

# 区域一体化背景下长三角城市群绿色发展效率评价及驱动因素研究

王济干, 杨亚平

(河海大学商学院, 江苏 南京 211100)

**摘要:** 发展绿色经济、提升绿色发展效率是当前中国走高质量发展之路的必然选择。通过构建包含非期望产出的超效率 SBM 模型测度长三角城市群 26 个城市的绿色发展效率, 并使用泰尔指数和核密度估计研究其空间差异以及分布动态变化趋势, 基于人力资本理论将科技人才集聚纳入回归模型以探究绿色发展效率的驱动因素。结果表明: 2007—2019 年长三角城市群 26 个城市的绿色发展效率整体呈波动上升趋势, 但城市之间差异显著, 且省内差异是影响长三角城市群绿色水平均衡发展的主要原因; 核密度估计显示各城市绿色发展效率的总体离散程度呈扩大趋势, 效率值集中度降低, 且逐渐出现两极分化特征; 科技人才集聚与长三角城市群的绿色发展效率之间呈现倒“U”形关系, 经济发展水平、产业结构对长三角城市群的绿色发展效率呈显著正向影响。

**关键词:** 绿色发展效率; 长三角一体化; 超效率 SBM 模型; Tobit 模型

**中图分类号:** F427; X321

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1003-9511(2023)03-0001-07

随着我国城市化进程加快, 城市群俨然已成为新时期城市和区域空间组织的重要形式, 长三角城市群作为“一带一路”与长江经济带的重要交汇地带, 是中国最具发展活力的区域之一。自 1982 年成立“上海经济区”以来, 长三角城市群一体化发展进程逐渐加快。但由于城市群不断扩容, 区域外延不断扩展, 不同城市间资源禀赋、经济结构和发展方式等因素不同, 城市间的发展差距也愈加明显, 这给新时期长三角城市群的协调发展带来了严峻的挑战。2019 年, 国务院发布《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》, 强调长三角城市群各省市应重点围绕生态环境等领域展开相应合作, 推动环境协同治理。因此, 在区域一体化背景下, 探究长三角城市群绿色发展效率的现状、地区之间绿色发展效率的差异以及如何提升绿色发展效率的驱动因素, 对协调区域经济高质量发展与生态环境高水平保护具有重要的现实意义。

绿色发展强调经济系统、社会系统与自然系统三者的协调发展, 以产业低碳化、绿色化为内容路径, 追求由传统“工业文明”模式向“生态文明”模式转变, 实现经济增长与资源消耗、污染排放脱钩<sup>[1]</sup>。绿色发展效率是国内外衡量绿色发展水平的主要方

法之一, 绿色发展效率越高, 说明绿色发展水平越高<sup>[2]</sup>。在新时代倡导绿色发展背景下, 围绕绿色发展效率的研究也逐渐成为学者们关注的热点, 学术界围绕绿色发展效率评价、空间差异以及影响因素展开了广泛研究。就评价方法而言, 数据包络分析 (DEA)、随机前沿生产模型 (SFA) 和生产函数法等多被用于效率评价研究, 由于绿色发展效率要求将资源利用与环境损耗同时纳入传统效率分析框架, 与其他方法相比, DEA 在处理多产出-多投入的有效性评价方面更具有优势, 而且能将环境污染物作为非期望产出纳入分析范畴, 因此在绿色发展问题的研究过程中得到迅速发展。如李林汉等<sup>[3-4]</sup>用传统 DEA 模型测算我国 30 个省份的绿色发展效率; 刘杨等<sup>[2,5]</sup>使用 DEA 将环境污染视为非期望产出, 纳入 SBM 模型分别构建了中国城市群层面以及城市层面的绿色发展效率指数。随着研究的不断深入, 考虑到 SBM 模型测度的有效单元值存在同为 1 的情况, 难以进一步分析有效评价单元的效率差异, 而超效率模型能够很好地解决这一问题。刘儒等<sup>[5]</sup>采用超效率 SBM 模型测算中国地级市绿色发展效率, 并从空间视角考察了地方政府竞争、产业集聚与

**基金项目:** 国家社会科学基金 (20BGL196)

**作者简介:** 王济干 (1959—), 男, 教授, 博士, 主要从事管理科学与系统工程等研究。E-mail: wang\_jigan@hhu.edu.cn

绿色发展效率之间的因果关系,提出完善政府考核体系、推动产业升级等方法提升绿色发展效率;林丽梅等<sup>[6]</sup>选用包含径向与非径向两类距离函数的超效率EBM模型来测度中国112个环保城市绿色发展效率,借助GMM模型探究环境规制对绿色发展效率的影响,研究发现环境规制与城市绿色发展效率之间整体呈现先抑制后促进的特征。

由于不同区域发展水平、资源禀赋等因素影响,绿色发展效率在空间分布上具有差异性,学者们进一步针对区域层面展开绿色发展效率的时空差异特征分析,已有较多学者基于省级尺度研究发现,我国绿色发展效率呈现显著的时空分异特征<sup>[7-9]</sup>。少数研究具体分析了城市群层面的绿色发展效率,如刘曙光等<sup>[10]</sup>通过对我国东部沿海四大城市群的绿色发展效率进行对比分析,发现只有珠三角城市群综合效率水平高于1,且城市群内部绿色发展效率差异较大。也有学者从流域视角出发,研究长江经济带以及黄河流域沿线省市的绿色发展效率,如张治栋等<sup>[11]</sup>研究发现长江经济带城市绿色发展水平整体上处于波动起伏的动态调整过程,从时序演化特征来看,整体效率值有所下降,从空间演化特征来看,城市绿色发展效率不均衡,多数城市投入产出效率低下;陈明华<sup>[12]</sup>利用基尼系数考察了黄河流域绿色发展绩效的空间差异大小及来源,发现中、下游区域内绿色发展绩效的不平衡问题尤为突出,且区域间差异是黄河流域城市绿色发展水平总体差异的主要来源。

