

引用格式: 陈明华, 刘文斐, 王山, 等. 长江经济带城市生态效率的空间格局及演进趋势[J]. 资源科学, 2020, 42(6): 1087-1098. [Chen M H, Liu W F, Wang S, et al. Spatial pattern and temporal trend of urban ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2020, 42(6): 1087-1098.] DOI: 10.18402/resci.2020.06.07

长江经济带城市生态效率的空间格局及演进趋势

陈明华, 刘文斐, 王山, 刘玉鑫

(山东财经大学经济学院, 济南 250014)

摘要:提升城市生态效率是长江经济带高质量发展的重要内容。本文运用MinDS模型测算了长江经济带城市生态效率,采用Dagum基尼系数、Kernel密度估计、Markov链分析等方法考察其空间格局及演进趋势,并借助分位数回归检验了关键影响因素。研究发现:①下游城市生态效率水平明显高于上、中游地区;②城市生态效率的总体差异较大但呈缩小趋势,下游城市生态效率的区域间差异始终最大,上游与下游的区域间差异最大。随着生态效率水平的提高,技术创新、公众环保意识等因素的影响系数逐渐下降,是总体及区域内差异缩小的重要原因;各地区影响因素及其作用大小和方向不尽相同,为城市生态效率的区域间差异提供了一定解释;③技术创新、经济发展水平等因素对低水平、高水平城市生态效率的影响强度相对较大,助推下游、上游地区分别呈现两极分化、多极分化趋势。经济发展水平、资源禀赋、产业结构等因素对低、中、高水平城市生态效率的正向影响系数均较小,城市生态效率发生转移的趋势并不明显,从而导致总体及各地区均存在“俱乐部趋同”和“马太效应”。本文采用至强有效前沿面最小距离模型对测度城市生态效率水平,有效避免传统DEA模型的缺陷,在对其总体空间差异识别的基础上进一步分解差异来源,并预测其长期转移趋势,由此深化了对长江经济带生态效率时空演进规律的认识和理解,对于协同推进长江经济带城市绿色发展具有一定借鉴意义。

关键词:城市生态效率;MinDS模型;空间格局;演进趋势;长江经济带

DOI: 10.18402/resci.2020.06.07

1 引言

长江经济带横贯中国东中西部,已经成为绿色发展和生态文明建设的重要支撑带^[1]。然而,在取得巨大经济建设成就的同时,长江经济带大部分城市正面临着土地承载压力与日俱增、水体质量每况愈下的严峻挑战。2017年中国环境保护部发布的《长江经济带生态环境保护规划》^[2]显示,长江经济带依靠土地占用、高耗水高耗能等增量扩张的发展模式仍然占据主导地位,一些大城市人口增长过快,资源环境超载问题突出;污染排放总量大、强度高,废水排放总量占全国的40%以上,单位面积化学需氧量、氨氮、二氧化硫、氮氧化物排放强度是全国平均水平的1.5~2倍。为此,十九大报告明确指

出,要以共抓大保护、不搞大开发为导向推动长江经济带发展;2018年习近平进一步指出,推动长江经济带发展,要正确把握环境保护与经济发展的关系,探索协同推进生态优先和绿色发展新路子。由此可见,不断提升城市生态效率已经成为长江经济带可持续发展的必然选择^[3]。然而,长江经济带地域狭长,上、中、下游地区在要素禀赋、资源消耗、技术进步、环境污染等方面均存在显著的空间异质性,这会导致城市生态效率水平、演变趋势和提升潜力不尽相同。在此背景下,本文通过评价长江经济带城市生态效率,考察其空间格局特征与演进趋势,一方面为揭示长江流域生态效率现状及潜力、探寻分区域差别化的提升路径提供决策参考,另一

收稿日期:2019-07-01;修订日期:2020-04-13

基金项目:国家社会科学基金项目(19BJY087);山东省社会科学规划研究优势学科项目(19BYSJ37);山东省社会科学规划研究项目(20CJJ29)。

作者简介:陈明华,男,山东临沂人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为经济增长与绿色发展。E-mail:chenminghua1978@163.com

方面为促进“水-地-人”三位一体良性互动、进而实现长江经济带绿色可持续发展提供有益借鉴。

借鉴 Schaltegger 等^[4]的研究,本文将城市生态效率定义为城市生产活动所创造的产品、服务价值与资源投入、污染排放等生态环境负荷的比值。随着长江经济带生态环境问题的日益突出,学术界对长江经济带绿色发展的研究逐渐增多,主要包括生态承载力评估、减缓碳排放战略等方面^[5]。也有部分学者基于数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型就长江经济带的城市生态效率或产业生态效率进行了分析^[6],然而,传统的DEA模型有的未考虑投入产出的松弛性问题,有的过度考虑变量的松弛现象,这将导致非有效决策单元对改善城市生态效率产生负面影响^[7]。在空间差异方面,大多文献采用直观比较、变异系数等分析方法就绿色发展问题展开研究^[8]。然而,无论是直观比较法还是变异系数法都难以揭示空间差异的具体来源^[9],Dagum^[10]基尼系数及其分解方法则能够有效克服上述问题。目前关于长江经济带演进趋势方面的研究还比较匮乏,少数学者采用Kernel密度方法就省际生态效率的分布动态状况进行了分析^[11],但这些研究主要是从长江经济带整体视角展开,没有进行分区演进趋势的考察。在影响因素方面,仅有少数文献从经济发展、产业结构、能源消费结构、金融集聚及城市化等方面对长江经济带生态效率的影响因素进行考察^[12],但这些文献大多没有针对各区域城市生态效率识别其关键影响因素,未能基于空间异质性视角提出差别化的区域提升对策。

鉴于已有研究不足,本文将从以下3个方面进行拓展研究:第一,考虑到水污染是长江经济带环境污染的重要方面^①,本文将其作为非期望产出引入分析框架,采用MinDS模型(Minimum Distance to Strong Efficient Frontier)对长江经济带城市生态效率进行测度;第二,揭示城市生态效率的空间分布和空间差异大小及其来源,并运用分位数回归深入探讨差异形成的影响因素,从而实现对城市生态效率空间格局的全面刻画;第三,从动态演进特征与长期转移趋势层面综合考察长江经济带城市生

态效率的演进趋势,并运用分位数回归给予相应的成因诠释,为制定生态效率协同提升对策提供基本依据。

2 研究方法 & 数据来源

2.1 研究方法

基于本文的研究目标,首先采用MinDS模型对城市生态效率进行测度,在此基础上利用Dagum基尼系数、Kernel密度估计、Markov链及分位数回归考察其时空演进及影响因素,具体方法如下。

