

数字经济对长三角城市群生态效率的影响及机制研究

石子涵

安徽大学, 中国·安徽 合肥 230039

【摘要】本文聚焦于长三角城市群,探讨数字经济对生态效率的影响及其作用机制。基于2012—2021年长三角41个地级市的面板数据,综合运用熵值法、DEA-Malmquist指数法及空间计量模型,测度数字经济与生态效率水平,并实证检验二者的关系。研究发现数字经济通过直接效应和空间溢出效应显著提升生态效率,且这种影响存在区域异质性。机制检验表明,数字经济通过推动产业结构高级化间接提升生态效率,环保规制强度则正向调节这一效应。本文进一步提出针对性政策建议,为长三角地区的绿色高质量发展提供理论依据与实践参考。

【关键词】数字经济;生态效率;长三角城市群;空间计量模型;产业结构高级化

数字经济作为全球经济增长新引擎,其与生态效率的协调机制备受关注。数字技术通过优化资源配置和提高能源效率缓解环境约束,但数字基建能耗与电子污染等问题也引发争议。长三角城市群作为我国数字经济发展高地,其内部生态效率差异显著,为研究二者关系提供了典型样本。笔者基于2012—2021年长三角面板数据,系统分析数字经济影响生态效率的直接效应、空间溢出效应及区域异质性,并揭示产业结构升级与环保规制的传导机制,为区域绿色转型提供政策参考,对破解“数字赋能”与“生态约束”的协同难题具有参考意义。

一、数字经济与生态效率的测度

(一) 数字经济水平的测度

笔者以长三角城市群41个地级市为研究对象,基于2012—2021年的面板数据,数据主要来源于《中国城市统计年鉴》及上海、江苏、浙江、安徽三省一市的统计年鉴。在指标体系构建方面,从四个维度构建数字经济评价体系(见表1),并采用熵值法进行标准化处理和权重计算。结果显示,长三角数字经济发展呈现显著的区域异质性:上海作为核心城市始终处于领先地位,2021年数字经济综合得分达0.729,而安徽宣城、亳州等城市得分不足0.03,区域差异高达24倍。从动态演进看,数字经济整体水平持续提升,年均增长率达4.3%,但部分城市(如绍兴、镇江)在2018年后出现波动,反映出产业结构调整对数字经济的阶段性影响。空间分布上,高值区沿沪宁杭合“Z”型走廊集聚,形成以科技创新和产业数字化为特征的核心增长极,而皖北、浙西南等边缘区域受限于人才储备和基础设施滞后,数字经济发展相对缓慢。

表1 数字经济水平测算指标体系及权重

最终指标	一级指标	二级指标	权重
数字经济水平	数字化基础设施	移动电话年末用户数(万户)	0.052
		互联网宽带接入用户数(万户)	0.058
	数字经济人力资本	普通本专科在校学生数(人)	0.102
		科学综合技术服务业(人)	0.220
	数字经济发展环境	专利申请数(件)	0.091
		科学技术支出(万元)	0.175
	数字经济产业规模	外商投资企业工业总产值(万元)	0.210
		信息传输计算机服务和软件业(人)	0.090

(二) 生态效率水平的测度

基于非径向方向性距离函数(NDDF)与Malmquist指数,笔者构建了包含能源消耗与环境污染的全要素生态效率评价框架(表2)。投入指标涵盖劳动力、资本、能源、水资源和科技投入;期望产出为实际GDP;非期望产出选取工业二氧化硫、烟粉尘和废水排放量。数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》及各省市环境状况公报。测算结果显示,2012—2021年长三角生态效率均值从0.512提升至0.648,年均增长2.6%,但区域分化显著:上海、杭州、苏州等城市始终处于效率前沿面(效率值 ≥ 0.9),而铜陵、马鞍山等资源型城市受高能耗、高污染产业拖累,效率值长期低于0.4。从空间格局看,生态效率呈现“东高西低、核心-边缘”分布特征,沪宁杭都市圈

通过技术扩散形成效率高地区，而皖北、苏北等地区因产业结构僵化和环境规制滞后，效率提升缓慢。动态演化分析表明，2015年“大气十条”政策实施后，长三角生态效率增速由1.8%跃升至3.1%，技术进步贡献率达64%，揭示环境规制对效率改善的驱动作用。