总体来看,学界已经对绿色发展效率开展了较为丰富的研究,但仍存在以下不足:第一,现有研究多是从全国层面、城市群层面、长江经济带等角度进行研究,聚焦于长三角城市群的研究较少,且多以省级为单位,模糊了省内各城市之间的差异,造成研究结果的粗略性,缺乏对长三角城市群城市层面的深入探讨。第二,关于绿色发展效率影响因素的研究主要聚焦于产业结构、环境规制等传统要素,而随着长三角城市群迈入一体化时代,科技人才在地区间加速流动,人才不再集中涌向核心城市,从而促进了技术、知识的转移扩散,对绿色发展具有重要的引领作用。第三,现有研究重视对计量模型的阐述,而对绿色发展效率影响因素的作用机理分析不足,说服力有待加强。

基于此,本文将从以下三方面进行拓展:第一,通过环境保护、资源节约和经济增长3个维度构建绿色发展效率指标体系,利用带有非期望产出的超效率SBM模型测度长三角城市群26个城市的绿色发展效率,从而揭示长三角地区绿色发展效率现状;

第二,借助泰尔指数探求区域一体化背景下长三角城市群绿色发展效率的空间差异以及差异来源,并在此基础上使用核密度估计分析绿色发展效率的分布动态变化趋势,为探寻因地制宜的协同发展对策提供理论支持;第三,基于Tobit回归方法,将科技人才集聚这一变量纳入回归模型,并对影响因素的作用机理进行分析,以期丰富现有对绿色发展效率的研究。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 包含非期望产出的超效率SBM模型

DEA是一种基于被评价对象间相对比较的非参数技术效率分析方法,在分析多投入多产出方面具有特殊的优势,DEA方法最常见的是BCC和CCR两种模型,但由于其没有考虑变量的松弛问题,由此测出的效率值具有一定的偏差。Tone<sup>[13]</sup>在此基础上创新地提出了非角度、非径向的SBM模型,弥补了传统DEA模型的缺陷。然而,考虑到传统SBM模型仍会存在多个效率值为1的有效决策单元(DMU),无法有效地区分和排序,因此本研究在测算绿色发展效率时,选用带有非期望产出的超效率SBM模型<sup>[14]</sup>,以减少评价偏差。包含非期望产出的超效率SBM模型为

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{rk}}} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^q x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^q y_{rj} \lambda_j + s_r^+ \geq y_{rk} \\ s^-, s^+ \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m \\ r = 1, 2, \dots, s \\ j = 1, 2, \dots, q (j \neq k) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\rho$ 为效率, $\rho$ 值越大,表示效率越高; $\lambda_j$ 为权重向量; $x_{ij}$ 、 $x_{ik}$ 分别为第 $j$ 、 $k$ 个决策单元的第 $i$ 种投入值; $y_{rj}$ 、 $y_{rk}$ 分别为第 $j$ 、 $k$ 个决策单元的第 $r$ 种产出值; $m$ 、 $s$ 分别为投入、产出指标的数量; $s_i^-$ 、 $s_r^+$ 分别为第 $i$ 种投入和第 $r$ 种产出的松弛变量; $q$ 为决策单元个数。

#### 1.1.2 泰尔指数

本文选用泰尔指数来测度长三角城市群绿色发展效率的区域差异程度。泰尔指数 $T$ 的计算公式如下<sup>[15]</sup>:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\bar{x}} \ln \left( \frac{x_i}{\bar{x}} \right) \quad (3)$$

其中

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

式中:  $x_i$  为第  $i$  个城市的绿色发展效率值;  $\bar{x}$  为 26 个城市绿色发展效率的均值。同时, 将泰尔指数所代表的总体差异分解为区域内差异和区域间差异, 将  $n$  个城市划分为  $K$  个区域, 其中第  $k$  个区域  $g_k$  中包含  $n_k$  个城市, 则区域间差异  $T_b$  和区域内差异  $T_w$  的计算公式分别如下:

$$T_b = \sum_{k=1}^K X_k \ln \left( \frac{X_k}{n_k/n} \right) \quad (4)$$

$$T_w = \sum_{k=1}^K X_k \sum_{f \in g_k} \frac{X_f}{X_k} \ln \left( \frac{X_f/X_k}{1/n_k} \right) \quad (5)$$

其中  $X_f = x_f / \sum_{i=1}^n x_i$   $X_k = \sum_{i=1}^{n_k} x_i / \sum_{i=1}^n x_i$

式中:  $x_f$  为城市  $f$  的绿色发展效率值;  $X_f$  为城市  $f$  的绿色发展效率值占 26 个城市分值总和的比重;  $X_k$  为第  $k$  组城市分值总和占 26 个城市分值总和的比重。

