

长江经济带城市生态效率测度与分析

任 廷

西南大学经济管理学院, 重庆

收稿日期: 2024年9月24日; 录用日期: 2024年10月9日; 发布日期: 2024年11月18日

摘要

城市生态效率是衡量区域发展质量的重要指标之一, 为促进长江流域全面的高质量发展, 本文将长江经济带流域中的108个地级市作为研究对象, 借助Maxdea软件, 选用非期望产出超效率SBM模型度量2000~2021年该地区的生态效率, 使用Theil指数探究并分析主要差异来源。结果表明, (1) 长江经济带的生态效率表现出“上升 - 下降 - 再上升 - 再下降”的波动性趋势, 各城市在总体上具有一定的差异性。部分样本城市生态效率值随时间变化表现出上升趋势, 部分城市存在相反情况, 同时存在大量生态效率值相对无效的城市, 仍留有宽阔的提升空间。(2) 从流域整体视角出发, 泰尔指数的变化趋势呈现为一种在波动中下降的模式。根据对差异深入分解剖析, 可以发现其绩效值差异主要来自于长江经济带内部上、中、下游流域之间的内部差异。

关键词

长江经济带, 生态效率, 非期望产出超效率SBM模型, Theil指数

Measuring and Analysing Eco-Efficiency of Cities in the Yangtze River Economic Belt

Ting Ren

College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing

Received: Sep. 24th, 2024; accepted: Oct. 9th, 2024; published: Nov. 18th, 2024

Abstract

Urban eco-efficiency is one of the important indicators of regional development quality, in order to promote eco-environmental protection and economic and social development, and better promote the overall high-quality development of the Yangtze River Basin, this paper takes 108 prefecture-level cities in the Yangtze River Economic Belt Basin as the research object, and with the help of Maxdea software, chooses the Super SBM model to measure the eco-efficiency of the region in the period of 2000-2021. The Theil index was used to explore the eco-efficiency of the region from 2000

to 2021. Meanwhile, the Theil index was used to explore and analyse the main sources of differences in eco-efficiency in the Yangtze River Economic Belt basin. The results show that (1) the eco-efficiency of the Yangtze River Economic Belt exhibits a fluctuating trend of “rising-declining-rising-declining”. There is some variation among cities in general, with the mean eco-efficiency of the downstream region being the closest to the mean eco-efficiency of the Yangtze River Economic Belt during the study period, while the mean eco-efficiency of the midstream and upstream regions shows more significant fluctuations compared to the overall mean. In general, the eco-efficiency values of some of the sample cities show an upward trend over time, while some of the sample cities show a downward trend over time. There are a large number of cities with relatively ineffective eco-efficiency values in the sample cities, and there is still plenty of room for upgrading and improvement. (2) From the perspective of the basin as a whole, the trend of the Tyrrell index shows a pattern of decline in fluctuation. According to the in-depth analysis of the differences, it can be found that the differences in performance values mainly come from the internal differences between the upper, middle, and lower reaches of the Yangtze River Economic Belt.

Keywords

Yangtze River Economic Belt, Eco-Efficiency, Super-SBM Model, Theil's Index

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 研究背景

自改革开放以来，我国实施了较为宽松与灵活的经济政策，使其推动我国工业化和城镇化进程的步伐显著加速，极大促进了国民社会经济的飞速发展，国民的物质生活水平和品质得到显著改善和提升。然而，伴随而来的还有不容忽视的能源过度消耗与环境污染问题，一系列生态环境挑战逐渐显现，成为制约可持续发展的瓶颈。为此，为达到保护自然生态环境，改变并完善经济增长方式，建立生态文明国家的目标。我国陆续制定并出台了诸多与环境保护相关的法律法规，其政策措施的核心关键聚焦于削减资源的使用量，缓解环境污染问题，并致力于生态环境的修复与优化最终目标是提升我国生态效率。城市生态效率作为评判区域发展质量的关键指标之一，它为推动区域可持续发展战略及生态文明建设提供了坚实的科学依据。长江经济带，依托“黄金水道”的独特优势，正日益彰显其作为新经济增长引擎与生态文明实践先锋的战略重要性。鉴于此，将长江经济带作为研究焦点，不仅具有高度的代表性，还能发挥显著的示范引领作用，为其他地区提供可借鉴的经验与模式。

