

长三角城市生态效率的地区差异与空间收敛

杨桐彬^{1a, 1b} 朱英明^{1a, 1b} 王念^{1a, 1b} 周波²¹

(1. 南京理工大学 a. 经济管理学院; b. 江苏产业集群研究基地, 江苏南京 210094;

2. 南京航空航天大学经济与管理学院, 江苏南京 211106)

【摘要】: 文章将长三角地区划分为五大生态区, 在利用熵值法和 DEA 方法测度 2005-2018 年长三角地区 41 个城市生态效率的基础上, 使用 Dagum 基尼系数方法测度生态效率的地区差异, 并借助变异系数法和空间杜宾模型, 检验其收敛特征。研究结果表明: 长三角地区整体生态效率水平较低, 五大生态区之间存在一定差距; 长三角地区整体基尼系数呈现波动下降的趋势, 区域间差异和超变密度对地区差异的贡献率较高, 而区域内差异的贡献率较低; 长三角地区整体以及西部和南部生态区具有 σ 收敛特征, 长三角地区生态效率存在显著的 β 收敛特征, 五大生态区存在显著的俱乐部收敛特征, 同时生态效率具有明显的空间溢出效应。据此, 长三角区域一体化进程中应努力缩小区域内生态效率差距, 以一体化思维解决生态治理难题, 通过产业一体化带动生态环境一体化。

【关键词】: 长三角区域一体化 生态效率 Dagum 基尼系数 空间收敛

【中图分类号】: F062.2; F127 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1007-5097 (2020) 07-0028-08

一、引言及文献综述

长三角地区三省一市(江苏、浙江、安徽、上海)经济社会发展成效显著, 经济总量占到全国近 1/4, 是中国经济最具活力、开放程度最高、创新能力最强的地区之一。但是, 长期粗放式经济增长方式使长三角地区付出了巨大的资源与环境代价(毕军等, 2009)^[1]。2019 年 12 月《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》正式印发, 其中强调三省一市要围绕“生态环境”等重点领域展开合作, 生态环境一体化发展将是未来长三角区域一体化进程中的重要维度。因此, 提升长三角地区整体生态效率, 缩小地区内部生态效率差距, 成为长三角区域一体化进程中的必然选择。目前来看, 无论是经济社会发展, 抑或是生态环境保护, 上海均处于领先水平, 江苏和浙江紧随其后, 安徽则相对落后。而这种地区内部发展的不平衡, 降低了长三角地区生态效率的整体水平。通过改善生态效率空间分布的非均衡性, 实现低水平区域生态效率向高水平区域收敛, 是提升长三角地区整体生态效率的可行路径。因此, 在长三角区域一体化背景下, 研究长三角生态效率的地区差异与空间收敛, 对于促进地区内部缩小生态效率差距, 助力长三角生态环境一体化发展, 具有重要的现实意义。

目前对生态效率的研究涉及内涵特征(Ellerbrock and Young, 1994)^[2]、评价方法(Dahlstrom and Ekins, 2010)^[3]、地区差异(Liet.al, 2018)^[4]、影响因素(Maet.al, 2018)^[5]等多个方面。生态效率是一定时期内经济增长与环境负荷的比值, 学者普

作者简介: 杨桐彬(1993), 男, 黑龙江牡丹江人, 博士研究生;研究方向: 资源与环境经济学;朱英明(1965), 男, 山东莱芜人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 产业经济学;王念(1990), 女, 广西南宁人, 广西财经学院讲师, 南京理工大学博士研究生, 研究方向: 产业经济学;周波(1993), 男, 安徽芜湖人, 博士研究生, 研究方向: 环境经济管理。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“新常态下产业集聚的环境效应与调控政策研究”(15ZDA053);文化名家暨“四个一批”人才自主选题项目“我国经济集聚、环境污染与环境规制”(中宣干字[2018]86 号);江苏省自然科学基金项目“产业集聚对环境影响:空间效应、空间分异与空间优化(BK20171422)。

遍将资源消耗与环境污染作为投入指标,经济增长与社会发展作为产出指标,衡量区域生态效率水平 (Seppälä et al, 2010)^[6]。评价方法主要有比值评价法、生态足迹法、综合评价法等 (黄雪琴和王婷婷, 2015)^[7]。其中, 综合评价法可以全面反映资源环境与经济社会之间的协调发展关系, 具有较强的解释力, 得到广泛应用 (郭存芝等, 2016)^[8]。同时, 较多学者在建立综合评价指标体系后, 使用层次分析法、主成分分析法、DEA 等方法测度区域生态效率 (屈小娥, 2018; 刑贞成等, 2018)^[9-10]。