### 1.1.3 核密度估计方法

核密度估计方法是一种基于考察对象测度值分布特点的空间分析方法, 核密度曲线分布的位置反映长三角城市群绿色发展效率的数值, 波峰的高度和宽度反映长三角城市群绿色发展效率的聚集和分散程度, 波峰数量反映极化程度。核密度计算公式如下:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K \left( \frac{X_i - \bar{x}}{h} \right)$$

其中  $K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{x^2}{2} \right) \quad (6)$

式中:  $f(x)$  为核密度估计量;  $N$  为观测值个数;  $h$  为自定义带宽, 带宽越小核密度估计越精确;  $X_i$  为独立同分布观测值;  $K(x)$  为核密度函数, 本文采用高斯核函数进行空间 Kernel 密度估计。

## 1.2 指标选取与数据来源

### 1.2.1 Super-SBM 模型的指标选取

关于绿色发展效率的测度, 结合已有研究与数据的可获得性, 选取指标包括投入指标和产出指标。投入指标包括资本、劳动和资源等, 由于各类统计年鉴并未公布城市层面的资本存量数据, 因此本文采用永续盘存法, 通过利用全社会固定资产投资额等数据来测算资本存量, 计算公式为

$$K_{i,t} = K_{i,t-1}(1 - \delta_{i,t}) + I_{i,t}/P \quad (7)$$

式中:  $K_{i,t}$ 、 $I_{i,t}$  分别为第  $i$  个城市第  $t$  年的资本存量和投资;  $\delta_{i,t}$  为折旧率;  $P$  为固定资产投资价格指数。

选用年末单位从业人数来表征劳动力; 选用全市供电量来表征资源。产出指标包括期望产出指标和非期望产出指标, 以长三角城市群各城市的 GDP 来衡量经济收益; 用地方一般公共预算支出来反映地方政府的财政能力和工业生产、消费、投资、企业利润等的收益情况; 选用社会消费品零售总额来表征社会收益; 非期望产出用工业废水排放量、工业  $SO_2$  排放量和工业烟(粉)尘排放量来衡量, 主要考察对环境的负面影响。

### 1.2.2 数据来源

根据 2016 年 5 月国务院批准的《长江三角洲城市群发展规划》, 长三角城市群包括上海, 江苏省南京、无锡、常州、苏州、南通、盐城、扬州、镇江、泰州, 浙江省杭州、宁波、嘉兴、湖州、绍兴、金华、舟山、台州, 安徽省合肥、芜湖、马鞍山、铜陵、安庆、滁州、池州、宣城。本文选取长三角城市群 26 个城市作为研究对象, 基础数据来自 2007—2019 年的《中国城市统计年鉴》及各省市统计年鉴。

## 2 测算结果与分析

### 2.1 绿色发展效率测算

#### 2.1.1 长三角城市群三省一市绿色发展效率分析

根据超效率 SBM 模型, 利用 MaxDEA7.0 软件测算 2007—2019 年长三角城市群 26 个城市的绿色发展效率, 见图 1。

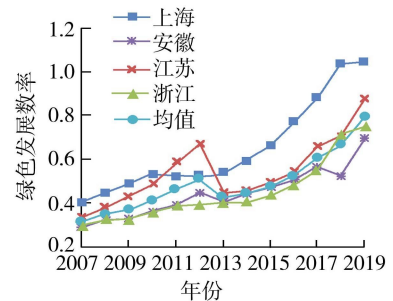


图 1 2007—2019 年长三角城市群三省一市绿色发展效率时序演变特征

从整体层面来看, 2007—2019 年长三角城市群绿色发展效率呈现上升的趋势, 反映出区域生态文明建设、绿色经济发展等方面已经取得喜人成绩, 长三角城市群绿色发展水平从 2007 年的 0.314 上升到 2012 年的 0.511, 经过 2012—2013 年的短暂回落之后再次从 2013 年的 0.426 增加到 2019 年的 0.794。2012—2013 年的下降原因可能是存在“绿色悖论”效应, 即短期内一些高排放、高污染的工业企业为抵御更为严格的污染管制, 会加快工业产能扩张, 导致工业污染排放增加。随着经济发展方式的转变和节能减排政策的再次强化, 绿色发展水平



下降趋势得以扭转,并于2013年出现反弹,整个过程波动上升。其中,2007年为样本考察区间内最小值,2019年为样本考察区间内最大值。2007—2012年,绿色发展效率年平均增长3.94%,2013—2019年,绿色发展效率年平均增长6.14%,表明自党的十八大以来实施绿色发展战略以来,生态文明建设一直被摆在突出位置,随着一系列政策密集出台,绿色发展水平增速有一个明显的提升。在逐渐加大的环境规制政策压力下,企业会加快引进绿色生产技术,推动产业转型升级。无法适应强环境规制的高污染工业企业则面临“关停并转”,污染排放效应逐步减弱。

从省级层面来看,2007—2019年期间,江苏省和上海市的绿色发展效率在长三角地区整体平均水平之上,浙江和安徽两省的绿色发展效率略低于长三角地区的整体平均水平;江苏、安徽两省绿色发展效率波动较大,但总体仍保持上升趋势,上海和浙江省保持稳定增长趋势,绿色发展效率持续上升。其中,上海的绿色发展效率在长三角地区中整体发展最佳,安徽省绿色发展效率有所波动,逐渐低于浙江省,绿色发展成效有待进一步加强。根据产业梯度转移理论,发达地区会将区域内丧失比较优势的产业向欠发达地区转移,在承接产业转移方面,安徽省各城市具有较为明显的区位优势,是长三角地区产业转移的前沿地带,但是长三角地区主要转移的是已经或者即将淘汰的高消耗、高排放产业,可能带来污染转移,这些因素都会反映在城市的绿色发展效率上<sup>[16]</sup>。