2. 文献综述

随着我国对自然生态环境保护意识的不断加强以及“双碳”政策的明确提出，生态效率这一概念迅速跃升为学者们的重点聚焦内容。此外，生态效率在分析与评估复合自然生态系统效率及效能方面的独特优势愈发凸显，它日渐成为各国研究者们探究和量化社会与自然生态协调可持续发展水平的有效途径和重要工具。对自然生态效率的最早关注与研究能够追溯至 1990 年的德国学者 Schaltegger 和 Sturm 的研究[1]。以此为基础，其他学者如：Huang *et al.* [2]、成金华等[3]也均定义了生态效率的概念与内涵，实质上说，生态效率普遍被学术界所接受为涵盖资源消耗、环境影响与经济产出三大核心要素。除此之外，生态效率可以被理解为“投入方面，力求减少对环境的影响或降低资源消耗，实现产出价值的不断攀升与提升”[4]。生态效率，作为评价区域经济协调可持续发展的一项关键量化指标，其核心在于利用有效

配置资源和社会资本，最大化提高经济活动效率与效益，最低限度减少对自然资源和生态环境的不利效益，旨在确保环境保护与经济发展并行不悖、和谐共赢[5]。生态效率全面兼顾经济、资源以及环境利益平衡，孙钰在其研究中，将其界定为以最低限度的资源消耗代价与最小环境成本交换最大化社会经济效益回报的投入 - 产出的对照关系[6]。随后各相关研究机构不断深入探索并更新其定义和内涵，但其根本思想认识大体相同，即核心思想是以最小化的社会资源与自然环境投入，实现最大化的经济产出的过程[7][8]。当前，伴随着协调可持续发展意识理念不断加强，如何构建更为科学且合理的评估体系以较为准确评估生态效率，并有效测算其具体数值，已成为学术界广泛关注的研究焦点。为实现这一目标，学者们不断探索并采用了多元化的方法体系，常见的有：单一比值法[9][10]、评估指标体系构建[11]-[13]、模型法。而模型法可以再进一步细分为以随机前沿分析(SFA)为重要代表的参数法[14]与以数据包络法(DEA)为核心代表的非参数法[15]。进一步地，Tone 阐释并提出了一种具备超效率性质的 SBM 模型，能够较好解决传统 DEA (数据包络分析)和 SBM 模型的局限性，因此广泛得到了学术界研究者们的一致关注与高度青睐[8][16][17]。学术界整体而言，测算与评价生态效率大多以超效率 SBM 模型为主要研究工具和方法[12]。

学界学者们在生态效率的概念及其测度方法上进行了广泛而深刻的探索与研究，取得了丰厚的学术成果。然而，由于研究文献较少且研究区域、时间、层面存在差异，导致区域生态效率差异和变动趋势等方面的结论均有不同程度的差异性。在聚焦长江经济带这一特定区域的生态效率研究方面，尽管已有一定探索，但相较于其他领域或更广泛区域的研究而言，其深度和广度仍有待进一步提升和加强。

3. 研究对象、研究方法与数据来源

3.1. 研究对象

长江经济带流域途经我国东、中、西部三个地区范围，其涵盖九个省以及两个直辖市，分别为江西省(赣)上海市(沪)、安徽省(皖)、浙江省(浙)、湖北省(鄂)、四川省(川)、江苏省(苏)、云南省(滇)、重庆市(渝)、湖南(湘)、贵州省(黔)，规划面积约 205.23 万平方公里，区域内含有多个经济增长极，整体实力强劲。根据《长江经济带发展规划纲要》，其被划分为上中下游三大流域：上游包含滇、渝、川、黔，中游有湘、赣、鄂，下游为苏、皖、沪、浙。以上述规划内容为基础，出于对流域内行政区划变更、可得的数据、连续的研究时间等方面的考虑，本文最终确定把长江经济带流域所覆盖的 108 个地级及以上城市(除毕节、铜仁，因数据缺失情况较为严重将其剔除)当成研究对象，具体城市及其分布见表 1。

Table 1. Administrative Division of the Yangtze River Economic Belt

表 1. 长江经济带行政区域划分

流域	所含省(市)	所含地级及以上城市
上游	四川(18 个)、重庆、贵州(4 个)、云南(8 个)	成都、自贡、攀枝花、泸州、德阳、绵阳、广元、遂宁、内江、乐山、南充、宜宾、广安、达州、资阳、眉山、巴中、雅安、重庆、贵阳、六盘水、遵义、安顺、昆明、昭通、曲靖、玉溪、普洱、保山、丽江、临沧
中游	江西(11 个)、湖北(12 个)、湖南(13 个)	南昌、景德镇、萍乡、九江、新余、鹰潭、赣州、宜春、上饶、吉安、抚州、武汉、黄石、十堰、荆州、宜昌、襄阳、鄂州、荆门、孝感、黄冈、咸宁、随州、长沙、株洲、湘潭、衡阳、邵阳、岳阳、常德、张家界、益阳、永州、郴州、娄底、怀化
下游	安徽(16 个)、江苏(13 个)、浙江(11 个)、上海	合肥、蚌埠、宣城、宿州、滁州、池州、阜阳、六安、淮南、铜陵、马鞍山、淮北、芜湖、安庆、黄山、亳州、南京、无锡、徐州、常州、苏州、南通、连云港、淮安、盐城、扬州、镇江、泰州、宿迁、杭州、嘉兴、湖州、舟山、金华、绍兴、温州、台州、丽水、衢州、宁波、上海