在生态效率测度的基础上, 学者进一步研究生态效率的地区差异和影响因素。屈小娥 (2018) 研究发现中国区域生态效率呈现“东—中—西—东北”的梯度递减格局, 经济发展水平、环境规制、结构变动、对外开放和城镇化水平等因素是影响生态效率变动的主要因素^[9]。由于中国区域差异明显, 较多学者针对不同地理单元, 对区域生态效率进行更为细致的研究。例如, 长江中游城市群 (罗能生等, 2018)^[11]、京津冀城市群等 (何砚和赵弘, 2018)^[12]。同时, 由于长三角地区经济社会发展与资源环境之间的矛盾日益凸显, 近年来针对长三角地区生态效率的研究逐步增多 (毕斗斗等, 2018)^[13]。

本文将长三角地区划分为五大生态区, 借鉴现有文献, 首先构建包含能源与环境投入和经济与社会产出的综合指标体系, 利用熵值法和 DEA 方法测度 2005–2018 年长三角地区 41 个城市的生态效率。进而使用 Dagum 基尼系数方法测度生态效率的地区相对差异, 并按子群分解的方法将其分解为区域间、区域内和超变密度三部分, 以揭示其差异来源。其次, 采用变异系数法和空间杜宾模型, 检验长三角地区生态效率的 σ 收敛、 β 收敛和俱乐部收敛, 深入分析生态效率差距的演变趋势。最后, 提出促进长三角生态环境一体化的政策建议。

二、研究方法 with 数据来源

(一) 研究方法

1. 熵值法与 DEA 方法

(1) 熵值法。本文在构建生态效率综合指标体系的基础上, 使用熵值法客观赋权, 生成包含“资源利用”与“环境污染”投入以及“经济发展”与“社会发展”产出的综合指标。在使用熵值法生成综合指标时, 首先需要进行指标标准化, 然后计算指标比值和熵值, 进而计算差异系数和权重系数, 最后采用线性加权综合法计算所有指标的综合值。具体过程可参考郭存芝等 (2016)^[8]的研究。

(2) DEA 方法。学者普遍使用传统 DEA 模型评价生态效率, 但存在多个有效决策单元无法进一步比较的问题。而超效率 DEA 模型可以有效克服这一缺陷, 能够区分生态效率有效 (即效率值为 1) 的决策单元之间的效率差异, 进而对所有决策单元进行排序。因此, 本文使用超效率 DEA 模型测算 2005–2018 年长三角地区 41 个城市的生态效率。

2. Dagum 基尼系数方法

本文借鉴 Dagum 基尼系数方法测度长三角地区生态效率差异 (Dagum, 1997)^[14]。基本公式如下:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{l=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hl}|}{2n^2 \mu} \quad (1)$$

其中, y_{ji} (y_{hl}) 表示 j (h) 区域内任意城市的生态效率水平; μ 表示长三角地区 41 个城市生态效率水平的均值; $n=41$, $k=5$, n_j (n_h) 表示 j (h) 区域内城市数量。在进行基尼系数分解时, 先要依据生态效率水平的均值对区域进行排序, 即 $\mu_1 \leq \dots \leq \mu_j \leq \dots \leq \mu_k$ 。根据 Dagum 基尼系数分解策略, 将基尼系数分解为三个部分: 区域内差异贡献 G_r 、区域间差异贡献 G_m 和超变密度贡献 G_t , 即

$$G=G_w+G_{nb}+G_t。$$

$$G_j = \frac{1}{2\mu_j n_j^2} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}| \quad (2)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_j p_j s_j \quad (3)$$

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\mu_j + \mu_h)} \quad (4)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (5)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (6)$$

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - p_{jh}}{d_{jh} + p_{jh}} \quad (7)$$

$$d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x) \quad (8)$$

$$p_{jh} = \int_0^\infty dF_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x) \quad (9)$$

式 (2) 和式 (3) 分别表示 j 区域的基尼系数 G_j 和区域内差异贡献率 G_w ；式 (4) 和式 (5) 分别表示 j 和 h 区域的区域间基尼系数 G_{jh} 和区域间差异贡献率 G_{nb} ；式 (6) 表示超变密度贡献率 G_t ，其中， $p_j = n_j/n$ ， $s_j = n_j \mu_j / n \mu$ ， $j=1, 2, \dots, k$ ； D_{jh} 表示 j 和 h 区域间生态效率水平的相对影响，具体为公式 (7)； d_{jh} 表示区域间生态效率水平贡献率差值，即 j 和 h 区域间所有 $y_{ji} - y_{hr} > 0$ 的样本值的加权平均， p_{jh} 表示超变一阶矩，即 j 和 h 区域间所有 $y_{hr} - y_{ji} > 0$ 的样本值的加权平均， $F_h(F_j)$ 分别为 h(j) 区域的累积密度分布函数，公式分别为 (8) 和 (9)。

