气	1.61	78.80
其他煤气	0.83	78.80
其他焦化产品	0.28	100.64
原油	0.43	73.63
汽油	0.44	69.30
煤油	0.44	71.87
柴油	0.43	74.07
燃料油	0.43	77.37
液化石油气	0.51	63.07
炼厂干气	0.47	73.33
其他石油制品	0.43	74.07
天然气	3.89	56.17

表 2 终端消费量的分配指标

终端消费部门	分配指标	单位
农林牧渔业	农林牧渔业产值	亿元
工业	工业产值	亿元

建筑业	建筑业产值	亿元
交通运输、仓储和邮政业	客运量、货运量、邮政业务总量	万人、万吨、万元
批发、零售和住宿、餐饮业	批发零售总额	亿元
其他	服务业产值	亿元
生活消费	人口	万人

式中: AD_{city} 代表城市层级的能源终端消费量(万 t 或亿 m^3); $AD_{province}$ 代表该城市所在省份的能源终端消费量(万 t 或亿 m^3), P 代表对应的分配系数。如表 2 所示, 能源平衡表中的“终端消费”使用各个部门相应的产出作为分配指标, “生活消费”使用人口作为指标^[29], 由于交通运输业等数据的缺乏, 参考景侨楠等^[30]的做法, 采用客运量与货运量作为分配系数, 邮政业务总量为仓储和邮政业的系数, 并对这 3 项指标加权平均作为交通运输、仓储和邮政业的分配指标, 采用批发零售总额作为批发、零售和住宿、餐饮业的分配指标。

2.3.2 核心解释变量: 经济集聚 (AGG)

经济集聚 (AGG) 反映了经济活动在某一区域内的集中现象, 现有测度指标主要包括区位熵、Gini 系数、EG 指数、就业密度等。本文参考 Brülhart & Mathys^[31]、林伯强和谭睿鹏^[32]的做法, 选用单位面积就业人数来衡量经济集聚程度。一方面, 经济集聚使得经济产出具有规模效应, 生产规模扩张加速了能源的消耗, 产生“拥挤效应”, 不利于降低碳排放强度; 另一方面, 经济集聚具有共享、学习和匹配机制, 集聚空间内企业能够共享减排治污设施、环保技术与信息以及高级的劳动力市场, 并且集聚发挥技术溢出与扩散作用, 企业可以通过正式或非正式的交流习得绿色生产与治污技术, 降低单个企业的减排成本, 环境治理与减排实现了规模效应, 有助于抑制碳排放强度。值得注意的是, 经济活动的集中度提升会提高对环保减排的需求, 促进区域内专业化分工, 衍生出环保防污第三方机构, 并为政府的集中管控提供了便利, 有助于抑制二氧化碳等污染物的排放。综上, 经济集聚对碳排放强度的影响是非线性的, 所以在模型中还加入了就业密度的二次项。

2.3.3 中介变量: 技术进步 (TECH)

本文用每 10 万人发明专利申请数量来刻画技术进步, 与专利授权数量相比, 专利申请数量没有时间滞后性, 更能客观地反映技术进步水平。首先, 技术进步能够改进生产工艺, 提高产出并实现绿色、清洁生产; 同时, 节能技术具有能源节约效应, 可以提升能源的利用效率, 减少能源消耗, 新能源的开发技术进步会降低太阳能、风能等清洁能源的生产成本与市场价格, 提高新能源的使用率, 减少污染性能源的使用, 降低生产与能源使用过程中二氧化碳的排放。其次, 技术进步有助于提升污染处理效率, 实现污染排放物的集中处理与高效利用, 降低碳排放量。因此, 预期技术进步的符号为负。

2.3.4 控制变量

研发投入 (DESH), 科技支出占地方预算支出的比重可能会通过影响地区清洁低碳研发活动对碳排放强度产生影响。城镇化水平 (UR), 随着城镇人口占总人口的比重提高, 对能源的需求与利用会随之增加, 从而对碳排放强度产生影响。交通设施 (ROAD), 采用人均拥有道路面积的自然对数来表示, 发达的交通为地区内部与地区之间的运输提供了便利, 同时导致了对汽油等能源的消耗, 进而影响到二氧化碳排放量。对外开放 (EXIM), 一个地区的进出口贸易总额占 GDP 的比重会对碳排放强度产生影响, 原因在于对外开放过程中会吸引外资企业投资, 在流入国环境规制强度较低时, 会使污染密集型企业入驻, 增加环境污染与碳排放, 引发“污染天堂”效应。其中, 对进出口贸易总额用人民币年平均汇率进行了折算。政府干预 (GOV), 政府财政支出占 GDP 的比重越大表明政府干预程度越强。环境规制 (REG), 工业固体废物综合利用率越高表明环境规制程度越强。表 3 给出了相关变量定义与描述性