3.2. 研究方法

3.2.1. 非期望产出超效率 SBM 模型

由 Tone (2002) [18] 阐述并提出的超效率 SBM 模型同时具有超效率 DEA 以及 SBM 模型优势，使得其在评估城市生态效率方面的应用日益成熟与完善。鉴于此，本文采用超效率 SBM 模型度量长江经济带城市生态效率。模型如下。

一个样本城市是一个决策单元，假定每个研究对象有 n 个决策单元(DMU)，每一个 DMU 都涉及 3 类关键量度，即投入 x 、期望产出 y^a 以及非期望产出 y^b ，将它们用 3 个集合向量则可表示为： $x \in R^m$ ， $y^a \in R^{r_1}$ 以及 $y^b \in R^{r_2}$ ，其中 m 代表投入数量， r_1 代表期望产出的数量， r_2 代表非期望产出的数量。由此，可定义下列矩阵：

$$X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n] \in R^{m*n}$$

$$Y^a = [y_1^a, y_2^a, y_3^a, \dots, y_n^a] \in R^{r_1*n}$$

$$Y^b = [y_1^b, y_2^b, y_3^b, \dots, y_n^b] \in R^{r_2*n}$$

则超效率 SBM 模型如下：

$$\begin{aligned} \min \varphi &= \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{x}{x_{ik}}}{\frac{1}{r_1 + r_2} \left(\sum_{s=1}^{r_1} \frac{y^a}{y_{sk}^a} + \sum_{q=1}^{r_2} \frac{y^b}{y_{qk}^b} \right)} \\ s.t &= \begin{cases} x \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j, & i = 1, 2, \dots, m \\ y^a \leq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{sj}^a \lambda_j, & s = 1, 2, \dots, r_1 \\ y^b \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{qj}^b \lambda_j, & q = 1, 2, \dots, r_2 \\ x \geq x_k, y^a \leq y_k^a, y^b \geq y_k^b, \lambda \geq 0 \end{cases} \end{aligned}$$

上式中的 $\min \varphi$ 是目标函数，值越大代表效率越高， i 代表第 i 种投入， s 代表第 s 种期望产出， q 代表第 q 种非期望产出依次代表； x ， y^a ， y^b 依次为投入、期望产出以及非期望产出的松弛量； λ 则表示相应的权重矩阵向量，其和等于 1 则代表规模报酬可变，即投入与产出的比例随规模变化而变化，反之则代表规模报酬不变。

3.2.2. Theil 指数

泰尔指数起初被应用于考察和探究人口收入以及资源分配水平的公平性程度。它不仅能够测算某一区域的总体差异水平，还能将其分解为地区间差异和地区内差异，从而进一步深入考察差异的来源。泰尔指数法现已成为探究地区空间差异性和分析差异来源相关研究的重要工具。本文借助该方法来探析长江经济带总体及其三大流域地区之间生态效率的空间差异情况，具体公式如下：

$$\begin{aligned} T &= T_w + T_b \\ T_w &= \sum_{p=1}^m \left(\frac{n_p}{n} \cdot \frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \cdot T_p \end{aligned}$$

$$T_b = \sum_{p=1}^m \frac{n_p}{n} \cdot \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right) \cdot \ln \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right)$$

$$T_p = \frac{1}{n_p} \cdot \sum_{i=1}^{n_p} \left(\frac{e_i}{\bar{e}_p} \right) \cdot \ln \left(\frac{\bar{e}_p}{\bar{e}} \right)$$

上述式子中, T 代表研究对象地区总体泰尔指数值, T_w 表示研究地区内差异的泰尔指数值, T_b 表示研究地区间差异的泰尔指数值, T_p 表示各群组内部差异的泰尔指数值; m 、 n_p 、 n 分别表示研究对象地区分类的群组个数量、每个群组中的城市数量、研究对象地区中的城市总数量; e_i 、 \bar{e}_p 、 \bar{e} 分别代表第 i 个城市的生态效率值、各群组的生态效率均值、研究对象地区总体的生态效率均值。Theil 指数值域范围是 0 到 1 之间, 该值越大表明长江经济带生态效率差异越大, 反之则越小。

3.3. 数据来源

数据来源于《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国能源统计年鉴》以及相关省份的统计年鉴和统计公报。其中部分原始数据有一定缺失, 采用插值法等进行补充。