3. 收敛性检验方法

(1) σ 收敛。 σ 收敛反映了不同城市生态效率水平的离散程度随着时间的推移呈现持续下降的过程。本文采用变异系数法考察长三角地区生态效率的 σ 收敛，具体计算公式如下：

$$\sigma_j = \frac{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N_j} (EE_{j,i} - \overline{EE}_{j,i})^2 \right] / N_j}}{\overline{EE}_{j,i}} \quad (10)$$

其中，j 表示区域；i 表示城市； N_j 表示第 j 个区域内城市数量；EE 表示生态效率； \overline{EE} 表示生态效率均值。

(2) β 收敛。 β 收敛是指生态效率水平落后的城市具有较高的增长率，因此会逐步赶上高效率城市，两者之间的差距逐渐缩小并最终达到一致的稳态水平。 β 收敛进一步分为 β 绝对收敛和 β 条件收敛。长三角地区城市间要素流动频繁，经济联系密切，存在一定的空间依赖性。因此，应将空间因素纳入生态效率收敛模型。本文建立生态效率 β 收敛的空间杜宾模型，绝对收敛和条件收敛模型分别为：

$$\ln\left(\frac{EE_{i,t}}{EE_{i,t-1}}\right) = \alpha + \beta \ln EE_{i,t-1} + \rho_0 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln\left(\frac{EE_{j,t}}{EE_{j,t-1}}\right) + \rho_1 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln EE_{j,t-1} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{i,t} \quad (11)$$

$$\ln\left(\frac{EE_{i,t}}{EE_{i,t-1}}\right) = \alpha + \beta \ln EE_{i,t-1} + \lambda X_{i,t} + \rho_0 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln\left(\frac{EE_{j,t}}{EE_{j,t-1}}\right) + \rho_1 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln EE_{j,t-1} + \delta \sum_{j=1}^n w_{ij} X_{j,t} + \mu_i + \nu_t + \varepsilon_{i,t} \quad (12)$$

式 (11) 和 (12) 中, EE 表示生态效率水平; i 表示城市; t 表示年份; $\ln(EE_{i,t}/EE_{i,t-1})$ 表示第 i 个城市第 t 年的生态效率增长速度; μ_i 是地区固定效应; ν_t 是时间固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 是随机误差项; α 、 β 和 λ 为待估参数, $\beta < 0$ 意味着收敛; $b = -\ln(1+\beta)/T$, b 越大, 表示收敛速度越快; ρ 和 δ 为空间相关系数, 反映邻近地区的相关变量对本地区的影响; $w_{i,j}$ 为空间权重矩阵的元素; X 为控制变量, 本文选取人力资本 (Hum)、技术进步 (Tec)、环境规制 (Env)、产业集聚 (Ind)、对外开放 (Ope) 作为控制变量。其中, 使用每万人中普通高校在校生人数表示人力资本水平, 使用 RD 经费支出占财政支出比重作为技术进步的代理变量, 使用工业 SO_2 去除率表示环境规制强度, 使用区位熵方法测算工业集聚程度反映产业集聚状况, 使用 FDI 与 GDP 的比值表示对外开放程度。

(3) 俱乐部收敛。俱乐部收敛是指具有相似特征的城市之间的生态效率差距呈现缩小的趋势。基于上述生态效率 β 收敛的空间杜宾模型以及长三角地区 41 个城市的分组情况, 继续对长三角地区生态效率的俱乐部收敛状况进行检验。

(二) 数据来源

本文样本为 2005–2018 年长三角地区 41 个城市。生态效率综合指标体系和实证模型中变量涉及的数据主要来自《中国城市统计年鉴》《中国统计年鉴》以及各省市统计年鉴、农村统计年鉴和统计公报。部分缺失数据采用插值法和自回归移动平均法补齐。地区生产总值、人均 GDP、人均可支配收入等数据使用相关的价格指数调整为以 2005 年为基期的实际值。

三、生态效率测度

(一) 五大生态区划分

一方面, 长三角地区跨界污染现象十分严重, 在多主体治理模式下, 导致“生态公地”问题 (席恺媛和朱虹, 2019)^[15]。因此, 打破省市之间的行政区划壁垒, 是长三角地区实现生态环境领域“共商、共享、共治”和推进生态环境一体化的必然要求。另一方面, 本文以资源环境投入和经济社会产出测算各城市的生态效率水平, 生态区的划分应依据城市之间资源环境相关程度和经济社会发展程度。因此, 本文突破行政边界, 探索性提出长三角五大生态区的概念, 揭示长三角地区生态效率的差异来源和演变趋势, 为三省一市实现生态环境领域的协同提供经验证据。具体而言: 东部生态区主要包含上海、江苏南部城市以及浙江东北部城市, 经济社会发展水平较高, 大部分城市处于太湖流域; 西部生态区主要包含安徽中西部城市, 同处于皖江经济带西段, 自然环境以沿江平原丘陵为主; 南部生态区主要包含安徽黄山以及浙江西南部城市, 自然环境以山地丘陵为主; 北部生态区主要包含江苏北部城市和安徽北部城市, 经济社会发展程度相对较低, 同处于淮河流域; 中部生态区主要包含南京都市圈内的城市, 经济社会联系紧密, 一体化程度较高。