2.1.1 超效率非期望产出MinDS模型

基于非期望产出的SBM模型纠正了径向模型对无效率的测量没有包含松弛变量的问题,但其目标函数是使效率值最小化的固有属性使得SBM模型评价结果为前沿面上距离有效决策单元最远的点。由于被评价者总是希望以最短的路径到达前沿,因此SBM模型存在明显的不合理之处。而MinDS模型采用至强有效前沿最小距离的点作为投影点^[7],使得决策单元能以最小的代价达到最有效率的前沿面,能够在一定程度上克服SBM模型的局限。假设每个决策单元有 M 种投入($i=1, 2, \dots, m$)、 U 种期望产出($r=1, 2, \dots, U$)及 V 种非期望产出($v=1, 2, \dots, V$),具体模型为:

$$\begin{aligned} \max \rho = & \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M s_m^- / x_{mf}}{1 + \frac{1}{U} \sum_{u=1}^U s_u^+ / y_{uf} - \frac{1}{V} \sum_{v=1}^V s_v^- / z_{vf}}, \\ \text{s.t.} & \sum_{c \in E} \lambda_c x_{mc} + s_m^- = x_{mf}, \\ & \sum_{c \in E} \lambda_c y_{uc} - s_u^+ = y_{uf}, \\ & \sum_{c \in E} \lambda_c z_{vc} + s_v^- = z_{vf}, \\ & \lambda, s_m^-, s_u^+, s_v^- > 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: ρ 为城市生态效率, E 为生产可能性集合。对于第 f 个城市而言,其投入、期望产出和非期望产出向量可以分别记作 x_f 、 y_f 和 z_f 。 λ 表示DMU的线性组合系数, s_m^- 表示投入的松弛变量, s_u^+ 和 s_v^- 分别代表期望产出和非期望产出的松弛变量。为了得到生态无效率的具体来源,本文参考Cooper等^[13]的思路,基于松弛值测算长江经济带城市生态无效率,并基于各投入产出要素进行生态无效率分解。

①《长江经济带生态环境保护规划》、习近平在长江经济带发展座谈会上的讲话等文件中,废水排放是重点关注的污染排放指标之一。

2020年6月

2.1.2 Dagum 基尼系数及其分解方法

运用 Dagum 基尼系数及其分解方法对长江经济带城市生态效率的空间差异进行分析,将总体差异 G 分解为区域内差异贡献 G_w 、区域间差异贡献 G_{nb} 和超变密度贡献 G_t , 分别用来反映长江经济带三大地区内部差异、地区间差异以及各地区交叉重叠对城市生态效率的贡献率大小。由于上述指标基于均值做平均处理,因此它们反映的是相对差异状况,如式(2)–(5)所示。

$$G = \frac{\sum_{j=1}^I \sum_{h=1}^{I-1} \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2 \bar{y}} \quad (2)$$

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

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^I \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (4)$$

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

式中: I 表示长江经济带总体划分的地区个数; $n_j(n_h)$ 表示 $j(h)$ 地区内的城市个数; $y_{ji}(y_{hr})$ 表示 $j(h)$ 地区内任意城市的生态效率值; n 表示城市的个数; \bar{y} 表示长江经济带城市生态效率的平均值。 G_{jj} 表示 j 地区的基尼系数, $P_j=n_j/n, S_j=n_j \bar{Y}_j / n \bar{Y}$; G_{jh} 表示 j 和 h 区域间基尼系数, D_{jh} 为 j, h 地区间生态效率的相对影响。

2.1.3 Kernel 密度估计方法

作为一种非参数估计方法,Kernel 密度估计是研究空间非均衡分布的重要工具之一。该方法能够用连续的密度曲线对随机变量的分布位置、分布形态、极化趋势和延展性等信息进行描述,进而对随机变量的概率密度进行估计。就本文而言,分布位置反映了城市生态效率水平的高低,波峰数量是反映极化趋势的指标。本文采用比较常用的高斯核函数对长江经济带城市生态效率进行估计,其表达式参见陈明华等^[4]。

2.1.4 Markov 链分析方法

Markov 链模型能够通过构造 Markov 转移概率矩阵,描述长江经济带城市生态效率的长期转移趋势。Markov 转移概率矩阵是一个随机过程,其当期以后的转移行为与当期以前的历史状态无关,即随机变量处于 $t+1$ 时的状态概率仅取决于上一时期的

状态。如果将城市生态效率划分为 N 种状态,则可以得到 $N \times N$ 的状态转移概率矩阵,并由城市生态效率类型的向上、向下和不变的变化来确定转移方向,具体公式参见侯孟阳等^[5]。

2.1.5 分位数回归

考虑到三大地区不同城市生态效率水平对各影响因素的敏感程度存在差异,采用分位数回归模型进行实证考察,以便更好地满足研究需要。借鉴 Koenker 等^[6]的研究,本文构建的回归模型为:

$$Quant_q(Y_t | X_{it}) = \beta_q X_{it} + \mu_t \quad (6)$$

式中:被解释变量 Y_t 为第 t 年城市生态效率水平; q 为所取分位数,本文选择 0.25、0.5、0.75 分位点分别代表城市生态效率的低、中、高水平; X_{it} 表示第 t 年的第 i 个解释变量; β_q 表示与分位点 q 对应的系数向量; μ_t 为随机扰动项。由于分位数回归可以反映不同生态效率水平下解释变量对被解释变量的差别化影响,且不易受极端值的影响,由此使得估计结果更加稳健。

2.2 指标选取与数据来源

在城市生态效率测算中,本文使用的投入指标包括资本存量、劳动力、能源、土地。资本存量方面,与单豪杰^[7]的做法一致,采用永续盘存法进行估算。由于城市全社会固定资产投资价格指数缺失,选取各城市所在省份的全社会固定资产投资价格指数予以表征,并以 2003 年为基期进行平减处理;关于增长率的设定,本文以考察期内城市全社会固定资产投资实际投资额的几何平均增长率表示;借鉴吴延瑞^[8]的做法,选取各城市所在省份折旧率作为城市折旧率。劳动力投入以年末单位从业人员予以表征,采用全社会用电量和建成区面积近似反映能源投入与土地资源投入。期望产出指标为地区生产总值,并以 2003 年为基期进行平减处理。考虑到水污染是长江经济带上、中、下游环境污染的重要方面,本文将工业废水作为重要的非期望产出纳入分析框架,同时引入 PM2.5 浓度和工业二氧化硫排放量以反映大气污染状况。由于 DEA 模型的应用条件要求投入产出变量不宜过多,因此本文运用熵权法将上述 3 种非期望产出合成一个污染指数,以降低研究问题的维数^[9],进而使测度结果更加可信准确。