4. 长江经济带城市生态效率测算与分析

4.1. 指标构建

区域生态效率的关键核心为降低资源投入成本、减少污染排放与经济产出价值最大化。本文基于“投入 - 产出”分析框架, 设计并构建生态效率的评价指标体系。投入方面主要考虑社会资源与自然资源投入, 将年末单位从业人数、城市固定资产投资总额、城市建成区面积、城市用水总量、城市用电总量等 5 个指标作为投入指标; 产出指标重点包含期望产出与非期望产出, 前者重点关注经济发展和环境效益, 选用城市实际生产总值和建成区绿化覆盖面为期望产出指标; 非期望产出侧重考虑工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟(粉)尘排放量。构建的具体指标见表 2。

Table 2. Indicators of urban eco-efficiency

表 2. 城市生态效率指标

	一级指标	二级指标	指标说明	单位
社会资源投入		劳动力	年末单位从业人数	万人
		资本	城市固定资产投资总额	万元
投入指标		土地资源	城市建设用地面积	平方公里
自然资源投入		水资源	城市用水总量	万立方米
		能源资源	城市用电总量	万千瓦时
期望产出		经济发展	城市实际生产总值	万元
		环境效益	建成区绿化覆盖面	%
产出指标		废水排放量	工业废水排放量	万吨
		废气排放量	工业二氧化硫排放量	吨
		烟尘排放量	工业烟粉尘排放量	吨

4.2. 长江经济带地区城市生态效率测算结果分析

借助 MAXDEA 分析软件, 选用超效率 SBM 模型测算生态效率值, 为了较全面地考虑事物生态在时

间序列的动态演变以及空间区域的相互影响和联系，本文选择计算全局效率值进行分析。同时，鉴于现实世界中资源要素以及自然和社会环境在投入产出过程中常常呈现出复杂多变的规律，本文采用规模报酬可变(VRS)模型，针对 2000 年至 2021 年间长江经济带区域内各城市的生态效率进行计算与分析。长江经济带流域效率值的总体描述见表 3 和图 1，从表 3 与图 1 可以发现，2000~2021 年期间，长江经济带 108 个地级市的生态效率值整体水平略微呈“W”型的走势，均值的波动值较为剧烈，2003 年，该地区生态效率均值相较于 2002 年均值下降了约 29.25%，而 2021 年该地区生态效率均值相对于 2020 年增长了 22.34%。从极值角度发现，该地区生态效率的最大值与最小值波动变化较为平缓，大体趋势略微呈增长趋势。

基于软件测算取得的生态效率数值，进一步整理并梳理了长江经济带上游、中游以及下游地区各个流域城市生态效率的均值，由于篇幅有限，仅展示 2000 年、2003 年、2006 年、2009 年、2012 年、2015 年、2018 年、2021 年的数据，如表 4 所示，并展示其变化趋势，如图 2 所示。由表格数据和图表可以发现。

Table 3. Statistical description of regional eco-efficiency in the Yangtze River Economic Belt
表 3. 长江经济带地区生态效率统计性描述

年份	样本个数	均值	最大值	最小值	标准差
2000	108	0.617	2.110	0.116	0.441
2001	108	0.532	1.833	0.078	0.376
2002	108	0.506	2.845	0.096	0.402
2003	108	0.358	1.766	0.094	0.268
2004	108	0.366	1.361	0.082	0.251
2005	108	0.382	1.518	0.091	0.265
2006	108	0.370	1.056	0.106	0.211
2007	108	0.416	1.271	0.097	0.262
2008	108	0.410	1.254	0.128	0.237
2009	108	0.409	1.052	0.121	0.232
2010	108	0.409	1.060	0.124	0.225
2011	108	0.411	1.046	0.124	0.228
2012	108	0.426	1.696	0.116	0.258
2013	108	0.381	1.026	0.109	0.188
2014	108	0.378	1.023	0.131	0.181
2015	108	0.395	1.120	0.136	0.206
2016	108	0.449	1.111	0.138	0.254
2017	108	0.393	1.042	0.137	0.197
2018	108	0.455	1.315	0.137	0.265
2019	108	0.450	1.087	0.145	0.238
2020	108	0.479	1.066	0.155	0.245
2021	108	0.586	1.901	0.152	0.333