### 2.1.2 长三角城市群26个城市的绿色发展效率分析

为准确分析长三角城市群绿色发展效率的空间差异,将2007年、2019年以及2007—2019年间均值采用雷达图进行分析,结果见图2。

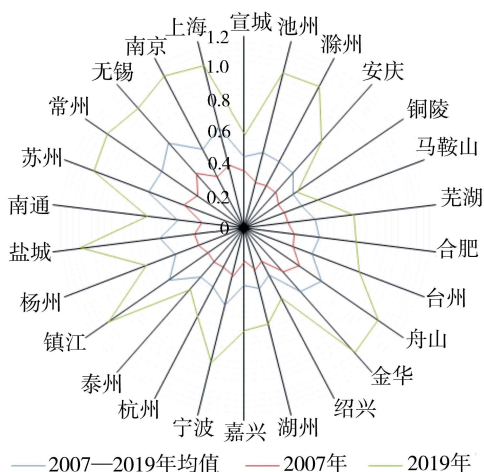


图2 长三角城市群各城市绿色发展效率雷达图

从城市层面来看,长三角城市群内各城市间的绿色发展效率值截面差异明显。无锡市效率值最大

(0.7100),绍兴市绿色发展效率值最小(0.3266),极差为0.3834。对26个城市绿色发展效率均值大小进行降序排列,可分为3个梯队,第一梯队为无锡、上海、苏州、常州、舟山、镇江、南京、金华,其效率值介于0.7100~0.5294之间;第二梯队为盐城、宁波、池州、合肥、滁州、扬州、安庆、台州、宣城,效率值介于0.5282~0.4495之间;第三梯队为芜湖、南通、杭州、泰州、湖州、马鞍山、铜陵、嘉兴、绍兴,效率值介于0.4464~0.3266之间。总体来看,长三角城市群26个城市绿色发展水平差异明显,绿色发展效率值主要集中在0.4~0.6之间。

绿色发展效率较高的城市有无锡、上海、苏州、常州、舟山等,主要分布在长三角中部和南部地区,绿色发展要素投入产出结构较为合理,各项资源投入在产出转化过程中均得到较为充分的利用,可以继续保持其资源配置的合理性。绿色发展效率高的城市主要分为两类:一类是以上海、苏州、无锡、南京等为代表的经济发展水平较高的城市,经济和科技实力相对雄厚,有能力也有意识主动提高绿色发展效率,投入产出结构优良,第三产业占比逐年增加,绿色发展效率不断上升;另一类是以舟山、金华为代表的城市,这类城市多位于长三角城市群的东南部,以发展旅游产业为主,经济发展过程中会更为自觉地控制污染物的排放,优化环境治理,进而提升绿色发展水平<sup>[17]</sup>,绿色发展效率高不仅得益于得天独厚的自然条件,也得益于政府推进生态环境保护的改革措施<sup>[18]</sup>。

部分城市绿色发展效率较低,马鞍山、铜陵、嘉兴、绍兴等城市的计算值多年均低于0.4,处于绿色发展效率较低水平,可见长三角地区绿色发展水平呈现出两级分化现象。马鞍山、铜陵等城市近年来追求经济增长,发展工业时大量消耗能源。嘉兴、绍兴两个城市在发展经济方面存在着诸多共性,以轻工业为主,且多为高能耗、高污染类行业,工艺相对落后,环保管理更为落后。总之,产业结构的优化升级是一个漫长过程,需要不断改善其环境状况。

### 2.2 绿色发展水平差异的测量与分解

通过上文分析可以得知长三角城市群绿色发展效率存在空间非均衡态势,导致其区域差异显著,但尚未揭示出区域差异性的来源结构特征,下面结合差异性测度方法的特点及适用性,利用泰尔指数展开进一步分析,并将绿色发展效率总体差异分解为区域内差异和区域间差异。这里需要特别说明的是,由于上海市仅为单个城市,而泰尔指数需要分析不同子群对总体差异的影响,因此,本文在区域差异分解上将不考虑上海市<sup>[19]</sup>。

长三角城市群2007—2019年绿色发展效率总体差异及其贡献见表1,从时间维度来看,2007—

表1 绿色发展效率的泰尔指数及分解

年份	泰尔指数			贡献率/%	
	总体	区域内	区域间	区域内	区域间
2007	0.01694	0.01338	0.00356	78.985	21.015
2008	0.01939	0.01468	0.00471	75.709	24.291
2009	0.02590	0.01543	0.01047	59.575	40.425
2010	0.02595	0.01415	0.01180	54.528	45.472
2011	0.04357	0.02407	0.01950	55.244	44.756
2012	0.04974	0.02278	0.02696	45.798	54.202
2013	0.01642	0.01399	0.00243	85.201	14.799
2014	0.01213	0.00867	0.00346	71.476	28.524
2015	0.01284	0.00917	0.00367	71.417	28.583
2016	0.01738	0.01205	0.00533	69.333	30.667
2017	0.02925	0.02261	0.00664	77.299	22.701
2018	0.03469	0.02116	0.01353	60.997	39.002
2019	0.03858	0.03202	0.00656	82.996	17.004