在影响因素方面,借鉴已有研究成果^[20,21],选取经济发展水平(人均GDP取对数, $\ln(gdp)$)、资源禀赋(资本劳动比取对数, $\ln(k/l)$)、产业结构(第三产业产值占GDP的比重, IS)、技术创新(科研支出占GDP的比重, T)与公众环保意识(教育支出占GDP的比重, EDU)作为解释变量来考察城市生态效率空间格局与动态演进的成因。考虑到数据的可得性,本文选取2003—2016年长江经济带108个地级及以上城市^②作为研究对象。所用指标均来自《中国城市统计年鉴》^[22]各城市市辖区数据。

3 结果与分析

3.1 长江经济带城市生态效率测算

本文采用MinDS模型测算出108个城市的生态效率值,图1反映了2003—2016年长江经济带总体及上、中、下游城市生态效率均值的演变趋势。就总体而言,城市生态效率水平基本介于0.75~0.80之间,2011年之前下降较为明显,此后整体呈上升趋势。从区域比较来看,下游地区的城市生态效率最

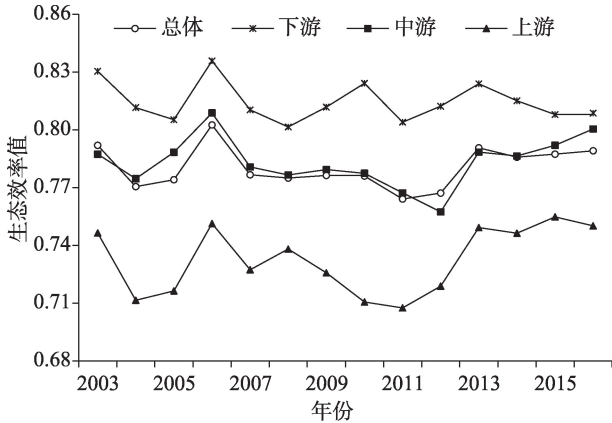


图1 2003—2016年长江经济带城市生态效率演变走势

Figure 1 Trend of urban ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt, 2003-2016

② 上游地区包括31个城市:重庆、成都、攀枝花、自贡、泸州、绵阳、德阳、广元、内江、遂宁、乐山、宜宾、南充、眉山、达州、广安、雅安、资阳、巴中、贵阳、遵义、六盘水、安顺、曲靖、昆明、玉溪、昭通、保山、丽江、思茅、临沧;中游地区包括36个城市:南昌、景德镇、九江、萍乡、新余、赣州、鹰潭、吉安、抚州、宜春、上饶、黄石、武汉、襄阳、十堰、宜昌、孝感、鄂州、荆门、咸宁、荆州、黄冈、随州、株洲、长沙、湘潭、岳阳、衡阳、邵阳、益阳、常德、张家界、永州、郴州、怀化、娄底;下游地区包括41个城市:上海、无锡、南京、徐州、苏州、常州、南通、连云港、盐城、淮安、扬州、泰州、镇江、宁波、宿迁、杭州、嘉兴、温州、湖州、衢州、绍兴、金华、台州、舟山、芜湖、丽水、淮南、合肥、蚌埠、淮北、马鞍山、铜陵、黄山、安庆、滁州、宿州、阜阳、亳州、六安、池州、宣城。

③ 党的十八届五中全会明确提出,要将创新驱动摆在长江经济带全局发展的核心位置,充分发挥上海等创新型城市的引领作用。

④ 2013年2月,长江中游省会城市达成在生态文明建设等方面的合作共识;2015年4月,国务院发布《长江中游城市群发展规划》,标志着长江中游城市群正式上升为国家战略;2016年12月,《促进中部地区崛起“十三五”规划》指出,要依托长江中游打造支撑中部崛起的核心增长极,建设具有全球影响力的生态文明和绿色城镇化样板。

高,中游次之,上游最低。下游作为长江经济带创新驱动发展的重要地区^③,无论是经济发展方式还是资源配置结构,均有利于城市生态效率改善;上游地区的广元、攀枝花等城市经济发展方式较为粗放,高耗能、高污染产业相对较多,其城市生态效率提升受到一定程度的制约;中游地区城市生态效率水平显著大于上游地区,且近年来大幅提升,这种向好趋势与政府对长江中游生态文明建设的大力推动不无关系^④。

图2反映了2003—2016年长江经济带城市生态无效率的来源及其贡献。从不同年份各要素无效率的占比情况看,6种投入产出要素对生态无效率的贡献差距悬殊,均处于动态调整和变化中。样本期内,各要素按平均贡献率由大到小排序依次为GDP(35.89%)、污染指数(22.16%)、能源(16.37%)、土地(12.52%)、资本(7.19%)和劳动(5.87%),这表明期望产出不足仍然是导致长江经济带城市生态效率低下的主要原因。具体来看,除2007年土地无效率剧增外,其他投入要素的贡献率未发生明显变化;GDP的贡献率始终较大,但近年来有下降趋势,

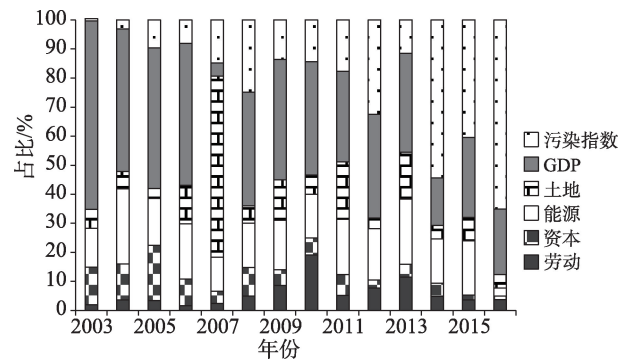


图2 2003—2016年长江经济带生态无效率来源分解

Figure 2 Decomposition of ecological inefficiency sources of the Yangtze River Economic Belt, 2003-2016

2020年6月

这表明长江经济带战略实施以来,随着经济发展方式的转变、产业结构的优化升级,期望产出效率得以提升;污染指数对生态无效率的贡献显著提升,年均增长49.82%,逐渐成为制约长江经济带生态效率提升的主导因素。