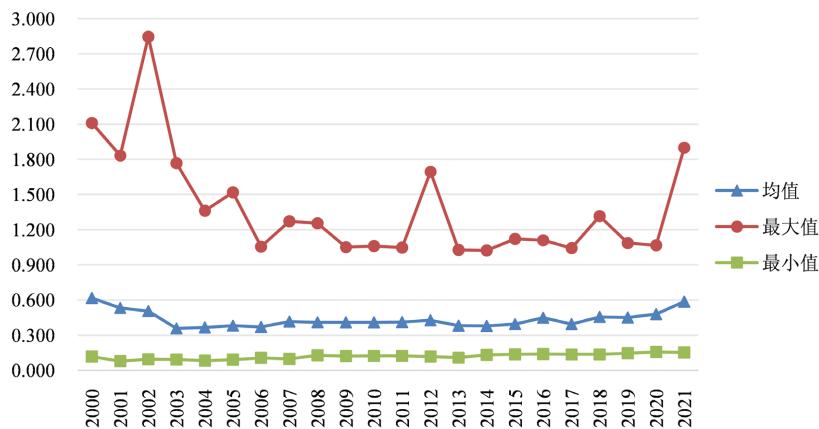


Figure 1. Trends in eco-efficiency in the Yangtze River Economic Belt region
图 1. 长江经济带地区生态效率变化趋势

Table 4. Mean values of eco-efficiency in the Yangtze River Economic Zone
表 4. 长江经济带生态效率均值

年份	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018	2021	均值
整体	0.617	0.358	0.370	0.409	0.426	0.395	0.455	0.586	0.452
上游	0.523	0.437	0.427	0.427	0.455	0.385	0.451	0.554	0.457
中游	0.706	0.335	0.337	0.380	0.402	0.391	0.457	0.611	0.452
下游	0.608	0.319	0.355	0.421	0.427	0.405	0.447	0.589	0.446

第一，城市生态效率和变化趋势呈现出一定的空间区域不平衡态势，下游流域地区在研究期限内的整体生态效率均值与长江经济带总地区整体生态效率均值的变化幅度最为接近，2003之前以及2015年以后(包括2015年)，长江经济带上中下游地区的生态效率水平差异较小，2003~2009年期间上中下游地区的生态效率值相差较大；长江经济带上中上游地区的生态效率差异从2012年到2015年呈现出在一定波动中减小的趋势，但中上游地区与下游地区的生态效率仍存在差异，且有一定的增长趋势。具体来看，上游、中游与下游地区的生态效率值分别从2000年的0.523、0.706、0.608变化为2021年的0.554、0.611、0.589。在此对比上游流域、中游流域与下游流域地区和长江经济带整体流域的生态效率值的变化趋势，下游地区2000年处于相近的生态福利绩效水平，中游地区生态效率值相比总体上呈现为先高后低再高的趋势，上游地区生态效率值相比总体上呈现为先低后高再低的趋势，并且中游地区的生态效率相比上游地区呈现出先高于后低于再高于的趋势；下游地区的均值在2008年之前均略低于流域整体平均水平，此后均高于整体均值或持平。整体分析表明长江经济带生态效率有所下降，上中游地区的生态效率表现波动幅度高于下游地区，整体生态效率略高于下游地区。

第二，长江经济带上中下游地区及整体的生态福利绩效均值都呈现出波动中下降的趋势。具体数值显示，流域整体的生态效率下降了5.02%，中游和下游地区的生态效率降幅分别为13.46%、3.13%，其中长江下中游地区的生态效率在2000年至2003年有急剧下降，上游地区生态效率在2000年至2015年间下降相对平缓。综合上述分析可知，长江经济带整体以及各个流域的生态效率均值都小于1，这说明长江经济带在2000~2021年间生态效率水平虽有在改进，但可能由于长江经济带跨度较大，不同城市之间资源禀赋、经济发展、创新能力等固有差距较大等原因，使结果表现为部分城市生态效率大于1，部分城市生态效率相对无效，即长江经济带生态效率的改善主要依靠区域中心城市的发展带动的局面。

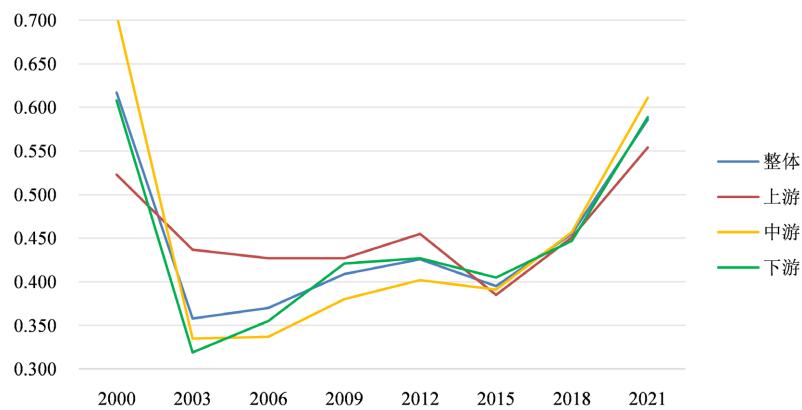


Figure 2. Trends in the mean eco-efficiency of the Yangtze River Economic Zone
图 2. 长江经济带生态效率均值变化趋势