2019年间,长三角城市群各城市绿色发展效率的泰尔指数总体表现为“N”形变化特征,2007—2012年泰尔指数不断上升至最大值0.04974,说明在此期间长三角城市群绿色发展效率的区域差异在逐步扩大,优者愈优、劣者恒劣的局面普遍存在<sup>[20]</sup>。2012—2014年长三角城市群绿色发展效率总体差异逐渐缩小,2014年降至0.01213,为样本期内最低点。2014—2019年,泰尔指数值表现出增大趋势,但是速度有所减缓。

从泰尔指数结果分解来看,区域内泰尔指数、区域间泰尔指数与总泰尔指数变化趋势具有较强的协同性,从贡献率来看,除2012年之外,区域内差异的贡献率均明显超过区域间差异。因此,区域内部发展不平衡是构成长三角城市群绿色发展效率差异的主要因素<sup>[21]</sup>。区域内差异的贡献率平均值为69.50%,极大地影响着总泰尔指数的走向,说明缓解长三角城市群绿色发展水平非均衡的关键在于如何促进三个省份内部的均衡协调发展。

### 2.3 绿色发展效率的动态演进

泰尔指数及其分解的测度结果仅揭示了长三角城市群绿色发展效率相对差异的大小及来源,而核密度估计方法可以准确勾画出长三角城市群绿色发展效率绝对差异的分布动态演进趋势。因此,本文使用核密度估计方法进一步考察长三角城市群绿色发展效率的分布位置和分布形态,绘制2007—2019年长三角城市群绿色发展效率三维核密度示意图见图3。

从分布位置来看,长三角城市群绿色发展效率的分布曲线随时间推移整体呈现明显的右移趋势,表明考察期内长三角地区绿色发展效率逐步上升;从分布形态来看,2007—2019年长三角城市群绿色发展效率的分布曲线总体表现为主峰峰值下降、区间宽度增加,这说明绿色发展效率的总体离散程度呈扩大趋势,差距逐渐增大。需要特别说明的是,与

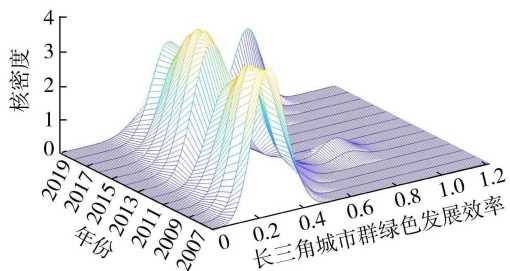


图3 长三角城市群绿色发展效率三维核密度

2012年相比,2013年峰值明显升高,分布曲线中心轻微左移,表明2013年长三角城市群效率值有所降低,发散态势减弱,与前文测算结果相印证。除此之外,2007—2019年分布形态呈现由“单峰”向“主峰+侧峰”演变的趋势,与2018年相比,2019年出现明显的双峰分布,表明各城市绿色发展效率呈现出两级分化现象,但双峰值较小,宽度较大,效率值集中度降低。

## 3 长三角城市群绿色发展效率驱动因素实证分析

### 3.1 变量选择

本文测算的长三角城市绿色发展效率值的区间较小且均大于0,属于“受限因变量”,而Tobit模型可以很好地解决“受限因变量”的回归问题<sup>[22]</sup>。因此,本文基于面板数据,通过建立Tobit模型来分析长三角地区各个城市绿色发展效率的影响因素。Tobit模型公式为

$$Y_{it} = \begin{cases} Y_{it}^* & Y_{it}^* > 0 \\ 0 & Y_{it}^* \leq 0 \end{cases} \quad (8)$$

其中  $Y_{it}^* = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_{it} + \varepsilon_{it}$   
 $(i = 1, 2, \dots, 26; t = 2007, 2008, \dots, 2019)$

式中: $Y_{it}$ 为因变量; $x_{it}$ 为自变量; $\beta_i$ 为估计系数; $\beta_0$ 为常数项; $\varepsilon_{it}$ 为扰动项。

结合理论基础与长三角城市群的现实情况,选取以下变量作为解释变量:

**a. 科技人才集聚。**科技人才是从事研发创新活动的主体,他们可以通过影响生产、消费、投资及储蓄等方式驱动区域绿色发展,其集聚还会给区域带来创新效应,通过人力资本积累、促进管理创新以及增强技术溢出效应等方式引导企业从事绿色生产。可见,科技人才集聚对绿色发展效率增长具有集聚正外部性特征。但是,根据要素拥挤理论,当某一要素聚集超过一定规模后,其资源配置效率下降,会产生资源积压浪费、无序竞争等状况<sup>[23]</sup>。随着科技人才集聚规模不断扩大,可能会因为人才过度集聚产生拥堵而造成效率损失<sup>[24]</sup>。因此,科技人才集