3.2 长江经济带城市生态效率的空间格局

3.2.1 长江经济带城市生态效率的空间分布特征

为了更加直观地刻画上、中、下游地区城市生态效率的时空分异特征,利用ArcGIS软件绘制了2003年和2016年长江经济带108个城市生态效率的空间分布图(图3)。从图中可以看出,长江经济带生态效率在空间分布上存在显著的非均衡特征。2003年长江经济带生态效率较高的城市大部分位于下游地区,如上海、杭州、无锡、苏州等,而生态效率较低的城市大部分位于中上游地区,如新余、鹰潭、攀枝花、六盘水等;2016年中上游部分城市生态效率提升态势良好,成都、黄冈、常德等生态高效率城市均位于中上游地区。但与此同时,生态低效率城市仍大量遍布于中上游,这意味着区域内生态效率呈现“极好”与“极坏”并存。

3.2.2 长江经济带城市生态效率的空间差异及其来源

为了进一步揭示空间差异及其来源,接下来基于Dagum基尼系数进行分析。

图4a反映了长江经济带生态效率的总体及上、中、下游地区内差异演变趋势。长江经济带城市生态效率差异整体上呈下降趋势,总体基尼系数在2003—2005年小幅上升,此后波动下降并于2013年达到最小值0.10,2013—2016年城市生态效率差异再次扩大并趋于稳定。样本考察期内长江经济带

城市生态效率总体差异的年均递减率为1.53%,说明近年来长江流域生态环保协同机制取得了一定成效。分地区来看,城市生态效率的地区内差异逐渐下降,但上、中、下游之间的空间非均衡性分级明显。下游地区城市生态效率差异始终最大,其次是上游地区,中游地区的区域内城市生态效率差异最小。从演变趋势来看,上、中、下游区域内基尼系数变化走势基本一致且均呈现波动下降趋势,年均递减率分别为0.99%、2.00%、1.51%。图4b反映了上、中、下游地区间差异演变趋势,由图可知,城市生态效率的区域间差异呈现下降趋势且波动基本一致。其中,上游与下游的区域间差异最大,中游与下游、上游的区域间差异较小。

图4c反映了区域内差异、区域间差异和超变密度对总体差异的贡献情况,由图可知,超变密度是总体差异的主要来源,区域内差异贡献显著大于区域间差异的贡献。在区域内差异贡献中,下游地区占比最大,考察期内平均贡献率为15.96%。因此,解决长江经济带生态效率非均衡问题的关键在于降低区域内生态效率差异,尤其应该促进下游地区城市生态效率的内部协同提升。

3.2.3 长江经济带城市生态效率空间差异的成因

为进一步探究城市生态效率空间差异的影响因素,通过分位数回归方法展开分析,表1列出了长江经济带总体及三大地区的回归结果。

一方面,同一地区、不同分位水平各影响因素系数的变化,能够为长江经济带城市生态效率的总体空间差异和区域内差异提供一定程度的解释;另

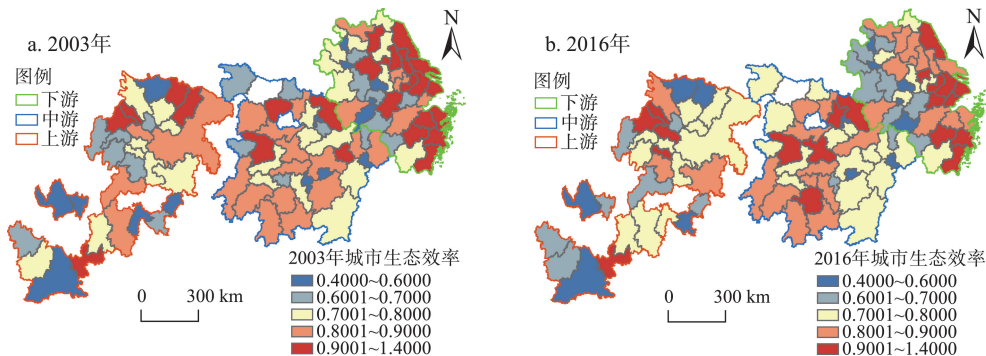


图3 2003和2016年长江经济带生态效率的空间分布格局

Figure 3 Spatial distribution pattern of ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt, 2013 and 2016

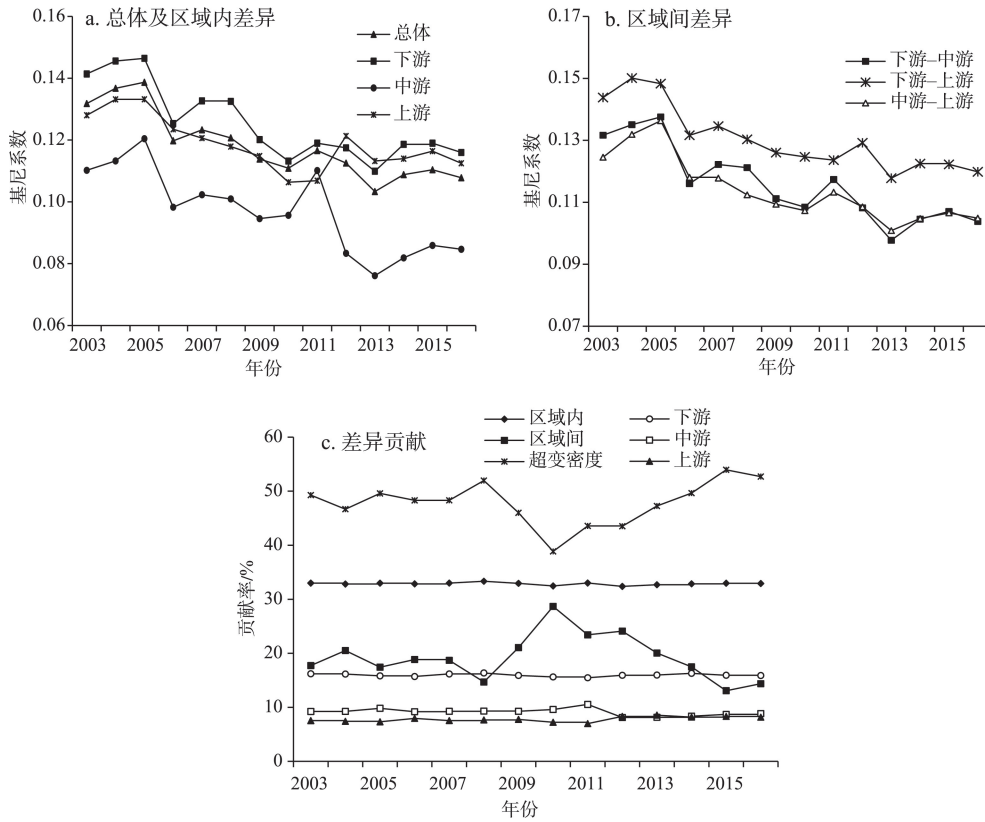


图4 2003—2016年长江经济带城市生态效率差异及其贡献率的演变趋势

Figure 4 Trend of urban ecological efficiency difference and its contribution rate in the Yangtze River Economic Belt, 2003-2016