（二）构建指标体系

本文依据李胜兰等（2014）关于区域生态效率内涵的阐述，即以较少的资源消耗和环境污染，生产具有竞争力的产品和服务以满足人类需要和改善生活^[16]，建立长三角地区生态效率水平的指标评价体系，具体内容见表 1 所列。进而使用熵值法和 DEA 方法测算出 2005-2018 年长三角地区 41 个城市生态效率水平，具体结果见表 2 所列。

表 1 长三角地区生态效率水平指标评价体系

类型	一级指标	二级指标	三级指标
投入指标	资源利用 X1	土地 X11	单位产值使用土地面积 X111
		水 X12	单位产值用水量 X121
		电 X13	单位产值用电量 X131
		气 X14	单位产值煤气用量 X141；单位产值液化石油气用量 X142
	环境污染 X2	工业三废 X21	单位工业产值废水排放量 X211；单位工业产值二氧化硫排放量 X212；单位工业产值烟尘排放量 X213；固体废弃物综合利用率 X214
		农业污染 X22	单位播种面积化肥用量 X221；单位播种面积农药用量 X222
		生活污染 X23	生活污水处理率 X231；生活垃圾无害化处理率 X232
产出指标	经济发展 Y1	经济增长 Y11	地区生产总值增长率 Y111
		经济规模 Y12	人均地区生产总值 Y121；人均固定资产投资 Y122；人均财政收入 Y123
		经济结构 Y13	第三产业产值比重 Y131；工业化系数 Y132
		经济效益 Y14	第一产业劳动生产率 Y141；第二产业劳动生产率 Y142；第三产业劳动生产率 Y143
		经济外向度 Y15	单位产值进出口总额 Y151；单位产值外商直接投资 Y152
	社会发展 Y2	生活水平 Y21	人均可支配收入 Y211 人均年末储蓄余额 Y212；人均商品消费额 Y213
		基础设施 Y22	人均城市道路面积 Y221；人均绿地面积 Y222
		科技教育 Y23	科学技术支出占财政支出比重备 1；每万人拥有普通高校教师数/232
		公共服务 Y24	每万人拥有公共汽车数 Y241；每万人拥有医生数 Y242

	文化娱乐 Y26	人均公共图书量 Y251；单位就业人 员中文化体育娱乐业就业比重 Y252
--	-------------	--

表 2 2005-2018 年长三角地区 41 个城市生态效率均值

东部生态区		西部生态区		南部生态区		北部生态区		中部生态区	
城市	均值	城市	均值	城市	均值	城市	均值	城市	均值
上海	0.8119	合肥	0.5206	温州	0.3627	徐州	0.2285	南京	0.5442
无锡	0.6318	铜陵	0.1905	金华	0.4289	连云港	0.2094	扬州	0.3782
常州	0.3803	安庆	0.0789	衢州	0.1528	淮安	0.1515	镇江	0.4370
苏州	0.7409	六安	0.0684	台州	0.3204	盐城	0.2016	泰州	0.3044
南通	0.3859	池州	0.0673	丽水	0.1406	宿迁	0.1276	马鞍山	0.1695
杭州	0.5822			黄山	0.1685	蚌埠	0.1530	滁州	0.0980
宁波	0.5205					淮南	0.0872	宣城	0.0873
嘉兴	0.6072					淮北	0.1182	芜湖	0.2560
湖州	0.3149					阜阳	0.0624		
绍兴	0.4919					宿州	0.0592		
舟山	0.4351					亳州	0.0681		

（三）生态效率测算结果

观察表 2 测算结果，可以发现长三角地区整体生态效率水平较低，五大生态区之间存在一定差距。继续观察图 1，可以发现 2005-2018 年长三角地区和五大生态区生态效率水平的变动趋势。(1) 东部生态区生态效率水平一直处于领先地位，而北部生态效率水平较低，这与长三角地区整体经济社会发展的现实情况相符合。(2) 整体来看，2005-2011 年长三角地区生态效率水平波动下降，2012-2016 年有所上升，2017 年以后再次出现下降趋势，这表明长三角地区“十二五”时期资源节约型和环境友好型社会建设成效显著，但随着经济发展步入“新常态”，生态效率的提升速度有所放缓。(3) 2016 年以后五大生态区生态效率水平的差距趋于缩小，但“东部领先、北部落后”的状态尚未改变。这表明长三角生态环境一体化进程仍有较大的发展空间，需要加强东部生态区的带动作用以及其他区域的主动融入与积极协同。