聚与绿色发展效率的关系可能存在非线性关系,本研究在回归方程中引入科技人才集聚的二次项以验证两者之间是否存在非线性关系。

区域人才集聚度是评价人才资源在各区域空间分布的集中性和聚合性程度的指标,现有研究多以区位熵的方法来测度人才集聚度,区位熵可以消除地区规模之间的差异,客观地反映人才集聚的空间分布。因此,本文借鉴孙红军等<sup>[25]</sup>的做法,构建科技人才区位熵来衡量科技人才集聚度,具体计算公式如下:

$$S_i = \frac{T_{ni}/T_i}{T_{ct}/T_c} \quad (9)$$

式中: $S_i$ 表示*i*地区科技人才集聚度; $T_{ni}$ 为*i*地区科技型人才数量; $T_i$ 为*i*地区总就业人口; $T_{ct}$ 为全国科技型人才数量; $T_c$ 为全国总就业人口。科技人才数量用科研、技术服务人员数量进行表征。

**b. 经济发展。**经济发展能够为企业绿色生产与污染治理提供物质基础,随着经济的发展,居民的环保意识也会逐渐提高,居民对绿色产品的要求也会随之变高。选用人均 GDP 来衡量经济发展水平,并对其进行对数化处理以消除异方差的影响。

**c. 产业结构。**一般而言,第三产业的清洁属性高于第一、二产业,对资源的消耗以及对环境的污染也低于第一、二产业;同时,第三产业的发展可以使得投入获得更大的边际产出效应,提升区域投入与产出要素的优化配置,第三产业产值的增加可以推动区域产业结构升级,促进绿色发展效率的提升。本文采用第三产业占地区 GDP 的比重来表示产业结构。

**d. 对外贸易水平。**在对外开放的初期和中期,可以通过学习模仿和产品承载获得新产品和先进的技术,提升区域的生产效率,但是过度的对外开放会“挤兑”国内市场,造成本国产品滞销,尤其是发达国家会将高污染、高耗能行业转移到发展中国家,由此会增加污染治理成本,降低绿色发展效率。因此,本文选用进出口总额与 GDP 比值来表示对外贸易水平,同时将对外贸易水平的二次项加入到回归方程。

**e. 城镇化水平。**随着城镇化水平的提高,城镇人口增加的同时城镇建设用地也大幅扩张,低端的劳动密集型产业快速发展,造成工业要素配置冗余与无谓损失,导致环境污染加重,会抑制绿色发展效率的提高。

### 3.2 回归结果与分析

运用 Stata15.0 计量分析软件,对长三角城市群绿色发展效率的影响因素进行 Tobit 回归分析,结果见表 2。由表 2 可知,科技人才集聚的一次项系数在 10% 的水平下显著为正,二次项系数在 5% 的水平下显著为负,这也验证了科技人才集聚与绿色发

展效率之间的倒“U”形关系,两者之间存在先促进后抑制的作用,但目前绝大多数城市尚位于倒“U”形曲线的左半段,即集聚效应占据主导地位,科技人才集聚仍是长三角城市群绿色发展的重要推力。此外,经济发展水平在 5% 的水平上显著为正,说明经济发展水平能够有效促进长三角城市群绿色发展内生动力提升;产业结构对长三角地区绿色发展效率具有显著正向影响,并通过了 1% 水平上的显著性检验,增加第三产业比重有利于推动区域产业结构升级,可以有效促进绿色发展效率的提升;对外贸易水平的一次项系数在 1% 的水平下显著为正,其二次项系数在 1% 的水平下显著为负,这说明长三角城市群的对外贸易水平对绿色发展效率的影响不是单一的线性关系,而是先升后降的倒“U”形曲线关系;城镇化水平的估计系数为负,但是结果不显著,这在一定程度上说明城镇化水平未对长三角城市群的绿色发展效率产生影响。

表 2 Tobit 回归结果

变量	系数	标准差	T 检验结果	P 值
科技人才集聚	0.0195	0.0117	1.67	0.095
科技人才集聚的二次项	-0.0016	0.0007	-2.50	0.013
经济发展水平	0.1072	0.0190	5.64	0.000
产业结构	0.3292	0.0641	5.14	0.000
对外贸易水平	0.6931	0.1376	5.04	0.000
对外贸易水平的二次项	-0.3444	0.1308	-2.63	0.008
城镇化水平	0.0030	0.0020	1.52	0.130
常数项	-2.2226	0.2722	-8.17	0.000

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

根据绿色发展效率的测算结果得出,2007—2019 年长三角城市群 26 个城市的绿色发展效率整体均值处于中等水平,有较大的提升空间。在时间变化上,绿色发展效率处于波动上升的状态;从年平均增长率来看,2013 年及以后绿色发展效率的提升较为明显;在空间演变上,城市群的绿色发展效率分布不均衡特征依然存在,各城市间绿色发展水平截面差异明显,并且在绿色发展效率演化态势上具有明显的马太效应。

由泰尔指数的测算结果可以看出,长三角城市群绿色发展效率的总体泰尔指数呈现“N”形变化态势。总体来看,区域差异呈增长趋势,在绝大多数年份内,省内差异是长三角城市群绿色发展水平差异的最主要原因。因此,缩小省内差异是解决长三角城市群绿色发展不平衡的关键。由核密度估计结果可以看出,长三角城市群绿色发展效率逐渐提升,但是离散程度上升,效率值集中度降低,逐渐显现出两

极分化趋势。

根据 Tobit 回归结果可知,科技人才集聚度与绿色发展效率之间存在倒“U”形的非线性关系,科技人才集聚对长三角城市群绿色发展效率呈现出先促进后抑制的作用,但目前仍处于促进阶段,经济发展水平、产业结构对长三角城市群的绿色发展效率的提升存在促进作用,对外贸易水平对绿色发展效率也呈现先升后降的倒“U”形曲线关系。