一方面,同一分位水平、不同地区各影响因素系数的变化,能够为长江经济带城市生态效率的区域间差异提供一定程度的解释。①随着分位点的提高,样本总体的经济发展水平、技术创新和公众环保意识

的影响系数下降。在此作用下,上述影响因素拉动生态效率在较低水平城市实现快速增长,但在较高水平城市增长相对较慢,从而在一定程度上促进总体空间差异的缩小。②同理,随着分位点的提

表1 分位数回归结果

Table 1 Quantile regression results

地区	分位点	ln(gdp)	ln(k/l)	IS	T	EDU	常数项
总体	q=0.25	0.0004**	0.0215**	0.0012*	-0.0650**	-0.0190***	0.3833***
	q=0.50	0.0007***	0.0163	0.0017	-0.0518*	-0.0276***	0.5309***
	q=0.75	0.0003	0.0305***	0.0034**	-0.0696	-0.0358***	0.4402***
下游	q=0.25	0.0004	0.0581**	0.0050***	-0.1112*	0.0005	-0.2679
	q=0.50	0.0009	0.0371	0.0057***	-0.1124**	-0.0253***	0.1041
	q=0.75	0.0001	0.0597**	0.0114***	-0.1522***	-0.0533***	-0.1173
中游	q=0.25	-0.0004	-0.0051	0.0019	0.0493	0.0249***	0.6521***
	q=0.50	-0.0007*	0.0168	0.0027*	-0.0038	-0.0001	0.5403***
	q=0.75	-0.0003	0.0094	0.0015	-0.0497	-0.0073	0.7247***
上游	q=0.25	0.0011**	0.0166	-0.0028*	-0.2608***	-0.0209***	0.5520**
	q=0.50	0.0007	0.0047	-0.0038**	-0.1251	-0.0329***	0.8752***
	q=0.75	0.0016**	-0.0162	-0.0044*	-0.2062	-0.0358***	1.1972***

注:***、**、*分别代表在1%、5%、10%显著性水平上显著。

2020年6月

高,三大地区技术创新和公众环保意识的影响系数有所降低,下游地区经济发展水平和中游地区产业结构的影响系数同样表现为下降趋势,上述因素在一定程度上助推了三大地区内部城市生态效率差异的缩小。③除了技术创新和公众环保意识对各地区内城市生态效率的影响大致相同外,不同地区内各因素对城市生态效率的影响差异较大。例如,资源禀赋和产业结构优化是下游地区生态效率提升的关键因素,经济发展水平提升是上游地区生态效率改善的重要原因。此外,某些因素对不同地区生态效率的影响强度存在差异,例如技术创新对上游地区的影响明显小于对中游地区的影响,一定程度上助推了二者生态效率差异扩大。总之,各地区内城市生态效率的影响因素及强度不尽相同,使得效率改善存在差异,从而在一定程度上解释了前文提到的城市生态效率区域间差异的形成。

3.3 长江经济带城市生态效率的演进趋势

为了进一步探究长江经济带城市生态效率的时变特征,采用Kernel密度估计和Markov链分析方法就其动态演进特征和长期转移趋势进行分析。

3.3.1 长江经济带城市生态效率的动态演进特征

(1)长江经济带总体的动态演进特征。由图5a可知,长江经济带总体生态效率的主峰位置先左移后右移,表明总体生态效率水平经历了“先减小增大”的演变趋势,这一特征与前文长江经济带生态效率均值曲线走势一致。在样本考察期内,总体曲线呈现双峰,且侧峰峰值较低,说明长江经济带城市生态效率具有微弱的两极分化现象。

(2)上、中、下游地区生态效率的动态演进。由图5b-5d所示,上游和中游地区主峰位置总体呈现先左移后右移的演变态势,且近年来上游地区右移幅度较大,说明样本期内上游和中游城市生态效率水平具有上升趋势,且上游地区效率提升速度显著。下游地区的主峰中心位置并未出现明显变化,其城市生态效率水平较为稳定。其中,上游地区的Kernel密度曲线出现多峰现象,城市生态效率水平具有一定梯度效应,个别年份则出现多极化现象。下游地区的Kernel密度曲线则呈现双峰但侧峰峰值较低,说明下游地区城市生态效率水平两极分化现象较为微弱。中游地区始终以单峰现象为主,说

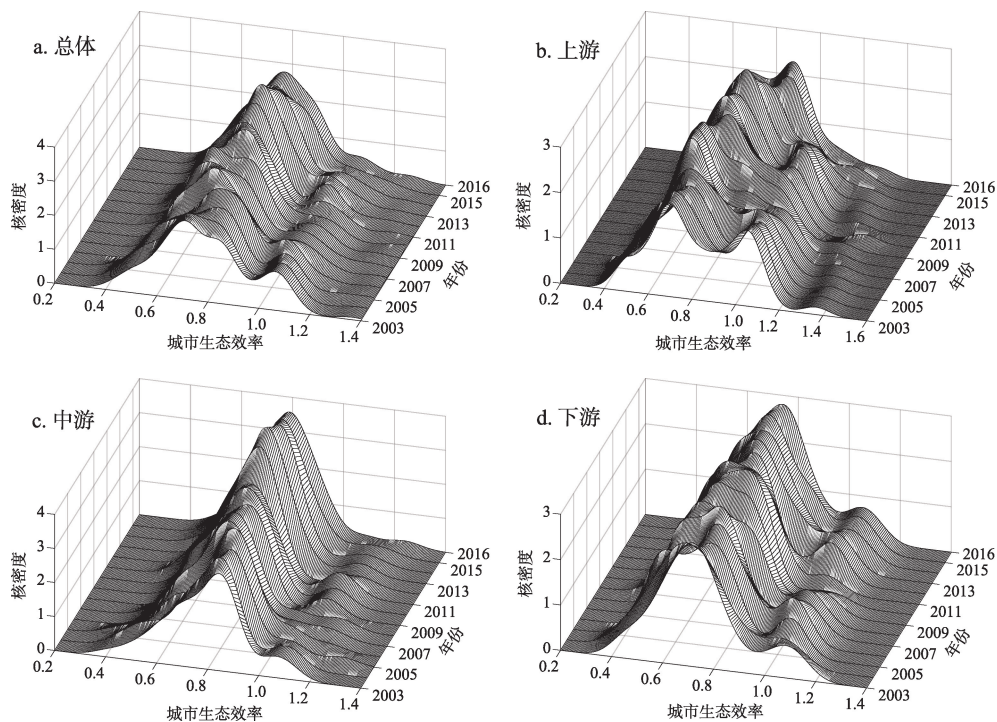


图5 长江经济带城市生态效率的动态演进

Figure 5 Dynamic evolution of urban ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt

明中游地区城市生态效率协同化程度较高,不存在两极分化。

3.3.2 长江经济带城市生态效率的长期转移趋势

Kernel密度估计刻画了长江经济带城市生态效率的分布动态演进特征,但未能揭示生态效率水平的长期转移趋势,接下来运用Markov链就这一问题展开分析,具体如表2所示。其中,各地区4×4矩阵对角线上的元素生态效率水平未发生类型转移的概率,刻画了该地区城市生态效率的稳定性(即平稳概率),而非对角线上的元素表示各地区生态效率水平类型发生转移的概率(即“向上转移”或“向下转移”)。

样本考察期内,长江经济带城市生态效率存在显著的“俱乐部趋同”现象。由表2可以看出,各地区主对角线上的转移概率均大于非主对角线的转移概率,说明城市生态效率处于各个水平的概率相对较稳定。此外,长江经济带总体及三大地区处于低水平和高水平的城市生态效率的平稳概率均超过75%。换言之,处于低水平和高水平的城市生态效率发生类型转移的可能性较小,总体上具有维持原状态的稳定性。

长江经济带总体及上、中、下游城市生态效率均存在一定程度的“马太效应”。就长江经济带总

体而言,城市生态效率向上转移概率均大于向下转移概率,说明长江经济带城市生态效率不断提升的可能性较大。同时,当城市生态效率处于低水平时,一年后仍处于低水平的概率为84.62%,说明正常情况下低水平城市容易陷入“生态低效陷阱”,要实现向中低、中高、高水平转移较为困难,这是城市生态效率呈现空间非均衡状态的重要原因。三大地区与总体情况相似,同样表现出“低水平陷阱”和“高水平垄断”态势,这与“马太效应”所代表的“强者愈强,弱者愈弱”现象恰好一致。

无论是长江经济带总体还是各地区,均存在跨越式转移现象,但转移概率较小。就长江经济带总体而言,发生跨越式转移的最大概率仅为3.70%。具体到各地区来看,上游和下游地区发生跨越式转移的概率均小于4%。虽然中游地区中低水平向高水平发生转移的概率为8.55%,但其中高水平向低水平转移的概率也达到了5.13%,这表明中游生态效率水平较低的城市具有自身跨越提升的潜力,但较高水平城市同时存在生态效率倒退的可能。

3.3.3 长江经济带城市生态效率演进趋势的成因

为考察长江经济带城市生态效率动态演进特征和长期转移趋势的深层次原因,同样根据表1的分位数回归结果展开分析。

表2 长江经济带城市生态效率的Markov链概率转移矩阵

Table 2 Markov probability transfer matrix of urban ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt

地区	t/t+1	低	中低	中高	高
总体	低	0.8462	0.1481	0.0057	0.0000
	中低	0.1311	0.6125	0.2194	0.0370
	中高	0.0114	0.1681	0.6467	0.1738
	高	0.0028	0.0285	0.1339	0.8348
上游	低	0.7846	0.1923	0.0231	0.0000
	中低	0.2000	0.5923	0.2000	0.0077
	中高	0.0154	0.1308	0.7154	0.1385
	高	0.0000	0.0280	0.1049	0.8671
中游	低	0.8205	0.1795	0.0000	0.0000
	中低	0.1453	0.5299	0.2393	0.0855
	中高	0.0342	0.1795	0.5043	0.2821
	高	0.0000	0.0513	0.2137	0.7350
下游	低	0.8077	0.1827	0.0096	0.0000
	中低	0.1058	0.6250	0.2308	0.0385
	中高	0.0192	0.1731	0.5865	0.2212
	高	0.0000	0.0330	0.1978	0.7692

2020年6月

就动态演进特征而言,同一地区、不同分位水平各影响因素系数的符号,能够为长江经济带城市生态效率的Kernel密度中心位置右移提供一定程度的解释;同一地区、不同分位水平各影响因素系数的变化,能够为长江经济带生态效率的极化趋势提供一定程度的解释。①在不同分位点处,长江经济带总体经济发展水平、资源禀赋和产业结构的影响系数显著为正,说明经济发展水平提高、资本的相对集中及第三产业的蓬勃发展在一定程度上有利于生态效率改善。就三大地区而言,经济发展水平的影响系数在上游地区显著为正,产业结构优化与公众环保意识增强促进了中游地区城市生态效率提升,资本劳动比与第三产业占比提升是推动下游地区城市生态效率改善的重要原因。上述发现在一定程度上解释了长江经济带总体和上中下游地区的Kernel密度中心位置右移趋势。②随着分位点的提高,长江经济带总体的资源禀赋系数先减小后增大,表明在资源禀赋增加的促进作用下,较低、较高水平城市的生态效率增长较快,中等水平城市的生态效率增长较慢,从而在一定程度上导致长江经济带总体出现两极分化现象。对于下游地区而言,技术创新与公众环保意识的影响系数随着分位点提升而逐步下降,这将使生态效率低水平城市的生长快于中等水平城市,从而形成一极;而中等水平城市的生长速度明显快于高水平城市,从而再形成一极,因此导致下游地区生态效率呈两极分化。在25%和50%分位点处,中游地区的经济发展水平、产业结构、技术创新及公众环保意识的影响系数较大,在75%分位点处,上述变量的影响系数较小。在此作用下,这些变量拉动较低水平和中等水平城市的生态效率实现快速增长,而较高水平城市的生态效率提升相对较慢,这在一定程度上导致中游地区的生态效率呈单极化趋势。由于仅通过25%、50%、75%三个分位点不足以说明上游地区生态效率的多极化成因,故将分位点进一步细分为10%、30%、50%、70%、90%。根据细分后的分位数回归结果可以发现,在由低到高的5个分位点处,经济发展水平的系数分别为0.0007、0.0011、0.0007、0.0014、0.0018。这意味着在公众环保意识不断增

强的正向影响作用下,最低水平与中等水平城市的生态效率提升较慢,较低水平城市的生态效率提升较快,从而形成一极;较高水平城市的生态效率提升比中等水平城市增长快,从而又形成一极;最高水平城市生态效率提升比较高水平城市增长快,从而再形成一极,因此上游地区的生态效率呈多极化趋势。