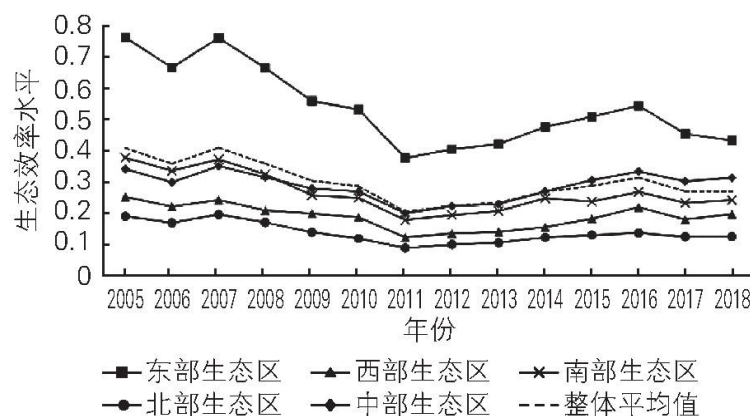


图 1 2005-2018 年长三角地区生态效率水平变动趋势

四、生态效率地区差异

（一）整体基尼系数

表 3 报告了 2005-2018 年长三角地区生态效率水平基尼系数及其分解情况。观测期内长三角地区整体基尼系数呈现波动下降的变动趋势。基尼系数整体下降意味着长三角地区生态效率水平趋于平衡，同时存在收敛的可能，需要进一步加以检验。

表 3 2005-2018 年长三角地区生态效率水平基尼系数及其分解

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
整体基尼系数	0.4022	0.3967	0.3936	0.3889	0.3967	0.4023	0.3884	0.3852	0.3869	0.3861	0.3917	0.3940	0.3836	0.3859
区域内基尼系数	东部	0.1657	0.1736	0.1573	0.1568	0.1827	0.1851	0.1550	0.1414	0.1686	0.1818	0.1742	0.1808	0.1901
	西部	0.4798	0.4791	0.4924	0.4739	0.4837	0.4758	0.3997	0.3961	0.3777	0.4049	0.4369	0.4454	0.4468
	南部	0.3005	0.2712	0.2636	0.2640	0.2557	0.2487	0.2166	0.2328	0.2334	0.2489	0.2461	0.2478	0.1889
	北部	0.2527	0.2762	0.2943	0.2488	0.2729	0.2506	0.2655	0.2633	0.2595	0.2409	0.2138	0.2242	0.2459
	中部	0.3083	0.2823	0.2639	0.2708	0.2699	0.2627	0.3096	0.3369	0.3376	0.3300	0.3544	0.3440	0.3487
区域间基尼系数	东一西	0.5438	0.5402	0.5518	0.5516	0.5239	0.5283	0.5261	0.5158	0.5222	0.5290	0.5018	0.5007	0.5003
	东一南	0.3650	0.3577	0.3653	0.3643	0.3887	0.3826	0.3701	0.3651	0.3602	0.3464	0.3833	0.3661	0.3411
	东一北	0.6056	0.6003	0.5949	0.5974	0.6081	0.6413	0.6275	0.6122	0.6064	0.5976	0.6004	0.6045	0.5766
	东一中	0.3974	0.3954	0.3785	0.3704	0.3566	0.3516	0.3471	0.3434	0.3520	0.3374	0.3375	0.3365	0.3202
	西一南	0.4586	0.4436	0.4578	0.4468	0.4464	0.4400	0.3762	0.3722	0.3661	0.3912	0.3892	0.4277	0.4132
	西一北	0.4371	0.4385	0.4571	0.4326	0.4557	0.4522	0.3928	0.3759	0.3611	0.3790	0.4211	0.4195	0.4180
	西一中	0.4582	0.4425	0.4635	0.4523	0.4512	0.4484	0.4161	0.4262	0.4178	0.4354	0.4482	0.4663	0.4673
	南一北	0.4072	0.3964	0.3793	0.3704	0.3689	0.3951	0.3761	0.3747	0.3771	0.3812	0.3471	0.3762	0.3480
	南一中	0.3196	0.2918	0.2833	0.2856	0.2840	0.2742	0.2806	0.3056	0.3047	0.3049	0.3324	0.3219	0.3117
	北一中	0.3935	0.3825	0.3885	0.3858	0.4178	0.4501	0.4458	0.4550	0.4427	0.4510	0.4699	0.4704	0.4760
贡献率(%)	区域内	0.1265	0.1294	0.1251	0.1226	0.1310	0.1264	0.1231	0.1232	0.1311	0.1350	0.1324	0.1337	0.1405
	区域间	0.4523	0.4323	0.4188	0.4080	0.3981	0.4089	0.4941	0.4305	0.4332	0.4324	0.4356	0.3790	0.3961
	超变密度	0.4212	0.4383	0.4561	0.4694	0.4709	0.4647	0.3828	0.4464	0.4358	0.4326	0.4320	0.4873	0.5246