## 4.2 建议

**a. 因地制宜促进城市群绿色发展效率整体提升。**长三角城市群应进一步加强城市之间的联结,致力于融合协调发展,避免马太效应的进一步加剧。考虑到地区绿色发展的不均衡性,选择不同着力点,科学确立具有地域特色的提升绿色发展效率的政策手段,如马鞍山、铜陵两城市以发展重工业为主,城市绿色发展效率值较低且经济发展水平不高,未来应考虑推动企业绿色转型,应用绿色环保技术让传统产业焕发生机。绍兴和嘉兴两城市以发展轻工业为主,未来应鼓励企业使用低污染、可持续原材料,注重环保性与可持续性。

**b. 破除阻碍资源要素流动障碍。**各邻接地界要弱化地区间的行政壁垒,发挥好上海作为龙头城市在区域绿色发展方面的引领作用,江浙皖与上海形成良好互动,推动要素自由流动,加强各领域优化合作。考虑到省内差异是导致长三角城市群绿色发展效率非均衡的主要原因,省内要加强城市之间的合作帮扶工作,给予低效率城市更多关注和适当的政策倾斜,充分挖掘这些城市的绿色发展能力,绿色发展效率高的城市要充分发挥自身的辐射带动作用。省际间差异也不可忽视,鼓励大城市通过人力技术与资金支持对中小城市开展定向援助和对口支援。同时,地区在承接产业转移时,应设置门槛或者限制措施,严格执行相关环境法规与标准以确保企业遵守环境保护责任。

**c. 发挥科教创新优势,实现科技人才一体化。**当前,科技人才集聚对长三角城市群绿色发展效率仍处于促进阶段,要充分借助长三角地区高等教育优势和高科技创新平台优势,发挥科技人才集聚对绿色发展的动力和智力支持。三省一市由于经济实力、地理位置等原因对科技人才的吸引力差距较大,因此,可借助长三角一体化发展战略,建立健全人才一体化的“共引、共育、共用和共服机制”,完善人才市场化配置体系,以突破人才流动的省际行政壁垒,促进人才自由流动以及地区均衡发展。在区域一体化发展进程中要积极营造有利于科技人才集聚的创新生态,通过提供优质的创业服务、完善的生活服务

以及便捷的政策服务打造科技人才的优质栖息地。

## 参考文献:

- [1] 胡鞍钢,周绍杰. 绿色发展:功能界定、机制分析与发展战略[J]. 中国人口·资源与环境,2014,24(1):14-20.
- [2] 刘杨,杨建梁,梁媛. 中国城市群绿色发展效率评价及均衡特征[J]. 经济地理,2019,39(2):110-117.
- [3] 李林汉,岳一飞. 基于四阶段 DEA 模型的中国绿色发展效率评价[J]. 科技管理研究,2019,39(24):247-258.
- [4] WU Youqun, LU Huaixin, LIAO Xinlin, et al. Foreign direct investment, regional innovation, and green economic efficiency: an empirical test based on the investigation of intermediary effect and threshold effect [J]. Computational Intelligence and Neuroscience, 2021, 2021:7348599.
- [5] 刘儒,卫离东. 地方政府竞争、产业集聚与区域绿色发展效率:基于空间关联与溢出视角的分析[J]. 经济问题探索,2022(1):79-91.
- [6] 林丽梅,赖永波,谢锦龙,等. 环境规制对城市绿色发展效率的影响:基于超效率 EBM 模型和系统 GMM 模型的实证分析[J]. 南京工业大学学报(社会科学版),2022,21(5):102-114.
- [7] 段永峰,项文晴,罗海霞. 中国省域绿色创新效率与绿色发展效率耦合协调研究[J]. 科技管理研究,2020,40(17):235-243.
- [8] 谢秋皓,杨高升. 新型城镇化背景下中国区域绿色发展效率测算[J]. 统计与决策,2019,35(24):132-136.
- [9] 李雪松,曾宇航. 中国区域创新型绿色发展效率测度及其影响因素[J]. 科技进步与对策,2020,37(3):33-42.
- [10] 刘曙光,尚英仕. 中国东部沿海城市群绿色发展效率评价及障碍因子分析[J]. 城市问题,2020(1):73-80.
- [11] 张治栋,秦淑悦. 产业集聚对城市绿色效率的影响:以长江经济带 108 个城市为例[J]. 城市问题,2018(7):48-54.
- [12] 陈明华,刘文斐,王山,等. 黄河流域绿色发展绩效评价、差异分解及驱动因素[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(4):126-133.
- [13] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.
- [14] TONEK T. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
- [15] 周霞,李昕欣. 绿色农业生产水平的空间异质性分析:基于山东省 2010—2019 年的经验数据[J]. 经济与管理评论,2021,37(6):152-164.
- [16] 卢丽文,宋德勇,李小帆. 长江经济带城市发展绿色效率研究[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(6):35-42.