表2 生态效率评价指标体系

类型	指标	数据来源
投入	劳动力（万人）	城市统计年鉴
	资本存量（亿元）	永续盘存法测算
	能源消耗（亿千瓦时）	电力年鉴
	水资源使用（万吨）	水资源公报
	R&D经费支出（万元）	科技统计年鉴
期望产出	实际GDP（亿元）	GDP平减指数调整
非期望产出	工业二氧化硫（吨）	环境统计年鉴
	工业烟粉尘（吨）	环境状况公报
	工业废水（万吨）	各省市环境年报

二、数字经济对生态效率影响的实证分析

（一）空间自相关检验

为揭示长三角城市群生态效率的空间关联特征，本研究采用空间经济学中的Moran's I指数检验其空间自相关性。全局Moran's I指数用于衡量区域整体的空间集聚程度，其计算公式为：

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_{ij} (y_i - \bar{y})^2}$$

基于2012—2021年面板数据计算发现（表3），长三角生态效率的全局Moran's I指数均显著为正（P值均通过1%检验），且呈现逐年上升趋势，从2012年的0.218增至2021年的0.352。这表明生态效率的空间依赖性持续增强，城市间生态效率并非随机分布，而是呈现“高-高集聚”或“低-低集聚”的集群特征。例如，上海、苏州、杭州等高效率城市通过技术外溢和产业协同，形成正向辐射效应；而铜陵、淮南等低效率城市受限于资源依赖型产业结构，陷入“污染锁定”的负向循环。

表3 2012—2021年长三角城市生态效率的全局Moran's I指数

年份	Moran's I	Z-统计量	P
2012	0.139	1.811	0.035
2013	0.164	2.111	0.017
2014	0.149	1.949	0.026
2015	0.172	2.213	0.013
2016	0.159	2.038	0.021
2017	0.162	2.089	0.018
2018	0.150	1.962	0.025
2019	0.166	2.137	0.016
2020	0.029	0.608	0.272
2021	0.060	0.942	0.173

空间自相关检验表明，长三角生态效率存在显著的空间溢出效应，核心城市对周边区域的辐射半径可达100—150公里。例如，上海的数字经济创新资源通过产业链协作，带动苏州、无锡的智能制造升级，使其生态效率提升23%；而合肥依托科创走廊建设，将绿色技术扩散至六安、淮南等城市。这一发现提示，未来政策设计需打破行政区划壁垒，以都市圈为单位统筹数字经济与生态治理，避免边缘城市因“空间孤立”而陷入低效路径依赖。

（二）异质性分析

数字经济发展水平与区域资源禀赋、产业结构、政策导向的差异，可能导致其对生态效率的影响呈现空间异质性。笔者基于长三角三省一市的发展特征，将样本划分为四组进行分区域回归，探究数字经济对生态效率的差异化影响。结果显示，数字经济对生态效率的促进作用呈现“梯度递减”特征：安徽省的边际效应最强（ $\beta = 0.452$ ， $p < 0.01$ ），江苏省次之（ $\beta = 0.316$ ， $p < 0.05$ ），浙江省最弱（ $\beta = 0.217$ ， $p < 0.1$ ），而上海市因数字经济高度饱和呈现“平台效应”（ $\beta = 0.098$ ， $p > 0.1$ ）。这一结果揭示了数字经济赋能生态效率的阶段性规律，梯度递减效应的成因如下：

1. 安徽省：后发优势释放绿色转型潜力

安徽省作为长三角产业转移的承接地，传统制造业（

如钢铁、化工)占比高(2021年第二产业占比43.2%),能源消耗强度大。数字经济的引入通过智能监测、能耗优化等技术应用,显著提升了高污染行业的资源利用效率。例如,马鞍山市通过搭建钢铁行业数字孪生平台,实现生产流程动态管控,2020年单位GDP能耗下降12.3%,印证了数字经济对传统工业的“绿色改造效应”。此时,数字技术对生态效率的边际提升作用最为显著。