4.3. 区域差异分析

根据上述的研究结果初步表明长江经济带城市生态效率存在一定的空间差异特征，为研究不同区域之间生态效率的差异在这 21 年间的变化，根据泰尔指数计算公式和求得的相关数据得到泰尔指数，以此来反映长江经济带城市生态效率的差异情况，具体计算结果见表 5。

Table 5. Eco-efficiency Tel Index and contribution ratio of Yangtze River Economic Belt
表 5. 长江经济带生态效率泰尔指数及贡献率

年份	T	上游 T1	中游 T2	下游 T3	Tw	Tb	Dw (%)	Db (%)
2000 年	0.2370	0.3214	0.2206	0.1807	0.2302	0.0068	97.12%	2.88%
2001 年	0.2217	0.2970	0.1979	0.1857	0.2203	0.0014	99.36%	0.64%
2002 年	0.2469	0.2225	0.2960	0.2052	0.2419	0.0050	97.98%	2.02%
2003 年	0.1979	0.3115	0.1318	0.1129	0.1883	0.0095	95.18%	4.82%
2004 年	0.1798	0.2845	0.0896	0.1090	0.1666	0.0132	92.67%	7.32%
2005 年	0.1899	0.2610	0.1275	0.1411	0.1794	0.0105	94.45%	5.55%
2006 年	0.1342	0.1636	0.1313	0.0966	0.1293	0.0049	96.33%	3.66%
2007 年	0.1652	0.1926	0.1764	0.1236	0.1623	0.0029	98.26%	1.75%
2008 年	0.1391	0.1387	0.1293	0.1430	0.1375	0.0017	98.81%	1.19%
2009 年	0.1370	0.1652	0.1058	0.1370	0.1357	0.0013	99.05%	0.95%
2010 年	0.1313	0.1608	0.1064	0.1250	0.1301	0.0012	99.06%	0.93%
2011 年	0.1316	0.1500	0.0968	0.1468	0.1313	0.0003	99.79%	0.21%
2012 年	0.1494	0.2165	0.0918	0.1400	0.1483	0.0012	99.20%	0.80%
2013 年	0.1074	0.1114	0.0807	0.1254	0.1069	0.0006	99.48%	0.51%
2014 年	0.1009	0.1016	0.0747	0.1209	0.1004	0.0006	99.43%	0.57%
2015 年	0.1173	0.1354	0.0952	0.1223	0.1170	0.0003	99.79%	0.21%
2016 年	0.1393	0.1400	0.1357	0.1384	0.1379	0.0015	98.94%	1.06%
2017 年	0.1086	0.1285	0.1153	0.0843	0.1071	0.0015	98.65%	1.36%

续表

2018 年	0.1443	0.2033	0.1265	0.1136	0.1442	0.0001	99.90%	0.10%
2019 年	0.1233	0.1454	0.1043	0.1191	0.1208	0.0026	97.92%	2.08%
2020 年	0.1205	0.1370	0.0820	0.1309	0.1160	0.0045	96.26%	3.74%
2021 年	0.1498	0.1877	0.1326	0.1366	0.1491	0.0007	99.51%	0.49%

注: T 、 T_b 、 T_w 分别表示区域总体、区域之间、区域内部的差异; D_b 、 D_w 分别表示区域之间和区域内部的差异贡献率。

根据表 5 显示, 2000 年至 2021 年, 长江经济带城市间的生态效率总体差距呈波动中下降的趋势, 到 2021 年已降低 36.8%, 说明长江经济带生态效率正在向逐渐协调的方向发展。从不同的差异指标来看, 区域间差异的贡献率在总体上表现为先增大后减小, 这说明在长江经济带在转型发展的过程中, 相对较发达的城市拥有更快的发展速度以及发展所需的资源、机会, 较早转化为新的经济发展模式, 从而加大了区域间的生态效率差距, 之后发达地区率先发展带来的各种效应会在区域内带动欠发达地区发展, 从而逐渐缩小差距。但其贡献率与区域内差异相比较小, 其对区域差异的影响较小, 区域内差异的贡献率整体维持在较高水平, 是区域差异的主要来源, 这表明一方面区域内生态效率较高的城市对区域内周边较低生态效率的城市辐射带动程度有待增强, 另一方面, 区域内中心城市的虹吸效应较强, 资源、人才集聚程度更高。