统计结果。

3 实证结果及分析

3.1 普通面板模型

为了进行对比,首先利用普通面板模型探究经济集聚、技术进步与碳排放强度之间的关系。首先进行模型检验(见表4),最终选择固定效应模型。

表5报告了普通面板模型的结果,固定效应模型显示碳排放强度随着经济集聚变化呈现先上升后下降的变动特征,技术进步能够显著抑制碳排放强度。

3.2 碳排放强度空间相关性

表3 各变量说明及描述性统计结果

变量名称	计算方法	单位	均值	标准差	最小值	最大值
碳排放强度(CE)	单位产出的碳排放量	吨/万元	1.125	0.709	0.326	5.304
经济集聚(AGG)	单位面积的就业人数	千人/平方千米	0.413	0.381	0.008	2.159
技术进步(TECH)	每10万人发明专利申请数量	个/10万人	0.957	1.227	0.003	6.247
研发投入(DESH)	科学支出占预算支出的比重	—	0.032	0.019	0.001	0.126
城镇化水平(UR)	城镇人口占总人口的比重	—	0.565	0.165	0.170	0.896
交通设施(ROAD)	人均拥有道路面积的自然对数	—	1.630	0.707	-0.362	3.095
对外开放(EXIM)	进出口总额占GDP的比重	—	0.481	0.433	0.031	2.802
政府干预(GOV)	财政支出占GDP的比重	—	0.126	0.049	0.057	0.283
环境规制(REG)	工业固体废物综合利用率	—	0.926	0.079	0.590	1.000

表4 普通面板模型检验结果

检验	统计量	P值
F检验	47.26***	0.000
LM检验	316.27***	0.000
Hausman检验	87.38***	0.000

表 5 普通面板模型估计结果

解释变量	模型 1	模型 2	模型 3
	面板混合回归模型	随机效应模型	固定效应模型
AGG	-3.803***(-3.47)	-0.264(-0.60)	3.811*** (5.91)
(AGG) ²	1.969*** (3.70)	0.018(0.10)	-1.130***(-5.86)
TECH	-0.118*(-1.76)	-0.080***(-3.19)	-0.100***(-4.53)
DESH	-5.204(-1.25)	-10.725***(-7.21)	-11.484***(-9.00)
UR	0.244(0.38)	-0.143(-0.64)	-0.161(-0.83)
ROAD	0.277*(1.75)	0.192**(2.48)	0.303*** (4.15)
EXIM	0.353*(2.01)	0.148(1.25)	0.549*** (4.16)
GOV	-5.430**(-2.12)	-6.475***(-6.17)	-9.229***(-8.82)
REG	-1.294(-1.64)	-1.193***(-3.75)	-0.822***(-2.99)
常数项	3.476*** (4.21)	3.263*** (9.30)	1.642*** (4.42)
R ²	0.526	0.662	0.719

首先检验碳排放强度在空间上是否具有相关性,本文选用全局莫兰指数对碳排放强度在整个地区的空间依赖性进行验证。全局莫兰指数的表达式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

式中:n 代表地区总数, w_{ij} 代表空间权重矩阵中的元素, x_i 代表 i 地区的碳排放强度, \bar{x} 代表所有地区碳排放强度的均值。本文基于 0-1 空间矩阵计算 2006—2016 年长三角 26 个城市碳排放强度的全局莫兰指数(见表 6)。可以看出,碳排放强度的莫兰指数均显著为正,表示长三角城市群的碳排放强度具有显著的空间正向相关性,并随时间推移在 0.435~0.594 之间变化,经历了“升、降、升、降”四个阶段,关键年份分别为 2006 年、2009 年、2011 年、2014 年、2016 年。

表 6 碳排放强度全局莫兰指数

年份	全局莫兰指数	z 值
2006	0.435***	4.04

2007	0.455***	4.06
2008	0.477***	4.11
2009	0.532***	4.41
2010	0.527***	4.49
2011	0.507***	4.33
2012	0.566***	4.76
2013	0.560***	4.65
2014	0.594***	4.89
2015	0.546***	4.59
2016	0.522***	4.41