（二）区域内基尼系数

横向对比可以发现，西部生态区的基尼系数明显高于整体基尼系数，而其他生态区则低于整体水平，且东部生态区的基尼系数最低。这主要是由于西部生态区内合肥的生态效率水平明显高于其他城市，导致内部差距过大；而东部生态区内的城市整体生态效率水平较高，内部差距较小。纵向对比可以发现，观测期内西部和南部生态区的基尼系数呈下降趋势，生态效率趋于平衡；而东部、北部和中部生态区的基尼系数呈上升趋势，生态效率差距有所扩大。

（三）区域间基尼系数

横向对比可以发现，东部一北部之间的基尼系数最大，这是由于东部生态区内的城市经济社会发展水平明显高于北部生态区内的城市，由此带来两大区域在资源利用效率和环境保护程度方面的差距。纵向对比可以发现，观测期内西部一北部、西部

一中部和北部一中部生态区之间的基尼系数有所扩大，其他区域间的基尼系数均呈下降趋势，其中，降幅最大的是东部一中部生态区。东部和中部生态区内的城市之间在空间地理和要素流动方面最为密切，一体化程度最高，由此带来生态效率差距的快速降低。

（四）地区差异来源及其贡献率

观察长三角地区生态效率差异来源及其贡献率的演变趋势，可以发现区域间差异和超变密度贡献率较高，而区域内差异贡献率较低。从差异来源的演变趋势看来，区域间差异的贡献率呈现波动下降的趋势，而区域内差异和超变密度的贡献率则波动上升。区域间差异和超变密度作为生态效率差异的主要来源，两者之间的变动呈现此消彼长的趋势，2011 年之前区域间差异占据主导地位，而 2012 年之后超变密度的贡献率较高。超变密度主要用于识别区域间的交叉重叠现象，整体生态效率水平较高的区域存在某些生态效率较低的城市，其效率可能低于整体生态效率水平较低区域内某些效率较高的城市。超变密度的提高体现生态效率水平较低区域的追赶现象，区域间的差距将逐步缩小。

五、生态效率空间收敛

（一） σ 收敛检验

根据变异系数计算方法，可得观测期内长三角地区生态效率 σ 收敛系数，见表 4 所列。

表 4 2005-2018 年长三角地区生态效率 σ 收敛系数

年份	长三角地区	东部生态区	西部生态区	南部生态区	北部生态区	中部生态区
2005	0.7264	0.2919	1.0276	0.5548	0.4547	0.5440
2006	0.7176	0.3047	0.9910	0.4970	0.5032	0.5046
2007	0.7067	0.2784	1.0434	0.4867	0.5382	0.4780
2008	0.6988	0.2760	1.0045	0.4876	0.4444	0.4823
2009	0.7207	0.3246	1.0087	0.4777	0.4884	0.4809
2010	0.7330	0.3297	0.9983	0.4629	0.4438	0.4696
2011	0.7011	0.2769	0.7924	0.3922	0.4689	0.5658
2012	0.6884	0.2501	0.7848	0.4185	0.4624	0.6152
2013	0.6989	0.2964	0.7518	0.4153	0.4612	0.6169
2014	0.6986	0.3255	0.7875	0.4430	0.4245	0.5942
2015	0.7107	0.3147	0.8356	0.4456	0.3756	0.6496
2016	0.7197	0.3204	1.0134	0.4594	0.3951	0.6496
2017	0.7043	0.3521	0.9660	0.3422	0.4408	0.6407
2018	0.7157	0.3842	1.0263	0.3629	0.4929	0.6703

首先从长三角地区整体层面看，2005-2018 年生态效率的 σ 收敛系数呈现波动下降的趋势，具有 σ 收敛特征。继续观察五大生态区的表现：东部、北部和中部生态区的 σ 收敛系数呈现波动上升的趋势，具有发散特征；西部和南部生态区的 σ 收敛系数均呈现波动下降趋势，具有 σ 收敛特征；同时，东部生态区的 σ 收敛系数最小，而西部最大。这与上文地区内基尼系数结果分析相一致。