就长期转移趋势而言,同一分位水平、不同地区各影响因素系数的比较,能够为长江经济带生态效率的俱乐部趋同效应提供一定程度的解释;同一地区、不同分位水平各因素的影响方向,能够为长江经济带生态效率的组间转移提供一定程度的解释。①在25%分位点处,长江经济带总体的经济发展水平、资源禀赋、产业结构等正向影响系数较小,表明其对生态效率的促进作用较弱,这导致低水平城市向更高水平转移的概率较小,故低水平俱乐部趋同效应显著。同理,在50%和75%分位点处,长江经济带总体的经济发展水平、资源禀赋、产业结构等正向影响系数较小,导致中低水平和中高水平俱乐部趋同效应显著。此外,在75%分位点处,长江经济带总体技术创新和公众环保意识的系数尽管为负,但由于其系数较小,故其高水平俱乐部趋同效应也同样显著。鉴于上、中、下游地区的俱乐部趋同规律与长江经济带总体类似,此处不再赘述。②在不同分位点处,长江经济带总体及上中下游地区均存在正向影响因素,如经济发展水平等推动着生态效率不断提升,从而拉动各类型城市向更高水平转移。以长江经济带总体为例,在25%分位点处,经济发展水平、资源禀赋、产业结构等对生态效率提升具有正向影响,故而低水平城市向中低水平转移的概率较大。同理,在50%和75%分位点处,上述因素也均对生态效率提升具有正向影响,故而中低、中高水平城市分别向中高、高水平转移的概率较大。与此相反的是,部分负向影响因素能够导致生态效率有所下降,这在一定程度上说明了各类型城市向更低水平转移的现象。同样以长江经济带总体为例,在25%、50%、75%分位点处,技术创新、公众环保意识对生态效率提升具有显著负向影响,故而部分中低、中高、高水平城市会分别向低、中低、中高水平转移。

4 结论与启示

4.1 结论

本文基于MinDS模型测算了2003—2016年长江经济带108个城市的生态效率,运用Dagum基尼系数、Kernel密度估计、Markov链分析及分位数回归等方法,对长江经济带城市生态效率的空间格局及演进趋势进行了深入探讨。研究结论如下:

(1)样本考察期内,长江经济带城市生态效率水平先降后升,下游生态效率水平明显高于上、中游地区。其中,期望产出不足始终是导致生态无效率的重要原因,污染排放逐渐成为制约长江经济带生态效率提升的主导因素。

(2)总体而言,长江经济带城市生态效率的相对差异逐渐缩小,但城市生态效率水平的空间非均衡现象依然显著。下游地区城市生态效率差异始终最大,上游与下游的区域间差异最大。随着分位点的提高,技术创新、公众环保意识等因素的回归系数下降,进而导致总体空间差异及各区域内差异缩小;各地区影响因素及其作用大小和方向的不尽相同,为城市生态效率的区域间差异提供了一定解释。

(3)三大地区城市生态效率总体呈上升趋势,中游地区城市生态效率协同化程度较高,下游地区存在微弱的两极分化现象,上游城市生态效率水平具有一定梯度效应,且个别年份出现多极化趋势。此外,不同生态效率水平的组间流动性较低,长江经济带总体及各地区均存在一定程度的“俱乐部趋同”与“马太效应”。技术创新、经济发展水平等影响因素在低、高分位点的影响强度相对较大导致下游和上游地区的城市生态效率出现两极或多极分化;在同一分位水平下,经济发展水平、资源禀赋、产业结构等正向影响系数较小,城市生态效率发生转移的概率不高,从而导致各区域俱乐部趋同效应显著。

4.2 启示

上述实证结果揭示了长江经济带生态效率的时空分异特征、动态演进规律及关键影响因素,能够为全面探寻生态效率提升路径提供重要启示,具体包括以下3点:

第一,应基于各地区区位优势进行全局规划,

实施因地制宜的生态效率提升战略。具体而言,下游地区作为生态效率较高的聚集地,要加快绿色技术创新步伐,通过倡导生态文明、发展循环经济等方式来促进生态效率提高;中上游地区要由粗放型发展模式逐渐向循环高效型、低碳清洁型模式转变,同时提高对外资企业的环境准入门槛,发挥FDI对城市生态效率的促进作用。

第二,缩小区域内差异是长江经济带生态效率协同提升的重点。一方面,要推动生产要素在区域内自由流动和优化配置,大力推动产业布局、人才互动、资源共享等方面的协调工作,依托长江黄金水道实现邻近地区的深度协作;另一方面,需要在政府的引领下,促进环保监督部门、企业、居民共同参与生态环境治理,为提高生态效率创造良好的外在环境。

第三,充分发挥空间溢出效应,形成有效的生态效率提升合力。应明确各城市的资源禀赋优势和主体功能定位,高水平城市要通过绿色生产技术与先进的环保理念带动低水平地区生态效率的协同提升。同时,低水平城市在承接产业转移时做到统筹兼顾,防止污染迁移,通过邻近城市功能分工协作来增强生态效率提升合力。

参考文献(References):

- [1] 段学军, 邹辉, 陈维肖, 等. 长江经济带形成演变的地理基础[J]. 地理科学进展, 2019, 38(8): 1217-1226. [Duan X J, Zou H, Chen W X, et al. Formation and change of the Yangtze River Economic Belt from a geographical perspective[J]. Progress in Geography, 2019, 38(8): 1217-1226.]
- [2] 中华人民共和国生态环境部. 长江经济带生态环境保护规划[EB/OL]. (2017-07-17) [2019-07-01]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201707/t20170718_418053.htm. [Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Ecological Environmental Protection Planning of the Yangtze River Economic Belt[EB/OL]. (2017-07-17) [2019-07-01]. http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201707/t20170718_418053.htm.]
- [3] 郝国彩, 徐银良, 张晓萌, 等. 长江经济带城市绿色经济绩效的溢出效应及其分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 75-83. [Hao G C, Xu Y L, Zhang X M, et al. Spillover effect and decomposition of green economic performance of the city in the Yangtze River Economic Belt[J]. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(5): 75-83.]