(下转第 15 页)

- (11);2539-2552.
- [6] 章恒全,杨柳,张陈俊. 长江经济带用水量演变的驱动因素与预测:基于 LMDI 与 SD 模型[J]. 工业技术经济,2021,40(6):143-152.
- [7] 许晶荣,黄德春,方隼敏. 中国区域全要素水资源利用效率及其影响[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版),2021,23(6):77-84.
- [8] 曹飞. 我国城镇化与用水效率的研究:基于空间库兹涅茨曲线拟合与研判[J]. 价格理论与实践,2017(3):163-166.
- [9] 章恒全,蔡晓莹,张陈俊. 城镇化进程对水资源利用效率影响的实证研究[J]. 管理现代化,2020,40(1):49-52.
- [10] 金巍,沙勇. 经济集聚对用水强度的影响及传导机制[J]. 软科学,2021,35(7):31-37.
- [11] 伍旭川,肖翔. 基于全球视角的普惠金融指数研究[J]. 南方金融,2014,454(6):15-20.
- [12] 陈银娥,孙琼,徐文赞. 中国普惠金融发展的分布动态与空间趋同研究[J]. 金融经济研究,2015,30(6):72-81.
- [13] 郭峰,王靖一,王芳,等. 测度中国数字普惠金融发展:指数编制与空间特征[J]. 经济学(季刊),2020,19(4):1401-1418.
- [14] 田杰,谭秋云,靳景玉. 数字金融能否改善资源错配?[J]. 财经论丛,2021,271(4):49-60.
- [15] LIU H D, YAO P B, LATIF S, et al. Impact of green financing, fintech, and financial inclusion on energy efficiency [J]. Environmental Science and Pollution Research,2022,29(13):18955-18966.
- [16] 汪克亮,赵斌. “双碳”目标背景下数字金融对能源效率的影响研究[J]. 南方金融,2021,541(9):20-31.
- [17] 张云辉,李少芳. 数字金融发展能提升能源效率吗[J]. 财经论丛,2022,283(3):47-55.
- [18] 周哲宇,许凤冉,崔巍,等. 节水财税金融政策模式创新研究[J]. 水利经济,2022,40(1):55-58.
- [19] 张莉. 论水利项目建设中金融支撑的重要作用[J]. 农业科技与信息,2015,466(17):110-111.
- [20] 张建斌. 金融支持水权交易:内生逻辑、运作困境和政策选择[J]. 经济研究参考,2015,2687(55):9-16.
- [21] 高晓燕,王远,赵晓卉. 绿色金融发展对我国水资源节约的影响研究[J]. 环境保护,2019,47(20):43-45.
- [22] 李优树,李福平,李欣. 环境规制、数字普惠金融与城市产业升级:基于空间溢出效应与调节效应的分析[J]. 经济问题探索,2022,474(1):50-66.
- [23] NOAILLY J, SMEETS R. Financing energy innovation: internal finance and the direction of technical change[J]. Environmental and Resource Economics, 2022, 83:145-169.
- [24] 姚凤阁,王天航,谈丽萍. 数字普惠金融对碳排放效率的影响:空间视角下的实证分析[J]. 金融经济研究,2021,36(6):142-158.
- [25] 唐松,伍旭川,祝佳. 数字金融与企业技术创新:结构特征、机制识别与金融监管下的效应差异[J]. 管理世界,2020,36(5):52-66.
- [26] FAN W L, WU H Q, LIU Y. Does digital finance induce improved financing for green technological innovation in China? [J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2022(1):1-12.
- [27] 乔彬,赵广庭,沈烁华. 数字普惠金融能促进企业绿色创新吗?[J]. 南方金融,2022(3):14-27.
- [28] 任碧云,刘佳鑫. 数字普惠金融发展与区域创新水平提升:基于内部供给与外部需求视角的分析[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版),2021,42(2):99-111.

(收稿日期:2022-09-16 编辑:高虹)

(上接第7页)

- [17] 吴洁,张云,韩露露. 长三角城市群绿色发展效率评价研究[J]. 上海经济研究,2020(11):46-55.
- [18] HOU Youxin, ZHANG Kerong, ZHU Yuchen, et al. Spatial and temporal differentiation and influencing factors of environmental governance performance in the Yangtze River Delta, China [J]. Science of The Total Environment, 2021, 801:149699.
- [19] 杨骞,刘鑫鹏,孙淑惠. 中国科技创新效率的区域差异及其成因识别:基于重大国家区域发展战略[J]. 科学学管理,2022,40(5):927-937.
- [20] 孙燕铭,谌思邈. 长三角区域绿色技术创新效率的时空演化格局及驱动因素[J]. 地理研究,2021,40(10):2743-2759.
- [21] 周亮,车磊,周成虎. 中国城市绿色发展效率时空演变特征及影响因素[J]. 地理学报,2019,74(10):2027-2044.
- [22] TOBIN J. Estimation of relationships for limited dependent variables [J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1958: 24-36.
- [23] MARTINUS K, SUZUKI J, BOSSAGHZADEH S. Agglomeration economies, interregional commuting and innovation in the peripheries [J]. Regional Studies, 2020, 54(6):776-788.
- [24] 郭金花,郭檬楠,郭淑芬. 中国城市科技人才集聚促进了全要素生产率增长吗:来自285个地级市的经验研究[J]. 科技进步与对策,2021,38(7):48-55.
- [25] 孙红军,张路娜,王胜光. 科技人才集聚、空间溢出与区域技术创新:基于空间杜宾模型的偏微分方法[J]. 科学学与科学技术管理,2019,40(12):58-69.

(收稿日期:2022-12-14 编辑:骆超)