（二） β 收敛检验

1. 空间相关性检验

为考察长三角地区 41 个城市生态效率的空间相关性，首先构建以下三种空间权重矩阵：(1)地理距离权重矩阵 (W_1)，利用两市之间最短公路里程的倒数表示矩阵的元素；(2)经济距离权重矩阵 (W_2)，利用两市之间人均 GDP 年均值绝对差值的倒数表示矩阵的元素；(3)地理与经济距离的嵌套权重矩阵 (W_3)，即 $W_3 = \phi W_1 + (1 - \phi) W_2$ ， ϕ 表示地理距离权重矩阵所占比重，参考邵帅等 (2016)^[17] 的做法，令 $\phi = 0.5$ 。然后采用 Moran's I 指数方法测度生态效率的空间相关系数，结果表明各年份都呈现显著的正向空间相关性。

2. β 收敛实证分析

本文采用更具综合意义的地理与经济距离的嵌套权重矩阵 (W_3) 进行 β 收敛实证检验，报告了 β 绝对收敛检验结果。观察可知，长三角地区生态效率的 β 收敛系数为负，表明存在显著的 β 绝对收敛。这意味着长三角地区各城市生态效率水平最终将收敛于同一稳态水平，生态效率水平较低的城市相比于较高的城市具有更快的增长速度，城市间差距逐渐缩小。同时，生态效率的空间滞后项系数和生态效率增长速度的空间自回归系数均显著为正，表明生态效率存在明显的空间溢出效应，地理空间距离接近和经济发展程度相似的城市之间更容易相互学习生态治理经验，共享生态治理成果。

报告了 β 条件收敛检验结果。在控制了人力资本等一系列控制变量后，长三角地区生态效率的 β 收敛系数仍然为负，表明存在明显的 β 条件收敛。这也意味着长三角地区各城市的生态效率都是向各自的稳态水平变化发展。从控制变量的回归结果看，人力资本、技术进步、产业集聚和对外开放都对生态效率增长速度产生显著的正向影响；但是环境规制的系数为负且不显著，而且环境规制空间滞后项的系数显著为负，反映出邻近城市环境规制水平提高，可能引起污染产业转移，导致本地生态效率增长速度降低。上述结果表明，长三角地区可以通过发挥人力资本和技术水平的优势，提升管理能力，改进生产设备，促进生态效率的提升。产业集聚有利于共享污染处理设施，促进环保技术的学习和外溢，缓解环境污染 (朱英明等，2019)^[18]。同时，长三角地区经济发展水平较高，吸引和利用外资能力较强，可有效借鉴国外生态治理的先进经验。但当前长三角地区生态治理领域行政壁垒尚未打破，完善的协同治理模式尚未形成，“各自为政”的环境规制并不能从根本上解决跨界污染、邻避项目、生态公地等治理难题。

3. 俱乐部收敛实证分析

五大生态区的 β 绝对收敛系数和 β 条件收敛系数均显著为负，存在俱乐部收敛特征，表明在区域内部生态效率存在趋同的态势。同时，生态效率的空间滞后项系数和生态效率增长速度的空间自回归系数均通过显著性检验，生态效率的空间溢出效应在区域内部仍然明显。然而，各地区的收敛机制也具有一定的差异。

一方面，从 β 绝对收敛和 β 条件收敛的检验结果来看，西部生态区的绝对收敛速度和北部生态区的条件收敛速度相对较快，而东部生态区的收敛速度则较慢。这表明生态效率水平较高的东部生态区进一步缩小内部差距的难度较大，而西部和北部生态区内部生态效率水平差距明显，具有较大的缩小空间，需进一步发挥合肥和徐州对其他城市的辐射带动作用。另一方面，东部生态效率的空间滞后项系数和生态效率增长速度的空间自回归系数显著为正，而其他地区显著为负。表明在经济社会发展程度相对较高的东部生态区，生态效率表现出正向空间溢出效应，区域内资源利用高效、生态治理良好的城市会对其他城市形成较强的示范效应。

六、结论与政策建议

本文将长三角地区划分为五大生态区,首先采用熵值法和 DEA 方法测度 2005-2018 年长三角地区 41 个城市的生态效率水平。在此基础上,使用 Dagum 基尼系数方法测度生态效率的地区相对差异,同时利用变异系数法和空间杜宾模型,检验生态效率的收敛特征。结果发现:(1)长三角地区整体生态效率水平较低,五大生态区之间存在一定差距。东部生态区生态效率水平一直处于领先地位,而北部生态效率水平较低。五大生态区生态效率水平的差距趋于缩小,但“东部领先、北部落后”的状态尚未改变。(2)长三角地区整体基尼系数呈现波动下降的趋势,长三角地区生态效率水平趋于平衡。西部和南部生态区的基尼系数呈下降趋势,而东部、北部和中部的基尼系数呈上升趋势。西部一北部、西部一中部和北部一中部生态区之间的基尼系数有所扩大,其他区域间的基尼系数均呈下降趋势。区域间差异和超变密度的贡献率较高,而区域内差异的贡献率较低。(3)长三角地区整体以及西部和南部生态区具有 σ 收敛特征;长三角地区生态效率存在显著的 β 绝对收敛和 β 条件收敛,同时生态效率存在明显的空间溢出效应;五大生态区存在俱乐部收敛特征。