5. 结论与建议

5.1. 结论

(1) 利用超效率 SBM 模型测算出的生态效率结果显示, 长江经济带的生态效率呈现出“上升 - 下降 - 上升 - 下降”的变动趋势。各城市在总体上具有一定的差异性, 城市生态效率和变化趋势呈现出一定的空间区域不平衡态势, 下游地区在研究期限内的整体生态效率均值与长江经济带地区整体生态效率均值的变化幅度最为接近, 相比之下, 中游和上游地区的生态效率均值相对于整体生态效率均值波动幅度较大。长江经济带上中上游地区的生态效率差异从 2012 年到 2015 年呈现出在一定波动中减小的趋势, 但中上游地区与下游地区的生态效率仍存在差异, 且有一定的增长趋势。整体分析表明长江经济带生态效率有所下降, 上中游地区的生态效率表现波动幅度高于下游地区, 整体生态效率略高于下游地区。

(2) 总的来看, 部分样本城市的生态效率值都随时间变化表现出上升趋势, 也有部分样本城市存在相反情况, 随着时间变化呈现出下降的趋势, 样本城市中存在大量生态福利绩效值相对无效的城市, 仍留有宽阔的提升空间。具体表现为, 长江经济带整体以及各个流域的生态效率均值都小于 1, 这说明长江经济带在 2000~2021 年间生态效率水平虽有所改进, 但可能由于长江经济带跨度较大, 不同城市之间资源禀赋、经济发展、创新能力等固有差距较大等原因, 使结果表现为部分城市生态效率大于 1, 部分城市生态效率相对无效, 即长江经济带生态效率的改善主要依靠区域中心城市的发展带动的局面。

(3) 从流域整体上来看, 长江经济带城市间的生态效率总体差距呈波动中下降的趋势, 到 2021 年已降低 36.8%, 说明长江经济带生态效率正在向逐渐协调的方向发展。泰尔指数呈现出在波动中下降的趋势, 说明流域生态效率值总的差异在逐步变小。根据差异分解结果显示, 地区间差异的贡献率从 2000 年的 2.88% 下降到 2021 年的 0.49%, 表明三大流域间的差异有所减少, 且地区间差异的贡献占比始终较低, 可知其效率值差异主要来源于长江经济带上中下游流域内部差异。区域内差异的贡献率整体维持在较高水平, 是区域差异的主要来源, 这表明一方面区域内生态效率较高的城市对区域内周边较低生态效率的城市辐射带动程度有待增强, 另一方面, 区域内中心城市的虹吸效应较强, 资源、人才集聚程度更高。

5.2. 建议

根据上述分析和研究结论可以看出，在当前的绿色、高质量发展的背景下，长江经济带生态效率值总体留有一定的提升空间。虽然区域间差异总体趋势在逐渐缩小，但区域内部仍然存在明显的差异，因此结合上述研究提出建议，促使长江经济带效率值得以提升，使区域实现协调可持续发展。

(1) 加强地区间互动交流，缩小地区发展差距。当前，长江经济带面临着各个流域间发展不平衡的显著问题。不同流域的经济发展速度、规模和质量均存在较大的差异，城市间的发展差距尤为突出。这种不均衡不仅体现在经济总量上，还深刻影响着产业结构、科技创新、民生福祉等多个方面。同时，资源配置的不合理性也是制约长江经济带整体发展的重要因素之一，资源分布不均、利用效率不高的问题亟待解决。针对这些挑战，长江经济带沿线的各城市可以积极探索和实践建立与资源和政策互补紧密相关的跨地区组织或机构。这些机构或组织将作为促进城市间友好交流合作的桥梁和纽带，通过信息共享、资源整合、项目协作等多种形式，推动各地区在产业发展、科技创新、生态环境保护等领域的深度合作。此类跨地区组织或机构的建立，将有助于打破地区间的行政壁垒，消除因行政区划造成的资源流动障碍和市场分割现象。它们将促进政策协同和制度对接，为长江经济带内的企业和个人提供更加便捷、高效的公共服务，从而激发市场活力和社会创造力。更为重要的是，这些跨地区组织或机构将为长江经济带的协调发展奠定坚实的组织基础。它们将推动形成更加开放、包容、协同的区域发展格局，促进各地区在优势互补、互利共赢的基础上实现共同发展。这不仅有助于提升长江经济带的整体竞争力，还将为中国经济的持续健康发展注入新的强大动力。