3.3 空间计量模型

为选择合适的空间计量模型,进行基于 OLS 估计结果的残差空间相关性检验,表 7 显示,LM-lag 与 LM-error 均显著,但 Robust LM-lag 显著而 Robust LM-error 却不显著,因此选择空间自回归模型(SAR)进行估计。另外,Hausman 检验结果显示对应的统计值为 21.35(P=0.011),因此在 5%的显著性水平下应该拒绝原假设。本文最终选择空间自回归固定模型。

表 7 基于 OLS 估计结果的残差空间相关性检验

指标	统计数值	P 值
LM-lag	159.738***	0.000
Robust LM-lag	75.420***	0.000
LM-error	85.015***	0.000
Robust LM-error	0.697	0.404

为了方便对比,表 8 同时报告了空间误差模型(SEM)与空间自回归模型(SAR)的估计结果。在模型 6 和模型 7 中,碳排放强度的空间自回归系数显著为正,表明本地区碳排放强度会受到邻近地区碳排放强度的正向促进作用。模型 6 的结果表明,经济集聚的系数为正,但结果并不显著,说明经济集聚与碳排放强度之间可能并非是简单线性的关系,而技术进步的系数为-0.034,表明技术进步有助于降低碳排放强度。模型 7 的结果显示,经济集聚的一次项、二次项系数分别为 3.259、-0.983,表明经济集聚与碳排放强度之间存在显著的倒“U”型曲线关系,临界值为 1.658 千人/平方千米。首先,当经济活动的集中度低于临界值时,碳排放强度会随着经济集聚的提高而上升。原因在于此阶段知识共享和技术扩散等经济集聚的正外部性没有充分发挥作用,集聚区内的污染治理远未实现规模报酬递增,同时能源消耗加速致使碳排放增加。当经济集聚超过临界值时,集聚的提高有助于降低碳排放强度。这时,空间内经济活动的集中度进一步提高,知识与技术等各类溢出效应、环境治理的规模经济效应发挥显著作用,企业集中

共享节能环保设施、清洁生产与环保低碳技术,降低了企业的研发成本与减排的单位成本,节能减排专业化分工催生出第三方防治企业。集聚空间内不同企业的激烈竞争使得只有高效绿色的企业才能生存下来,进而有助于降低地区的碳排放强度。长三角 26 个城市,除了上海的经济集聚程度超过临界值,剩余的 25 个城市均处于第一个阶段,也就是说,大多数城市的经济集聚程度不能充分发挥集聚的环境正外部性。因此,长三角一体化程度有待进一步提高。

现在对模型 7 的中介变量与控制变量实证结果进行分析。技术进步与碳排放强度之间具有显著的负相关关系,说明技术进步是抑制碳排放强度的重要力量。究其原因,技术进步具有清洁生产、能源节约以及能源转换等效应,可以从源头上减少碳排放量;另外,技术进步使得改进污染处理方式成为可能,二氧化碳等污染物的处理效率变得更加高效,因而对碳排放强度产生一定的抑制效应。科学研发投入的系数显著为负,这是由于研发投入能够为企业进行绿色科研创新活动提供支持,同时向市场释放绿色创新的积极信号,促进地区节能减排技术的进步,从而能够降低碳排放强度。城镇化水平的系数为正,但结果并不显著。交通设施的系数显著为正,发达的交通网络给通行带来方便的同时,也增加了能源消耗与汽车尾气的排放,不利于节能减排。对外开放与碳排放强度之间呈现显著的正相关关系,说明对外开放对碳排放强度有增强作用,也证实了“污染天堂”的存在。政府干预有助于降低碳排放,部分环保低碳设施具有非排他性,政府的支持能够在一定程度上缓解市场失灵,对节能设施的建设以及新能源的开发利用做出贡献,有利于抑制碳排放强度。环境管制的估计系数显著为负,表明环境规制有助于减少二氧化碳的排放。

3.4 技术进步中介效应的检验

利用中介效应模型,探讨技术进步能否在经济集聚对碳排放强度产生影响的过程中起到中介作用。根据前文提出的中介效应检验步骤,模型 9 的估计结果表明经济集聚对碳排放强度呈显著的先促进后抑制的总效应;模型 8 的估计结果表明经济集聚对技术进步有显著的促进作用,模型 7 的估计结果说明技术进步对碳排放强度有显著的抑制作用,则可以说明存在中介效应;而模型 7 中经济集聚的系数仍显著,则可证实技术进步具有不完全中介效应。