基于上述研究结论,本文提出以下几点政策建议:(1)以强带弱、以点带面,努力缩小区域内生态效率差距。应发挥核心城市的辐射带动作用,通过生态效率的空间溢出效应,加速低效率城市生态效率的收敛速度,最终实现地区内部的平衡。(2)合作开发、协同治理,以一体化思维解决生态治理难题。应避免“各自为政”的环境规制措施,打破行政壁垒,加强顶层设计,建立环境治理“成本共担、效益共享、合作共治”机制。例如组建跨区域生态治理机构,统一排污标准,设立生态补偿基金,保障治理能力。(3)引导集聚、提质增效,通过产业一体化带动生态环境一体化。各地区应在长三角产业一体化进程中,利用比较优势,打造先进制造业集群,发挥产业集聚的基础设施共享效应和环保技术学习效应,在提升长三角产业一体化高度的同时,促进生态环境一体化,实现生态效率的全面提升。

参考文献:

- [1]毕军,俞钦钦,刘蓓蓓,等.长三角区域环境保护共赢之路探索[J].中国发展,2009,9(1):65-68.
- [2]ELLERBROCK M J,YOUNG M D. Sustainable Investment and Resource Use:Equity,Environmental Integrity and Economic Efficiency[J]. American Journal of Agricultural Economics,1994,76(1):170-171.
- [3]DAHLSTRÖM K,EKINS P. Eco-efficiency Trends in the UK Steel and Aluminum Industries[J]. Journal of Industrial Ecology,2010,9(4):171-188.
- [4]LI Y,KE L W,JI C G. China's Regional Ecological Energy Efficiency and Energy Saving and Pollution Abatement Potentials:An Empirical Analysis Using Epsilonbased Measure Model[J]. Journal of Cleaner Production,2018,194:300-308.
- [5]MA X,WANG C,YU Y,et al. Ecological Efficiency in China and Its Influencing Factors—a Super-efficient Sbm Metafrontier-malmquist-tobit Model Study[J]. Environmental Science & Pollution Research,2018,25(21):20880-20898.
- [6]SEPPÄLÄ J,MELANEN M,MÄENPÄÄ I,et al. How Can the Eco-efficiency of a Region be Measured and Monitored?[J]. Journal of Industrial Ecology,2010,9(4):117-130.
- [7]黄雪琴,王婷婷.资源型城市生态效率评价[J].科研管理,2015,36(7):70-78.
- [8]郭存芝,彭泽怡,丁继强.可持续发展综合评价的 DEA 指标构建[J].中国人口·资源与环境,2016,26(3):9-17.
- [9]屈小娥.中国生态效率的区域差异及影响因素——基于时空差异视角的实证分析[J].长江流域资源与环境,

2018, 27(12):2673-2683.

[10]邢贞成,王济干,张婕.中国区域全要素生态效率及其影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(7):119-126.

[11]罗能生,王玉泽,彭郁,等.长江中游城市群生态效率的空间关系及其协同提升机制研究[J].长江流域资源与环境,2018,27(7):1444-1453.

[12]何硯,赵弘.京津冀城市可持续发展效率收敛性及影响因素研究[J].当代经济管理,2018,40(2):17-24.

[13]毕斗斗,王凯,王龙杰,等.长三角城市群产业生态效率及其时空跃迁特征[J].经济地理,2018,38(1):166-173.

[14]DAGUM C. A New Approach to the Decomposition of the Gini Income Inequality Ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4):515-531.

[15]席恺媛,朱虹.长三角区域生态一体化的实践探索与困境摆脱[J].改革,2019(3):87-96.

[16]李胜兰,初善冰,申晨.地方政府竞争、环境规制与区域生态效率[J].世界经济,2014,37(4):88-110.

[17]邵帅,李欣,曹建华,杨莉莉.中国雾霾污染治理的经济政策选择—基于空间溢出效应的视角[J].经济研究,2016,51(9):73-88.

[18]朱英明,刘素霞,李玉见,等.产业集聚对环境污染的减缓效应:理论与实证[J].环境经济研究,2019,4(1):86-107.