2020年6月

- [4] Schaltegger S, Sturm A. Ökologische rationalität: Ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten management instrumenten [J]. Die Unternehmung, 1990, 44(4): 273-290.
- [5] Sun W S, Chen L T, Tian Y. Study on the urban state carrying capacity for unbalanced sustainable development regions: Evidence from the Yangtze River Economic Belt[J]. Ecological Indicators, 2018, 89: 150-158.
- [6] 曾贤刚, 牛木川. 高质量发展下长江经济带生态效率及影响因素[J]. 中国环境科学, 2020, 40(2): 906-918. [Zeng X G, Niu M C. Measurement and influence factors of ecological efficiency of the Yangtze River economic belt under high quality development conditions[J]. China Environmental Science, 2020, 40(2): 906-918.]
- [7] 李静, 任继达. 中国工业的用水效率与决定因素: 资源和环境双重约束下的分析[J]. 工业技术经济, 2018, 37(1): 122-129. [Li J, Ren J D. Study on efficiency of industrial water use in China based on MinDS model: An empirical analysis under the dual restrictions of resources and environment[J]. Journal of Industrial Technological Economics, 2018, 37(1): 122-129.]
- [8] 吴传清, 董旭. 环境约束下长江经济带全要素能源效率的时空分异研究: 基于超效率DEA模型和ML指数法[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(10): 1646-1653. [Wu C Q, Dong X. Research on time and space disparities of total factors energy efficiency in the Yangtze River Economic Belt under the constrained environment[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015, 24(10): 1646-1653.]
- [9] 杨骞, 王弘儒. 长江经济带水污染排放的地区差异及影响因素研究: 2004-2014[J]. 经济与管理评论, 2016, 32(5): 141-147. [Yang Q, Wang H R. Regional disparity and influencing factors of water pollution emissions in the Yangtze River Economic Belt: 2004-2014[J]. Review of Economy and Management, 2016, 32(5): 141-147.]
- [10] Dagum C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. Empirical Economics, 1997, 22(4): 515-531.
- [11] 邢贞成, 王济干, 张婕. 长江经济带全要素生态效率的时空分异与演变[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(4): 792-799. [Xing Z C, Wang J G, Zhang J. Research on spatial-temporal variation and evolution of total-factor ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(4): 792-799.]
- [12] 刘云强, 权泉, 朱佳玲, 等. 绿色技术创新、产业集聚与生态效率: 以长江经济带城市群为例[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(11): 2395-2406. [Liu Y Q, Quan Q, Zhu J L, et al. Green technology innovation, industrial agglomeration and ecological efficiency: A case study of urban agglomerations on Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(11): 2395-2406.]
- [13] Cooper W W, Seiford L M, Tone K. Data Envelopment Analysis [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2007.
- [14] 陈明华, 刘玉鑫, 张晓萌, 等. 中国城市群民生发展水平测度及趋势演进: 基于城市DLI的经验考察[J]. 中国软科学, 2019, (1): 45-61. [Chen M H, Liu Y X, Zhang X M, et al. The measurement and trend evolution of the development level of the people's livelihood in China's urban agglomeration: An empirical study based on the urban DLI[J]. China Soft Science, 2019, (1): 45-61.]
- [15] 侯孟阳, 姚顺波. 1978-2016年中国农业生态效率时空演变及趋势预测[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2168-2183. [Hou M Y, Yao S B. Spatial-temporal evolution and trend prediction of agricultural eco-efficiency in China: 1978-2016[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(11): 2168-2183.]
- [16] Koenker R, Bassett G. Regression quantiles[J]. Econometrica, 1978, 46: 33-50.
- [17] 单豪杰. 中国资本存量K的再估算: 1952-2006年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10): 17-31. [Shan H J. Reestimating the capital stock of China: 1952-2006[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2008, 25(10): 17-31.]
- [18] 吴延瑞. 生产率对中国经济增长的贡献: 新的估计[J]. 经济学(季刊), 2008, (3): 827-842. [Wu Y R. The role of productivity in China's growth: New estimates[J]. China Economic Quarterly, 2008, (3): 827-842.]
- [19] 刘阳, 秦曼. 中国东部沿海四大城市群绿色效率的综合测度与比较[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(3): 11-20. [Liu Y, Qin M. Evaluation and comparison of green efficiency of four coastal urban agglomerations in eastern China[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(3): 11-20.]
- [20] 彭红松, 郭丽佳, 章锦河, 等. 区域经济增长与资源环境压力的关系研究进展[J]. 资源科学, 2020, 42(4): 593-606. [Peng H S, Guo L J, Zhang J H, et al. Research progress and implication of the relationship between regional economic growth and resource-environmental pressure[J]. Resources Science, 2020, 42(4): 593-606.]
- [21] 郑慧, 贾珊, 赵昕. 新型城镇化背景下中国区域生态效率分析[J]. 资源科学, 2017, 39(7): 1314-1325. [Zheng H, Jia S, Zhao X. An analysis of regional eco-efficiency in China under the background of new-type urbanization[J]. Resources Science, 2017, 39(7): 1314-1325.]
- [21] 中华人民共和国国家统计局. 中国城市统计年鉴2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China City Statistical Yearbook 2017 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.]

Spatial pattern and temporal trend of urban ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt

CHEN Minghua, LIU Wenfei, WANG Shan, LIU Yuxin

(School of Economics, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China)

Abstract: Improving urban ecological efficiency is an important aspect of high-quality development of the Yangtze River Economic Belt. In this study, the minimum distance to strong efficient frontier data envelopment analysis (MinDS) model was used to measure the ecological efficiency of the cities in the Yangtze River Economic Belt. The Dagum Gini coefficient, Kernel density estimation, and Markov chain analysis were used to examine its spatial pattern and temporal trend, and the key influencing factors were tested using quantile regression. The study found that: (1) The level of ecological efficiency in downstream cities was significantly higher than that in the upper and middle reaches. (2) The overall difference in urban ecological efficiency was large but gradually decreasing. The intraregional difference in urban ecological efficiency was always the largest in the downstream areas, and the largest regional difference was between the upstream and the downstream regions. With the improvement of the level of ecological efficiency, the impact coefficients of factors such as technological innovation and public awareness of environmental protection had gradually decreased, which is an important reason for the reduction of the overall and intraregional differences. The influencing factors in different regions and their roles and directions were different, which provides a certain explanation for the regional differences in urban ecological efficiency. (3) Factors such as technological innovation and economic development level had relatively greater impact on cities of low-level and high-level urban ecological efficiency, which resulted in the trend of polarization and multi-polarization in the downstream and upstream regions, respectively. Factors such as economic development level, resource endowment, and industrial structure had low positive impact coefficients on cities of low, medium, and high levels of urban ecological efficiency, and the trend of urban ecological efficiency shift was not obvious, resulting in the overall and regional “club convergence” and “Matthew effect.” This study used the MinDS model to measure the urban ecological efficiency level, effectively avoided the defects of the traditional DEA model, further decomposed the source of the difference on the basis of its overall spatial difference identification, and predicted its long-term transfer trend. This deepened the understanding of the pattern of spatial and temporal change of ecological efficiency in the Yangtze River Economic Belt, which provides some reference for the coordinated promotion of green development of the Yangtze River Economic Belt.

Key words: urban ecological efficiency; MinDS model; spatial pattern; evolution trend; Yangtze River Economic Belt