具体分析,模型 8 中,技术进步的空间自回归系数为 0.575,说明技术进步具有显著的正向空间溢出效应,地区之间能够相互学习技术。经济集聚的系数为 1.129,说明空间内经济活动的集中能够促进技术进步。一方面是因为紧凑的空间距离和密集的社会关系网络提高了人与人之间的接触频率,更重要的是降低了信息交流成本,促成了信息的有效交换与知识的积累,从而催生出新的知识与技术;另一方面是因为中心区域具有集聚的吸引力,新兴企业不断进入与发展,增加了新技术供给,同时通过集聚的技术外溢使其他企业能够习得新技术,促进区域整体的技术进步。简而言之,经济集聚是技术进步的重要源泉。模型 9 的估计结果显示,经济集聚与碳排放强度之间呈倒“U”型关系,临界值为 1.596 千人/平方千米,经济集聚对碳排放强度的总效应为直接效应与经济集聚通过影响技术进步影响碳排放强度的间接效应之和,技术进步对碳排放有抑制作用,总效应与直接效应相比,经济集聚对碳排放的抑制会有所提前,再次验证了技术进步的中介作用。

表 8 经济集聚与技术进步对碳排放强度的影响

变量	SEM		SAR	
	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7
λ	0.355*** (4.38)	0.333*** (4.23)		
$W \cdot CE$			0.391*** (6.56)	0.356*** (6.05)
L. AGG	0.185 (0.77)	3.592*** (6.01)	0.219 (0.95)	3.259*** (5.73)
$(L. AGG)^2$		-1.089*** (-6.16)		-0.983*** (-5.80)
TECH	-0.043* (-1.74)	-0.081*** (-3.44)	-0.034* (-1.65)	-0.062*** (-3.07)

DESH	-9.115***(-6.30)	-10.361***(-7.60)	-7.217***(-5.77)	-8.512***(-7.00)
UR	0.089(0.41)	-0.119(-0.58)	0.291*(1.67)	0.032(0.19)
ROAD	0.294*** (4.03)	0.294*** (4.29)	0.296*** (4.43)	0.291*** (4.58)
EXIM	0.452*** (3.69)	0.601*** (5.10)	0.433*** (3.65)	0.561*** (4.88)
GOV	-9.862***(-9.19)	-9.064***(-9.02)	-7.918***(-7.81)	-7.194***(-7.40)
REG	-1.271***(-4.88)	-1.049***(-4.25)	-0.995***(-3.96)	-0.856***(-3.57)
log-likelihood	47.887	57.281	48.936	64.985
R ²	0.675	0.716	0.692	0.726

表 9 技术进步的中介效应检验

变量	模型 8	模型 9
	TECH	CE
W • CE		0.408*** (7.34)
W • TECH	0.575*** (12.74)	
L. AGG	1.129** (2.10)	2.722*** (4.98)
(L. AGG) ²		-0.853*** (-5.15)
DESH	16.097*** (6.25)	-9.079*** (-7.49)
UR	-0.028 (-0.07)	0.084 (0.49)
ROAD	0.025 (0.15)	0.257*** (4.06)
EXIM	-2.051*** (-7.99)	0.682*** (6.25)
GOV	-4.220* (-1.86)	-7.101*** (-7.25)
REG	-0.809 (-1.36)	-0.863*** (-3.56)
log-likelihood	-204.139	60.275
R ²	0.600	0.703

4 稳健性检验

为保证研究结果的稳健性,将0-1权重矩阵替换为地理权重矩阵,就经济集聚和技术进步对碳排放强度的影响进行实证研究。如表 10 所示,模型 10 和模型 12 的结果显示,在地理权重矩阵下,经济集聚程度与碳排放强度之间呈显著的倒“U”型曲线关系,

与前文结论一致,说明曲线关系是稳定的。模型 11 的结果表明经济集聚能够显著提升技术进步水平;模型 12 中经济集聚和技术进步回归系数均显著,说明存在不完全中介效应,经济集聚不仅对碳排放强度有直接影响,还可以通过技术进步对碳排放强度产生间接作用。综上,经济集聚与碳排放强度之间的倒“U”型关系以及技术进步的中介效应的结果是十分稳健的。

5 结论及建议

5.1 结论

本文选取 2006—2016 年长三角地区 26 个城市的面板数据,采用空间计量模型分析了长三角地区经济集聚与技术进步对碳排放强度的影响,并检验了技术进步是否能作为经济集聚影响碳排放强度的中介变量,最后利用稳健性检验证实结果的可靠性。本文的结论如下:

表 10 稳健性检验结果

变量	模型 10	模型 11	模型 12
	CE	TECH	CE
W • CE	0.683*** (9.47)		0.624*** (7.48)
W • TECH		0.764*** (16.86)	
L. AGG	3.414*** (6.34)	1.250** (2.48)	3.768*** (6.78)
(L. AGG) ²	-0.998*** (-6.13)		-1.086*** (-6.53)
TECH			-0.048** (-2.39)
DESH	-8.799*** (-7.63)	13.576*** (5.55)	-8.334*** (-7.07)
UR	0.374** (2.14)	-0.411 (-1.07)	0.311* (1.75)
ROAD	0.351*** (5.56)	-0.136 (-0.89)	0.370*** (5.82)
EXIM	0.678*** (6.32)	-1.904*** (-7.84)	0.583*** (5.13)
GOV	-6.288*** (-6.49)	-6.678*** (-3.09)	-6.403*** (-6.55)
REG	-0.635*** (-2.65)	-1.230** (-2.19)	-0.650*** (-2.73)
log-likelihood	64.929	-182.967	67.808
R ²	0.603	0.553	0.658

(1)我国长三角城市群碳排放强度的空间溢出效应显著为正,经济集聚与碳排放强度之间呈现出显著的倒“U”型曲线关系。当集聚水平超过临界值后,经济集聚的环境正外部性远大于其产生的负外部性,有助于降低碳减排的单位成本,进而能够有效抑制碳排放强度。长三角 26 个城市,上海的集聚程度已经突破临界点,其他城市的集聚程度尚处于倒“U”型曲线的左侧,长三角城市群整体经济集聚的环境正外部性还未充分发挥。

(2)我国长三角城市群的技术进步有助于降低碳排放强度,主要从源头控制、能源节约、能源转换以及污染物处理四种途径发挥作用。其中,本地区的技术进步会受到邻近地区技术水平的正向促进作用。此外,经济集聚是提升技术水平的关键力量,集聚不仅可以降低交流成本,也利于技术和知识的外溢,同时吸引新企业的进入,促进新技术的产生与积累。

(3)长三角地区的经济集聚对碳排放强度的影响机制存在直接和间接两种作用机理。一方面,经济集聚的环境正负外部性对碳排放强度产生直接影响;另一方面,经济集聚能够通过提升技术水平对碳排放强度产生间接作用,其中技术进步充当了关键的中介变量。

(4)增加研发投入、合理进行政府干预、加强环境规制都可以有效降低碳排放强度。而发达的道路交通设施会提高碳排放强度,并且“污染天堂”假说在我国长三角地区得到验证,对外开放程度越高,越不利于抑制二氧化碳的排放。

5.2 政策建议

本文对现实的启示在于:(1)应继续加强长三角一体化水平。合理设置各城市的经济集聚规模,优化城市功能布局,有效发挥经济集聚的规模经济、知识溢出以及共享设施等效应,加快突破经济集聚发挥环境正外部性的临界值,实现绿色生产、节能减排以及可持续发展。同时依靠上海等中心城市的辐射带动作用,发展以南京、杭州、合肥为中心的城市圈,依靠集聚效应有效抑制二氧化碳的排放。(2)加大研发投入,完善专利保护制度,提高对企业技术创新的资金支持,为企业研发实践活动提供良好的外部条件,以提升企业技术创新的积极性,进而促进节能环保技术的进步。同时利用经济集聚的共享、学习与匹配机制,通过技术的扩散与溢出效应,不断提升清洁生产、节能减排、污染治理、新能源利用等环保低碳技术水平,充分发挥技术进步的中介作用,依靠技术进步降低碳排放强度,实现技术进步与碳减排的双赢。(3)加强环境规制强度,并在引进外资时设立“门槛”。制定严格的碳排放标准和环保政策,激发环境规制的“创新补偿”效应,倒逼集聚区域内的企业进行技术研发与绿色低碳生产,激励企业使用新能源与新材料,降低碳排放强度。

参考文献:

[1]徐瑞.产业集聚对城市环境污染的影响[J].城市问题,2019(11):52-58.

[2]Glaeser E L,Kahn M E.The greenness of cities:Carbon dioxide emissions and urban development[J].Journal of Urban Economics,2009,67(3):404-418.

[3]周锐波,石思文.中国产业集聚与环境污染互动机制研究[J].软科学,2018(2):30-33.

[4]汪聪聪,王益澄,马仁锋,等.经济集聚对雾霾污染影响的空间计量研究——以长江三角洲地区为例[J].长江流域资源与环境,2019(1):1-11.