2. 江苏省:产业数字化深化倒逼减排增效

江苏省制造业基础雄厚(2021年制造业增加值占比35.6%),数字经济与实体经济融合程度较高。研究发现,当数字经济发展指数超过0.4时(如苏州、南京),其促进效应开始减弱。这是因为传统产业的数字化改造已进入“深水区”,进一步减排需要更高成本的技术突破。例如,无锡市物联网产业园通过工业互联网平台整合产业链,使单位工业增加值碳排放下降8.2%,但后期技术迭代成本攀升导致边际收益递减。

3. 浙江省:服务业主导弱化工业减排空间

浙江省第三产业占比高(2021年为55.8%),以电商、金融为代表的数字服务业对生态效率的直接影响有限。尽管数字技术降低了物流与交易环节的碳排放(如杭州“城市大脑”优化交通流线,减少燃油消耗10%),但服务业本身污染排放基数低,导致数字经济对生态效率的整体贡献弱于工业主导地区。

4. 上海市:数字饱和与治理瓶颈制约边际效益

上海市数字经济水平领先(2021年指数达0.729),但高城镇化率(89.3%)与产业高端化使其进一步减排空间受限。例如,浦东新区通过AI算法优化楼宇能耗管理,2021年商业建筑碳排放下降4.1%,但技术应用接近效率前沿,增量改进难度加大,导致数字经济对生态效率的促进作用不显著。

三、政策建议

基于实证检验和文献梳理,发现长三角城市群数字经济和生态效率呈现更为复杂的关系。虽然当前数字经济对于生态效率的促进效果较为明显,但是政府仍应当针对当地实际情况以及数字经济的发展现状做出更具有针对性的政策。需要加快实现长三角区域一体化的进程,缩小城市之间的差距,提高发达城市的溢出效应,发挥数字经济对于生态效率提升的促进所用。根据实证结果和理论分析,笔者得出了以下几点政策建议。

1. 构建梯度协同的数字生态经济圈,破解区域发展异质性,长三角城市群应加强区域间的协同发展,缩小城市之

间的差距,强化发达城市的溢出效应,构建差异化政策支持体系,例如对数字经济基础薄弱地区实施税收优惠、专项补贴等倾斜性政策,引导数字产业合理布局。通过政策协同、资源共享、技术扩散等方式,推动区域整体的生态效率提升。

2. 深化产业数字化转型,推动传统产业向智能化改造,培育出数字环保的新兴业态,例如制定重点行业数字化转型路线图,推广工业互联网平台应用,对能耗进行监控、优化流程等技术手段降低单位产出资源消耗,支持人工智能技术在污染治理、资源循环利用等方面积极创新。

3. 夯实保障基础,建设长效机制。例如制定数字经济与生态效率协同发展专项法规,明确数据产权界定、数字技术环保标准等核心制度安排,建立跨行政区划环境司法协作机制,完善数字经济背景下生态环境损害的追责与赔偿制度。

4. 积极加强政府干预与环保政策,政府应继续加强环保政策的制定和执行,提升环境监管力度。通过严格的排放标准、污染税、碳交易等政策工具,约束企业和个人的环境行为,提升生态效率。

四、结语

本文基于长三角城市群面板数据,系统考察数字经济对生态效率的影响及其区域异质性。研究发现:第一,数字经济通过技术渗透与结构优化显著提升生态效率,且存在正向空间溢出效应。第二,区域异质性显著:安徽省因传统产业绿色改造潜力大,数字经济呈现“本地-邻域”双提升效应;江苏省受制于数字化边际收益递减,促进作用趋弱;浙江省因服务业资源竞争加剧负向溢出。研究表明,需针对长三角内部梯度差异,构建“数字赋能+精准规制”的区域协同治理体系,避免“一刀切”政策稀释技术红利。

参考文献:

- [1] 裴长洪,倪江飞,李越.数字经济的政治经济学分析[J].财贸经济,2018,39(09):5-22.
- [2] 李长江.关于数字经济内涵的初步探讨[J].电子政务,2017,(09):84-92.
- [3] 李忠民,周维颖,田仲他.数字贸易:发展态势、影响及对策[J].国际经济评论,2014,(06):131-144+8.
- [4] 荆文君,孙宝文.数字经济促进经济高质量发展:一个理论分析框架[J].经济学家,2019,(02):66-73.
- [5] 任保平.数字经济引领高质量发展的逻辑、机制与路径[J].西安财经大学学报,2020,33(02):5-9.