(2) 合理促进资源分配，提高资源利用水平。对于长江经济带上、中、下游地区生态效率存在差距的发展现状，可在资金、人才和技术等层面上实行合理配置，助力效率值较低的地区更好提升城市生态效率。长江经济带沿线的各城市可以通过设立专项基金、引入社会资本等多种方式，为生态效率较低的地区提供充足的资金支持。主要用于生态环境保护和修复项目、绿色基础设施建设、清洁能源开发利用等方面，推动这些地区加快形成绿色生产方式和生活方式，提高资源利用效率，减少环境污染和生态破坏。其次，应建立跨区域的人才交流和合作机制，鼓励和支持生态环保领域的专家、学者和技术人才向生态效率较低地区流动。加强对这些地区的人才培养和引进力度，提升当地环保科技研发能力和管理水平，为生态效率的提升提供坚实的人才保障。同时，积极推动先进环保技术在长江经济带各地区的广泛应用和示范推广。通过建立技术转移和成果转化平台，促进高校、科研机构与企业之间的产学研合作，加快科技成果向现实生产力转化。特别是对于生态效率较低的地区，要优先引进和推广那些能够显著降低能耗、减少排放、提高资源循环利用率的先进技术，助力这些地区实现生态效率的快速跃升。缩小长江经济带上、中、下游地区在生态效率方面的差距，推动整个长江经济带实现更高质量、更可持续的发展。

参考文献

- [1] Schaltegger, S. and Sturm, A. (1990) Okologische Rationalität. *Die Unterehmung*, **44**, 273-290.
- [2] Huang, J., Yang, X., Cheng, G. and Wang, S. (2014) A Comprehensive Eco-Efficiency Model and Dynamics of Regional Eco-Efficiency in China. *Journal of Cleaner Production*, **67**, 228-238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.12.003>
- [3] 成金华, 孙琼, 郭明晶, 徐文赟. 中国生态效率的区域差异及动态演化研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 47-54.
- [4] Palomares, M.B., Acevedo, R.R., Reymundo, B.Q. and Flores, S.C. (2021) Urban Form and Urban-Agricultural Eco-Efficiency as an Indicator for Sustainable Urban Development in Huancayo Province, Peru. *Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology*, **39**, 103-117. <https://doi.org/10.9734/ajaees/2021/v39i630598>
- [5] 胡熠娜, 彭建, 刘焱序, 王曼, 王仰麟. 区域生态效率研究进展[J]. 生态学报, 2018, 38(23): 8277-8284
- [6] 孙钰, 梁一灿, 齐艳芬, 崔寅. 京津冀城市群生态效率的时序演进与空间分布特征[J]. 生态经济, 2021, 37(12):

- 74-82.
- [7] 李豫新, 曹梦渊. 贸易开放、环境规制与城市生态效率——基于黄河流域城市面板数据的实证[J]. 统计与决策, 2023, 39(3): 164-169.
 - [8] 牛建广, 辛伯雄, 王明琪. 城市生态效率与生态韧性的协调发展评价与障碍因子识别[J]. 统计与决策, 2024, 40(4): 79-84.
 - [9] Vogtländer, J.G., Bijma, A. and Brezet, H.C. (2002) Communicating the Eco-Efficiency of Products and Services by Means of the Eco-Costs/Value Model. *Journal of Cleaner Production*, **10**, 57-67.
[https://doi.org/10.1016/s0959-6526\(01\)00013-0](https://doi.org/10.1016/s0959-6526(01)00013-0)
 - [10] 唐平, 杨德林. 数字经济提升了生态效率吗?——基于生态足迹的实证检验[J]. 西部论坛, 2024, 34(4): 50-65.
 - [11] 谢云飞, 黄和平. 环境信息公开对城市生态效率的影响及作用机制[J]. 华东经济管理, 2022, 36(5): 79-88.
 - [12] 曾祥静, 何彪, 马勇, 童昀. 长江中游城市群县域生态效率时空格局及多维动态演进[J]. 地理科学, 2023, 43(6): 1088-1100.
 - [13] 魏向杰, 张子略. 智慧城市建设试点对区域生态效率的溢出效应[J]. 安徽师范大学学报(社会科学版), 2024, 52(2): 122-135.
 - [14] 陈菁泉, 刘娜, 马晓君. 中国八大综合经济区能源生态效率测度及其驱动因素[J]. 中国环境科学, 2021, 41(5): 2471-2480.
 - [15] Wang, Y. and Chen, X. (2020) Natural Resource Endowment and Ecological Efficiency in China: Revisiting Resource Curse in the Context of Ecological Efficiency. *Resources Policy*, **66**, Article ID: 101610.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101610>
 - [16] 侯孟阳, 姚顺波. 中国城市生态效率测定及其时空动态演变[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(3): 13-21.
 - [17] 邓荣荣, 张翱祥, 陈鸣. 长江经济带高铁开通对城市生态效率的影响——基于 DID 与 SDID 的实证分析[J]. 华东经济管理, 2021, 35(5): 1-11.
 - [18] Tone, K. (2002) A Slacks-Based Measure of Super-Efficiency in Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, **143**, 32-41. [https://doi.org/10.1016/s0377-2217\(01\)00324-1](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(01)00324-1)