[5]Kaya A,Koc M.Over-agglomeration and its effects on sustainable development:A case study on Istanbul[J].Journal of Sustainability,2019,11(1):386-401.

[6]刘满凤,谢哈进.中国省域经济集聚性与污染集聚性趋同研究[J].经济地理,2014(4):25-32.

[7]Liu S X,Zhu Y M,Du K Q.The impact of industrial agglomeration on industrial pollutant emission:Evidence from China under new normal[J].Clean Technologies and Environmental Policy,2017,19(9):2327-2334.

-
- [8]Cheng Z H.The spatial correlation and interaction between manufacturing agglomeration and environmental pollution[J].Ecological Indicators,2016,61:1024-1032.
- [9]袁华锡,刘耀彬,胡森林,等.产业集聚加剧了环境污染吗?——基于外商直接投资视角[J].长江流域资源与环境,2019(4):794-804.
- [10]原毅军,谢荣辉.产业集聚、技术创新与环境污染的内在联系[J].科学学研究,2015(9):1340-1347.
- [11]张可.经济集聚的减排效应:基于空间经济学视角的解释[J].产业经济研究,2018(3):64-76.
- [12]李炫榆,宋海清,李碧珍.集聚与二氧化碳排放的空间交互作用——基于空间联立方程的实证研究[J].山西财经大学学报,2015(5):1-13.
- [13]邵帅,张可,豆建民.经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验[J].管理世界,2019(1):36-60,226.
- [14]Antonietti R,Cainelli G.The role of spatial agglomeration in a structural model of innovation,productivity and export:A firm-level analysis[J].Annals of Regional Science,2011,46(3):577-600.
- [15]张可.经济集聚与区域创新的交互影响及空间溢出[J].金融研究,2019(5):96-114.
- [16]Scheel C.Knowledge clusters of technological innovation systems[J].Journal of Knowledge Management,2002,6(4):356-367.
- [17]Van Dijk M P,Soltan S.Palestinian clusters:From agglomeration to innovation[J].European Scientific Journal,2017,13(13):323-336.
- [18]彭向,蒋传海.产业集聚、知识溢出与地区创新——基于中国工业行业的实证检验[J].经济学(季刊),2011(3):913-934.
- [19]宛群超,袁凌.空间集聚、企业家精神与区域创新效率[J].软科学,2019(8):32-38.
- [20]Banerjee R,Roy S S.Human capital, technological progress and trade:What explains India' s long run growth?[J].Journal of Asian Economics,2014,30:15-31.
- [21]倪进峰,李华.经济集聚、空间结构与城市创新——基于 233 个地级及以上城市数据的实证研究[J].中国科技论坛,2018(10):146-153,162.
- [22]陈阳,逯进,于平.技术创新减少环境污染了吗?——来自中国 285 个城市的经验证据[J].西安交通大学学报(社会科学版),2019(1):73-84.
- [23]Brunnermeier S B,Cohen M A.Determinants of environmental innovation in US manufacturing industries[J].Journal of Environmental Economics and Management,2003,45(2):278-293.
- [24]胡绪华,姚远,陈默.技术创新产出与生产性服务业集聚交互作用下的环境污染影响——基于动态视角的中国经验证据

[J]. 生态经济, 2020(1):56-62.

[25] 卢娜, 王为东, 王淼, 等. 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, 2019(5): 30-39.

[26] 王道平, 杜克锐, 鄢哲明. 低碳技术创新有效抑制了碳排放吗?——基于 PSTR 模型的实证分析[J]. 南京财经大学学报, 2018(6):1-14.

[27] 付云鹏, 马树才, 宋琪. 中国区域碳排放强度的空间计量分析[J]. 统计研究, 2015(6):67-73.

[28] Baron R M, Kenny D A. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations[J]. Journal of Personality and Social Psychology, 1986, 51(6):1173-1182.

[29] Shan Y L, Guan D B, Liu J H, et al. Methodology and applications of city level CO₂ emission accounts in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 161:1215-1225.

[30] 景侨楠, 罗雯, 白宏涛, 等. 城市能源碳排放估算方法探究[J]. 环境科学学报, 2018(12):4879-4886.

[31] Brühlhart M, Mathys N A. Sectoral agglomeration economies in a panel of European regions[J]. Regional Science and Urban Economics, 2008, 38(4):348-362.

[32] 林伯强, 谭睿鹏. 中国经济集聚与绿色经济效率[J]. 经济研究, 2019(2):119-132.